



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD GEOLOGÍA MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**



**Influencia de los procesos geológicos en la morfología
costera del municipio Moa.**

Autor: Pedro L. Polanco Almaguer.

**Tutores: DrC. Yuri Almaguer Carmenate
MsC. Beatriz Riverón Záldivar**

Moa, 2012

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: Mi mamá **Lilia Almaguer**, por ser el ángel de mi vida; por su amor y apoyo incondicionales.

 Mi papá **Pedro Polanco**, por su cariño, apoyo y consejos oportunos.

 Mis hermanos **Carlitos, Leo, DaylÍ, Mandy, Alejandro y Gabriel**, por ser ejemplos, guías y consejeros; y por darme sobrinos tan lindos.

 Mis abuelitos **Aida (Tita) y Saturnino (Cholo)**, por su amor constante y ser ejemplo de sacrificio y abnegación.

 Mi esposa **Daylín Arguelles**, por su amor, apoyo y ayuda incondicionales; por hacerme tan feliz y por soportarme.

 Mis suegros **Inoel y Nancy**, por aceptarme como su hijo y por su apoyo.

A mis tutores: **M Sc. Beatriz Riverón Zaldivar**, por ser la mejor tutora que pude tener, por sus enseñanzas durante toda la carrera, por abrirme las puertas de su casa, su familia y su corazón.

DrC. Yuri Almaguer Carmenates, por compartir su experiencia y hacer que todo pareciera muy sencillo.

A mis amigos: **Rayner, Daubel y Mandela**, donde estén, porque cuando llegué a Moa y me encontraba solo, me tomaron como su hermano, por apoyarme y ayudarme durante los difíciles tres primeros años de la carrera.

M Sc. José A. Carmenate Fernández, por sus consejos, enseñanzas y por brindarme su amistad.

Lic. Alberto Escobar, por brindarme su amistad incondicional desde que tengo uso de razón.

Ing. Yurisley Valdés, por su apoyo constante y por poder contar con el siempre.

Los profesores del departamento de Geología, por las excelentes clases que impartieron.

El grupo Geología 2007-2012, excelentes compañeros y amigos, que extrañaré mucho.

A la grandiosa **Revolución Cubana**, que me permitió llegar a la universidad y me dio las herramientas para convertirme en un profesional competente y revolucionario.

¡Muchas Gracias!

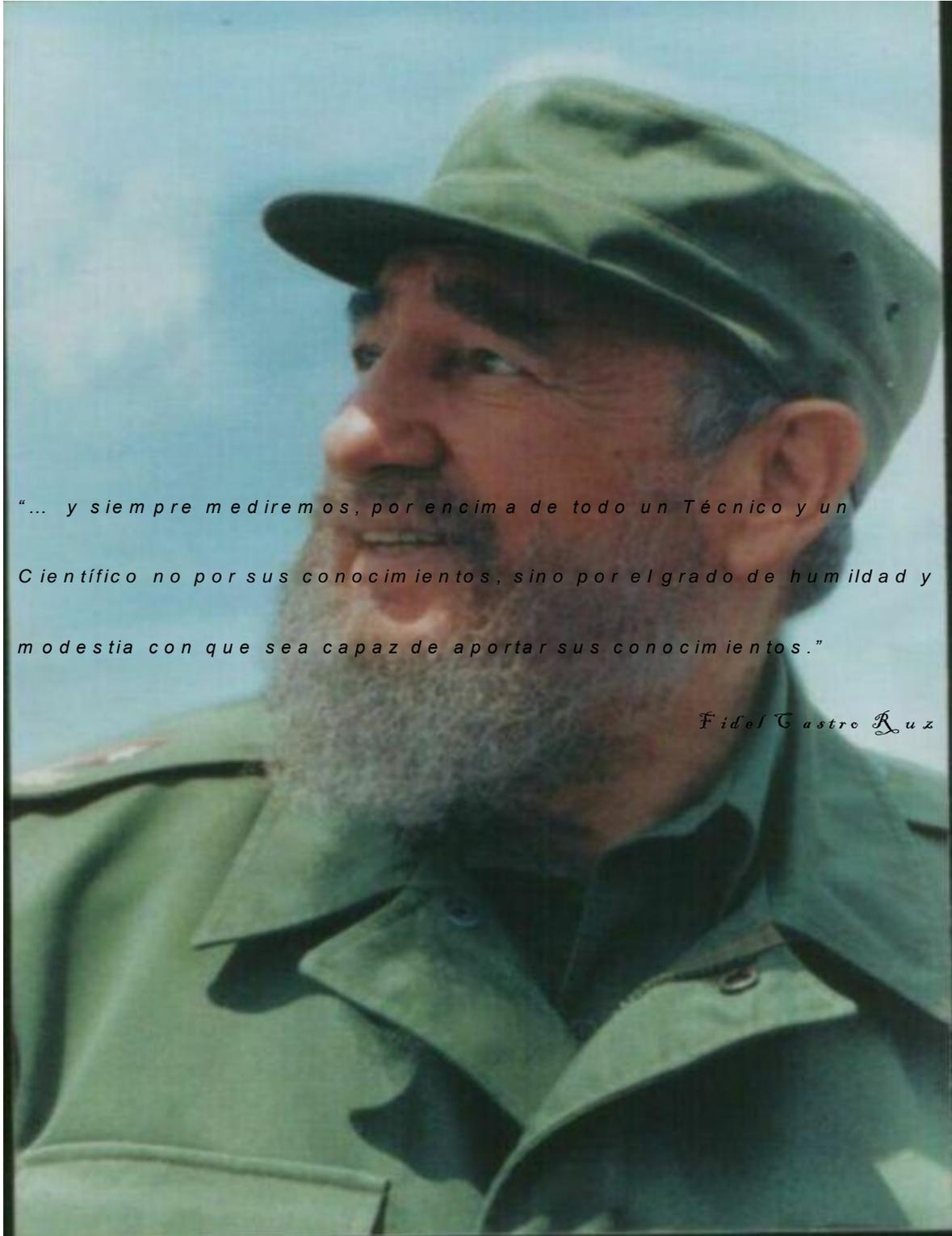
DEDICATORIA



A mi familia:

Mis padres, hermanos, abuelitos y esposa.

P E N S A M I E N T O



“... y siempre mediremos, por encima de todo un Técnico y un Científico no por sus conocimientos, sino por el grado de humildad y modestia con que sea capaz de aportar sus conocimientos.”

Fidel Castro Ruz

ÍNDICE

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Pensamiento	iii
Índice	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	1
CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA LITORAL DEL MUNICIPIO MOA.	
1.1 Generalidades	18
1.2 Características Geológicas	22
1.3 Geología del área de estudio	23
1.4 Características Tectónicas del sector de estudio	25
1.5 Características Hidrogeológicas del sector de estudio	35
CAPITULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LA INVESTIGACIÓN DESARROLLADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	
2.1 Introducción	38
2.2 Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información precedente	39
2.3 Segunda etapa: Procesamiento de la información	40
2.3.1 Implementación del Sistema de Información Geográficas (GIS)	41
2.3.2 Cálculo de tasa de erosión	43
2.4 Tercera etapa: Interpretación de los resultados	43
CAPÍTULO III: INFLUENCIA DE LOS PROCESOS GEOLOGICOS QUE AFECTAN LA MORFOLOGIA COSTERA DEL MUNICIPIO MOA.	
3.1 Introducción	44
3.2 Características de los rasgos morfológicos del litoral del municipio de Moa	44
3.3 Procesos geológicos que condicionan la morfología costera en Moa	46
Conclusiones	56
Recomendaciones	58
Bibliografías	59

RESUMEN

La gestión de las líneas de costa tiene una importancia vital para mantener el equilibrio entre el uso para fines económicos y sociales sostenibles, la conservación de los ecosistemas y la belleza natural de estos lugares. Esta necesidad se ve acentuada ante la posibilidad del ascenso del nivel del mar como consecuencia del calentamiento del planeta. Es un hecho generalmente conocido que el contorno de la costa sufre modificaciones, y la realidad indica que los cambios más importantes han ocurrido de forma paulatina durante los últimos 19 mil años, los cuales han hecho desaparecer estrechos y bahías al modificar el aporte de sedimentos. La región nororiental de Cuba no está exenta de estos problemas, específicamente en la región de Moa, donde se registran transformaciones geomorfológicas principalmente en las últimas décadas. Por tal motivo surge la presente investigación titulada **“Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa”**, que tiene como objetivo caracterizar los procesos geológicos costeros del municipio de Moa, a partir de la intensidad y distribución espacial de los mismos, que permite establecer el grado de afectación de estos a la morfología costera. Para ello se caracterizaron los rasgos morfológicos del litoral y los procesos de erosión y sedimentación que condicionan la morfología costera, implementando un Sistema de Información Geográfica que permitió calcular tasas de erosión/sedimentación. Se confirma que la morfología costera del municipio de Moa esta asociada directamente con la naturaleza de los procesos tectónicos que conforma costas de relieve bajo y drenaje bien desarrollado, sometidas a baja acción de oleaje y que acumulan gran cantidad de sedimentos.

ABSTRACT

The administration of the coast lines has a vital importance to maintain the balance among the use for sustainable economic and social ends, the conservation of the ecosystems and the natural beauty of these places. This necessity is accentuated before the possibility of the ascent of the level of the sea like consequence of the heating of the planet. It is a generally well-known fact that the contour of the coast suffers modifications, and the reality indicates that the most important changes have happened in a gradual way during the last 19 thousand years, which have made disappear straits and bays when modifying the contribution of silts. The northeastern region of Cuba is not exempt of these problems, specifically in the region of Moa, where they register transformations geomorfológicas mainly in the last decades. For such a reason the present investigation titled **“Influence of the geologic processes arises in the coastal morphology of the municipality Moa”** that has as objective to characterize the processes geologic slabs of the municipality of Moa, starting from the intensity and space distribution of the same ones that it allows to establish the degree of affectation from these to the coastal morphology. For they were characterized it the features morphological of the coast and the erosion processes and sedimentation that condition the coastal morphology, implementing a Geographical Information System of that allowed to calculate erosion/ sedimentation rates. We confirms that the coastal morphology of the municipality of Moa this associate one directly with the nature of the tectonic processes that conforms costs of low relief and well developed drainage, subjected to low action of surf and that they accumulate great quantity of silts.

INTRODUCCIÓN

La gestión de las líneas de costa adquiere una importancia creciente para mantener el equilibrio entre el uso para fines económicos y sociales sostenibles, la conservación de los ecosistemas y la belleza natural de estos lugares. Esta necesidad se ve acentuada ante la posibilidad del ascenso del nivel del mar como consecuencia del calentamiento del planeta. Es un hecho generalmente conocido que el contorno de la costa sufre modificaciones y en algunos casos esta idea se asocia erróneamente a fenómenos de tipo catastrófico. La realidad indica que los cambios más importantes han ocurrido de forma paulatina durante los últimos 19 mil años, los cuales han hecho desaparecer estrechos y bahías al modificar el aporte de sedimentos (Codignotto, J. O. 1997). Como se deduce, todas estas modificaciones, relativamente lentas desde el punto de vista humano, han producido y producen importantes cambios ambientales que permiten la evolución costera mediante dos componentes: aquellos que representan desplazamientos horizontales (Codignotto *et al.*, 1993) y verticales que acreditan los fenómenos de neotectonismo (Codignotto *et al.*, 1992, Kokot *et al.*, 1994). Por ello el conocimiento de los factores y sus causas conducen a la comprensión de la evolución del complejo ecosistema litoral (Codignotto, J. O. 1997).

Pese a que tanto en el mundo científico como en los medios de comunicación es habitual hablar del problema costero, es importante mencionar que este es relativo y dialéctico; que solamente surge cuando la evolución costera no es la esperada por el hombre. En efecto, piénsese en la hipotética erosión de un tramo de costa en un lugar deshabitado del planeta y es fácil imaginarse que pocos aplicarían el calificativo de problema costero a esta situación. La misma erosión en una zona costera en la que los edificios o vías de comunicación se encuentran a escasos metros o sobre la propia playa, sí que constituiría, sin embargo, un problema a resolver o mejor aun evitar.

La región nororiental de Cuba no está exenta de estos problemas, específicamente en la región de Moa, donde se registran transformaciones geomorfológicas principalmente en los últimos años.

Por ello surge la presente investigación titulada "Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa" a partir del siguiente:

Problema:

Necesidad de caracterizar los procesos de erosión y sedimentación costeras del municipio de Moa, a partir de la intensidad y distribución espacial de los mismos, que permite establecer el grado de afectación de estos a la morfología costera.

Objeto de Estudio:

La erosión y sedimentación costera del municipio Moa.

Objetivo General:

Caracterizar los procesos de erosión y sedimentación costeras del municipio de Moa, a partir de la intensidad y distribución espacial de los mismos, que permite establecer el grado de afectación de estos a la morfología costera.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar los rasgos morfológicos del litoral.
2. Caracterizar los procesos de erosión y sedimentación que condicionan la morfología costera.

Hipótesis:

Si se caracterizan los rasgos morfológicos y los procesos de erosión y sedimentación que se desarrollan en el litoral, es posible establecer el grado de afectación de estos a la morfología costera.

Aportes científicos

1. Caracterización de los rasgos morfológicos del litoral.
2. Caracterización de los procesos de erosión y sedimentación que condicionan la morfología costera.

Marco Teórico conceptual de la Investigación

En el presente siglo XXI, los problemas del desarrollo sostenible, en un frágil equilibrio medioambiental sometido a la inevitable confrontación entre las consecuencias del progreso y los procesos geológicos junto a la construcción de diversas obras ingenieriles en condiciones geológicamente adversas, constituyen prioridades de la ingeniería de costas.

La ingeniería de costas tiene como objetivo resolver los problemas que se plantean en la franja costera a las escalas de tiempo y espacio manejadas por el hombre y con los medios técnicos y económicos que este posee. Por estar las costas formadas por arenas, sedimentos cohesivos, gravas y cantos entre otros, sometidas a mayor presión de uso (turístico, industrial) y evolucionar a unas escalas de espacio y tiempo menos difíciles de controlar por el ser humano, se centra la presente investigación en los procesos geológicos que intervienen en los sectores costeros sedimentarios donde las escalas de respuesta de estos sedimentos, deben ser particularizados a fin de caracterizar de forma adecuada su evolución y a fin de que las actuaciones en este ámbito sean lo más eficiente que debieran, para conocer y, en la medida de lo posible, predecir los cambios que se producen en la zona costera (Sánchez-Arcilla, 1994)

Para la base teórica de la investigación se realizan consultas de las bibliografías relacionadas con la temática tratada, los métodos empleados en el análisis de esta problemática y las aplicaciones de estos. Desde el punto de vista conceptual, se parte de las definiciones que se han publicado y que a continuación se analizan.

Costa marina: la parte de un continente, o en su defecto de una isla, que limita con el mar.

El paisaje de la costa se caracteriza por su inestabilidad, porque por ejemplo, en el sector de la playa, su perfil puede crecer como consecuencia del depósito de sedimentos y en algunos otros casos puede verse disminuido por la erosión marina. Asimismo, hay otros factores que tienden a modificar las costas, como el clima, el viento, el oleaje, la actividad biológica y por supuesto la actividad que lleva a cabo el hombre. Las mareas y las corrientes de mar conjuntamente con la tectónica son decisivas a la hora de aportar energía a la zona costera,

siendo justamente las olas el principal desencadenante de las costas, es decir, al entregar la mayor parte de energía, transportan y además depositan los sedimentos.

Por su lado, **la corriente costera** es un proceso que tiene lugar en aquellas zonas en las cuales predominan los vientos y las olas en un solo sentido y también pueden estar condicionadas por grandes corrientes que se producen por diferencia de temperatura.

El relieve costero, es el relieve terrestre que se refiere a los accidentes geográficos que se encuentran en las costas, que es el lugar donde está en contacto la tierra emergida y el mar, pueden ser abruptos (acantilados) o llanos (playas), tienen entrantes del mar (golfos y bahías) y tienen salientes terrestres (Cabo, península). (SNET, 2009)

El relieve se clasifica, según las aguas del mar se internan en la tierra o según sea la tierra la que se interne mar adentro en:

- Entrantes
- Salientes
- Abruptos
- Llanos

Entrantes

Los entrantes son aquellos que están rodeados de tierra por tres de sus lados pero por uno tienen salida al mar, como:

Golfo. Son partes del océano o del mar parcialmente rodeados de tierra. Si el golfo es pequeño se denomina bahía.

Bahía. Es la entrada del mar, océano o lago a la costa, rodeada por tierra excepto por una apertura, que suele ser más ancha que el resto de la penetración en tierra adentro. Es decir, una concavidad en la línea costera formada por los movimientos del mar o del lago (Figura 1). En cuanto al concepto geográfico es opuesta a la Península o al Cabo. Las grandes bahías

suelen considerarse golfos, pero no hay un límite exacto entre lo que es una bahía y lo que es un golfo; mientras que las bahías más estrechas se catalogan como fiordos. Las bahías se clasifican en abiertas, cerradas y de bolsa.

Rada. Se trata de un área cerrada con una abertura al mar, mas estrecha que una bahía o golfo. Por su extensión no puede confundirse con un estuario. Se puede crear artificialmente mediante espigones o diques.

Ensenada. Es una entrada de agua circular o redondeada con una boca estrecha. Aunque coloquialmente el término se usa para referirse a cualquier bahía abrigada, los geógrafos entienden que la ensenada es una entrada de agua de menor dimensión que una bahía. Las ensenadas se forman donde franjas de rocas de diferente resistencia corren paralelas a la costa. Típicamente, se formará este tipo de accidente geográfico cuando una franja angosta de roca relativamente resistente, constituya la línea costera, mientras que otra franja de roca más débil, como arcilla o arena, se encuentre detrás. Una tercera franja, de roca resistente, determinará el final de la ensenada. La acción de las olas sobre puntos débiles, como juntas o fracturas, termina por atravesar la roca resistente, y deja expuesta la roca débil. La franja intermedia es rápidamente erosionada por la marea. La difracción de las olas ocurre cuando estas viajan a través de entradas angostas y luego se dispersan en el interior de la ensenada. Así, la erosión es igual en todos los puntos internos del contorno de este cuerpo de agua, dando lugar a la forma circular o redondeada característica.

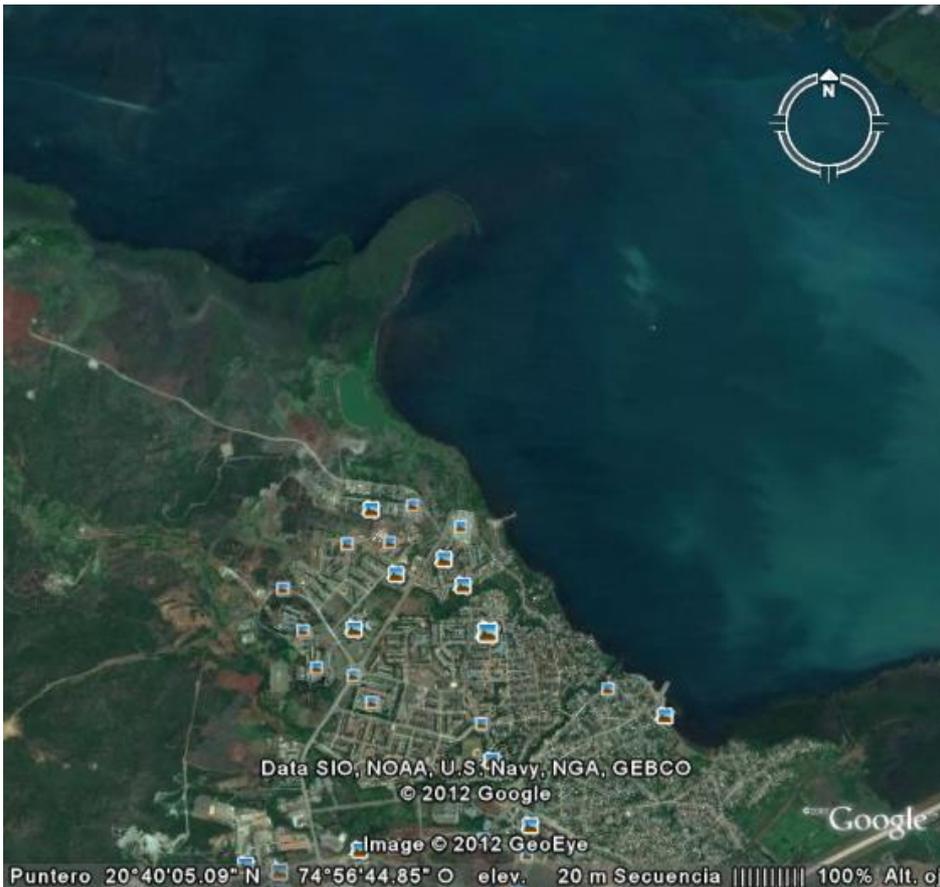


Figura 1. Foto satelital de Bahía Cayo Moya Grande. (Tomado del Google Earth el 24 de mayo de 2012)

Salientes

En este caso la parte terrestre se apoya más al océano. Están esta rodeada por agua en tres de sus partes, mas, por otro se unen con una masa de tierra, regularmente por un istmo. Dentro de estos se encuentran:

Península. Extensión de tierra rodeada por mar por todas sus partes excepto por una zona, relativamente estrecha, llamada istmo, que la une a un territorio.

Cabo. Es una parte de la costa que se adentra al mar. Puede tener gran influencia sobre las corrientes oceánicas y la navegación.

Tómbolo. Barra de arena que une el continente con una isla pequeña. Es un accidente geográfico de origen sedimentario.

Puntas. Es donde la costa cambia de dirección avanzando en forma angulada hacia el agua.

Archipiélago. Es una cadena o conjunto de islas. Generalmente se sitúan en mar abierto, siendo poco frecuente que se encuentren cerca de grandes masas de tierra. Suelen ser de origen volcánico, formados en antiguas zonas de subducción y puntos caliente; aunque hay otros procesos implicados en su formación, como la erosión y la sedimentación.

Abruptos

Acantilados. Es una vertical y abrupta formación rocosa de la costa; escarpe litoral modelado por la acción erosiva del oleaje y de las corrientes derivadas de él, sobre rocas de cualquier naturaleza, formando cantiles o escalones con los cuales las olas se estrellan.

Rasa mareal. Es una plataforma rocosa costera, al nivel de la marea baja, que aparece por delante de un acantilado. Se forma debido a la erosión del mar sobre este.

Estrecho. Es un canal de agua que conecta dos lagos mares u océanos, y en consecuencia se encuentra entre dos masas de tierra.

Llanos

Playa. Es un depósito de sedimentos no consolidados que varían entre arena y grava, son el resultado del depósito de olas constructivas, especialmente en aquellas zonas costeras que presentan una escasa energía. Es el depósito de arena, grava o cantos rodados formado en la zona de rotura de las olas por la acción del constante avances y retroceso de las mismas. (Foto 2)

Existen diferentes tipos de playa, aquellas con sedimentos finos como limos y arenas o playas con materiales más gruesos, como los cantos rodados.

La forma que presente la playa depende de: el tipo de sedimento, la energía de las olas, el viento y la amplitud de la marea.

Flecha litoral. Cordón de tierra en el interior de una bahía, o la acumulación de arena delante de la costa, a veces estos depósitos se apoyan en cabos o promontorios. (Figura 2)

Marisma. Ecosistema húmedo con plantas herbáceas que crecen en el agua. Una marisma es diferente de una ciénaga, la cual esta dominada por árboles.

El agua de la marisma puede ser dulce o del mar, aunque normalmente es una mezcla de ambas. Las marismas suelen estar relacionadas a estuarios y se basan comúnmente en suelos arenosos.



Figura 2. Foto de flecha litoral en playa Jiguaní. (Tomada el 17 de marzo de 2012)

Albufera. Es una laguna litoral de agua salada o ligeramente salobre, separada del mar por una lengua o cordón de arena, pero con comunicación con el mar por uno o más puntos. Su formación suele deberse a la colmatación de una antigua bahía por los aportes de sedimentos marinos o fluviales.

Morfología Costera. Se encarga del estudio de los relieves originados por las olas.

* Después de la rotura de la ola el agua se dirige hacia la playa de forma turbulenta y espumosa, este **Swash o uprush**. Es una poderosa fuente de

energía que provoca el movimiento de la arena y grava de la playa tierra adentro.

* Cuando ya se ha consumido la energía de la rotura contra la playa se origina un flujo de retorno, el **backwash** del agua hacia la playa pero mucha desaparece por infiltración en la arena, en este movimiento de retroceso el agua lleva consigo grava y arena.

Las costas no son estáticas varían en forma y posición en respuesta a las fuerzas naturales y a las actividades humanas. Por consiguiente, los ambientes costeros resultan ser escenarios de trabajos complejos, por las numerosas variables que condicionan el natural desarrollo de los mismos. Entre los principales procesos que intervienen en la **morfología costera** se encuentran:

- Los procesos de largo plazo y escala
 - La tectónica de placas

Las características más amplias de las costas están asociadas directamente con la naturaleza del margen continental adyacente. Por ejemplo, las costas de la región de estudio son de relieve bajo y drenaje bien desarrollado, sometidas a baja acción de oleaje y acumulan gran cantidad de sedimentos.

- Los procesos de corto plazos y regionales: (Ojeda, 2000)
 - Tectónica: Los movimientos de la corteza terrestre por actividad sísmica.
 - Subsistencia: Hundimiento de la tierra por compactación de sedimentos o por la extracción de agua.
 - Los procesos físicos que intervienen se tienen primeramente las mareas que son elevaciones y caídas periódicas del nivel del mar que resultan de la atracción de la tierra y su hidrosfera por el sol, la luna y otros cuerpos celestes. Las mareas en las costas controlan la posición y amplitud de la zona de acción del oleaje, generando corrientes que pueden rodar y transportar sedimentos y también controlan la circulación de algunos cuerpos de agua.
 - Las olas son la fuerza dominante en los procesos litorales de costas abiertas, proveen la energía para formar playas,

seleccionar sedimentos y transportar materiales; llegando a ser determinantes en la geometría y composición de las playas. Las olas se generan por la transferencia de energía desde los vientos al soplar sobre una superficie de agua. El conocimiento del oleaje en una zona costera es indispensable para los estudios de la línea de costa y protección costera.

Entre los organismos constructores de costas se encuentran los arrecifes de coral, que son el ejemplo más importante, por ser responsables de la morfología primaria de las costas donde ocurren. Otros organismos que pueden construir arrecifes o costas son: hierbas, manglares, ostras, gusanos y algunos gasterópodos o moluscos.

Ahora bien existen gran cantidad de organismos que pueden modificar las costas a través de los siguientes procesos (SNET, 2009):

- Producción de sedimentos: Gran variedad de organismos producen material esquelético que contribuye al sedimento costero.
- Rotura de sedimentos: Muchos organismos rompen conchas y restos esqueléticos en búsqueda de alimento.
- Erosión de sustratos rocosos: Erizos, algunos gasterópodos y esponjas debilitan la roca y la hacen más susceptible a la erosión
- Pelletización de sedimento fino: Los animales pueden ingerir considerable cantidad de sedimento fino que luego de la digestión se aglomera en los fecales.

No pueden pasar desapercibidos los procesos antropogénicos:

- Directos: Construcción o dragado
- Indirectos: Cambios ambientales que influyen en aportes de sedimentos, escorrentías debidos al desarrollo urbano de las costas, construcción de represas, deforestación, desechos agrícolas, desechos de industrias, relleno de playas, minería y desvío de corrientes o canales.

Erosión costera

Modificación (retroceso) de la línea de costa preexistente con la consiguiente pérdida de sedimentos (Ojeda, 2000).

Dentro del concepto de erosión costera se debe establecer una diferencia en cuanto a las escalas espacio temporales en que se manifiesta este fenómeno natural y a las formas en que opera. En este sentido, es necesario diferenciar los procesos erosivos ligados a fenómenos extremos de baja frecuencia y alta velocidad de implantación (temporales) que conllevan la erosión de importantes sectores de costas, pero cuyos sedimentos erosionados, al menos en parte, vuelven al sistema sedimentario litoral cuando pasa el evento y cambian las condiciones hidrodinámicas que lo controlan (paso de un oleaje de alta energía a otro de baja); y los procesos de erosión a largo plazo, a veces un fenómeno difuso, menos espectacular y perceptible pero que, debido a la existencia de un balance sedimentario negativo en la franja litoral, conlleva no solo la pérdida de sedimentos y el retroceso de la costa, sino una intensificación de los procesos erosivos (y de daños) ligados a los fenómenos extremos antes citados (Ojeda, 2000).

Erosión por el Oleaje. Las fuerzas de las olas al ascender y descender por una superficie de suelo producen el desprendimiento y el transporte de partículas. Produce una acción erosiva por: **Acción hidráulica** (golpeteo del agua contra las rocas), **Corrasión** (acción del choque de fragmentos rocosos que lleva el agua en suspensión) y **Abrasión** (desgaste de dichos fragmentos al chocar unos con otros).

Sedimentación: es el proceso general por el que se sedimenta el material que forma las rocas, para tener cualquier depósito necesariamente debe existir algo que depositar lo que quiere decir que existe una fuente de sedimentos y un medio para transportar este sedimento y un lugar para depositar el material sedimentario. En esencia es la acumulación de materiales de procedencia variada que se realiza asociada a diversos procesos geológicos en la superficie terrestre.

La arena es elevada en suspensión y los rápidos flujos de agua dirigidos, hacia la orilla, arrastran los guijos y los ruedan ladera arriba. La resaca es algo más lenta y, pese a la "ayuda" de la gravedad, no puede hacer volver los guijos a su emplazamiento primitivo, dejándolos a medio camino. Como resultado de este desplazamiento transversal (con relación a la línea de costa) de los

detritos en la zona de rompientes se forma junto a la orilla una potente barra o cordón costero, llamado **Deriva de Playa**. (Gorshkvi, G ; Yakushova, A. 1977)

Cálculo de tasas de erosión

El análisis y evaluación de la erosión costera se ha abordado clásicamente como el cálculo de tasas de erosión expresadas en metros de retroceso/año. Por lo tanto, ha sido considerado, desde la perspectiva geográfico/espacial como un problema bidimensional, es decir, medir la variación espacial en la posición (x; y) de dos líneas de costa para fechas diferentes. Este método exige dos fases bien diferenciadas (Ojeda, 2000):

- I. La obtención de datos o fuentes de información que permitan reconstruir la posición de la línea de costa en fechas pasadas.

- II. La utilización de técnicas adecuadas para medir geoméricamente los cambios, así como procedimientos analíticos para calcular las tasas de erosión.

Ambas fases son esenciales, si bien la primera es crucial ya que proporciona los datos para la segunda.

Implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el estudio morfológico.

Al realizar la cartografía de una zona, se mezclan dos conceptos: la situación georeferenciada del dato y la información temática (atributo). Estas dos características, la componente espacial y la información temática asociada, configuran la base para entender los Sistemas de Información Geográfica.

Se han realizado varias definiciones en torno a los Sistemas de Información Geográfica (Cebrián y Mark, 1986; Burrough, 1988; Bracken y Webster, 1990; NCGIA, 1990). De manera más sencilla un **Sistema de Información Geográfico** es un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre. Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

A todo objeto se asocian unos atributos que pueden ser:

- Gráficos
- No gráficos o alfanuméricos.

Atributos gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas. Ejemplos del proyecto:

Punto: ubicación geográfica

Línea: alineaciones, red fluvial

Área: litologías, zonas geomorfológicas.

Atributos no gráficos

También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos. En el caso del proyecto se relacionan con la caracterización de los mapas temáticos y la caracterización espacial de la línea de costa.

Un SIG se puede considerar esencialmente como una tecnología (un sistema de *hardware* y *software*) aplicada a la resolución de problemas territoriales (Bosque, 1992; Suárez, 1998). Como programa de ordenador, presenta capacidades específicas con las siguientes funciones:

- Funciones para la entrada de información.
- Funciones para la salida-representación gráfica y cartográfica de la información.
- Funciones de gestión de la información espacial y funciones analíticas.

Algunas investigaciones relacionadas con la morfología costera a nivel mundial.

Sánchez-Arcilla y Jiménez (1994) abordan conceptos básicos de la evolución y morfología costera, como son las diferentes escalas evolutivas, tanto temporales como espaciales. Desde el punto de vista de la ingeniería de playas que es aquella que se realiza en costas sedimentarias, provocando generalmente una respuesta rápida de la zona litoral ante las nuevas

condiciones generadas. Asimismo, presentan un conjunto de herramientas básicas para poder predecir el comportamiento de la costa, tanto en condiciones naturales, como bajo la influencia de obras.

Codignotto (1997) realiza un estudio en las áreas costeras de Argentina, donde plantea que los cambios geomorfológicos están directamente relacionados con los fenómenos de ascensos y descensos territoriales relativos, así como a los desplazamientos hacia el mar y hacia la tierra de la línea de costa. Los desplazamientos en el plano horizontal están representados por fenómenos de sedimentación y acreción. Señala la existencia de dos direcciones principales de corrientes cercanas a la costa, determinadas sobre la base de diseños geomorfológicos, existen además celdas de circulación localizadas, que en algunos casos son opuestas a la dirección general de la deriva litoral. Los desplazamientos verticales del territorio costero son de ascenso, los correspondientes a la Cuenca Austral, Cuenca del golfo de San Jorge, Cuenca de Valdés, Cuenca del Colorado, Cuenca del Salado y Cuenca Chacoparanense presentan velocidades de ascenso menores que las zonas intercuencas como consecuencia de factores tectónicos.

De Andrade Meireles y Rubio Romero (1999) aplican las propiedades básicas de la Teoría General de Sistemas (T.G.S.), de acuerdo a la metodología propuesta por Rubio (1995), para objetivar la comprensión de buena parte de los multivariados procesos geomorfológicos en la llanura costera de Ceará, noreste de Brasil y aportan nuevas propuestas de investigación integrada. La aplicación de estas propiedades fue hecha tomando como base la evolución del modelado, desde su relación con el sistema planetario, el origen y evolución de los indicadores de cambios climáticos y las diversas fluctuaciones del nivel del mar asociado a ellos.

Ojeda Zújar (2000) realiza una revisión crítica de las metodologías utilizadas para el cálculo de los riesgos de erosión, tanto de la peligrosidad natural (tasa de erosión) como de algunos aspectos de la vulnerabilidad (cartografía de la peligrosidad natural actual y potencial). Se analiza la adecuación de las fuentes de información clásicas a estos análisis (cartografía y fotografía aérea) y el

impacto de nuevas tecnologías (GPS, fotogrametría digital y altimetría láser aerotransportada), así como su precisión geométrica. Se evalúa el interés de nuevas expresiones para las tasas de erosión (tasas superficiales y volumétricas) y se revisan los métodos para los cálculos de la evolución futura de la línea de costa (análisis de tendencias históricas y modelación numérica).

Hernández y otros (2004) exponen las tendencias morfodinámicas en el margen costero estatal (retroceso y acreción costera), mediante la aplicación del método cartográfico histórico-comparativo de documentos correspondientes a los años 1943, 1972, 1984 y 1995, así como por observaciones y mediciones geomorfológicas de campo (2003-2004). Estas últimas se ejecutaron en algunos sectores con régimen de retroceso sostenido de la costa, entre los que se destacan las tasas medias anuales de retroceso del poblado Sánchez Magallanes (-3 a -5 m/año) y de la desembocadura del río San Pedro y San Pablo (-8 a -9 m/año). El estudio morfodinámico costero propició la selección de los sitios para el monitoreo permanente, a mediano y largo plazos, como estrategia complementaria para el seguimiento del grado de modificación de la línea costera de Tabasco y de sus escenarios actuales de vulnerabilidad. Las localidades propuestas para el monitoreo sistemático son, de oeste a este: Sánchez Magallanes, El Alacrán, Barra de Tupilco, Playas El Limón, Dos Bocas y Bruja, zona costera entre San Luis e Ixtapan, todas con tendencia retrogradativa; y La Constancia-San Ramón, y La Barra, ambas con tendencia progradativa o de acreción.

Algunas investigaciones relacionadas con la morfología costera en la región de Cuba Oriental.

Rodríguez (1998) Realiza el estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Donde determina los principales sistemas tectónicos presentes en la región, caracterizando cada uno de ellos en dependencia de su edad, dirección, magnitud y papel que desempeñan en la configuración morfológica y tectónica actual del territorio, aplicando para ello un conjunto de métodos geológicos, geomorfológicos, geofísicos y geodésicos que garantizan un mejor cartografiado y mayor

confiabilidad en las conclusiones sobre su influencia en los procesos geodinámicos. Al quedar determinadas las estructuras tectónicas principales se estableció el sistema de bloques morfotectónicos en dependencia del estilo morfológico y caracterización tectónica lo que a su vez, permitió arribar a conclusiones sobre la dirección y magnitud de los desplazamientos bajo los efectos de los movimientos geodinámicos actuales. Con los datos obtenidos se confeccionó el mapa de riesgo ante los fenómenos sismotectónicos, que permite establecer las áreas de posible desarrollo socioeconómico así como la toma de medidas técnicas ingenieriles en las obras ya construidas en sectores de alta peligrosidad.

Cervantes y otros (2009) realizan una investigación con el propósito de comprobar cambios en la dinámica erosiva-acumulativa en Cayo Moya Grande, con base en un análisis fotogeológico temporal. Donde 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 Moya 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.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA LITORAL DEL MUNICIPIO MOA

- Generalidades.
- Características Geológicas.
- Geología del área de estudio.
- Características Tectónicas del sector de estudio.
- Características hidrogeológicas del sector de estudio.

1.6 Generalidades

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba oriental. Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; por el Sur limita con el municipio guantanamero de Yateras; por el Oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y por el Norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. El área de estudio se ubica en una franja costera de 40 Km desde la Bahía de Yaguaneque hasta la desembocadura del río Jiguaní al Este. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Burro y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey. (Figura 3)

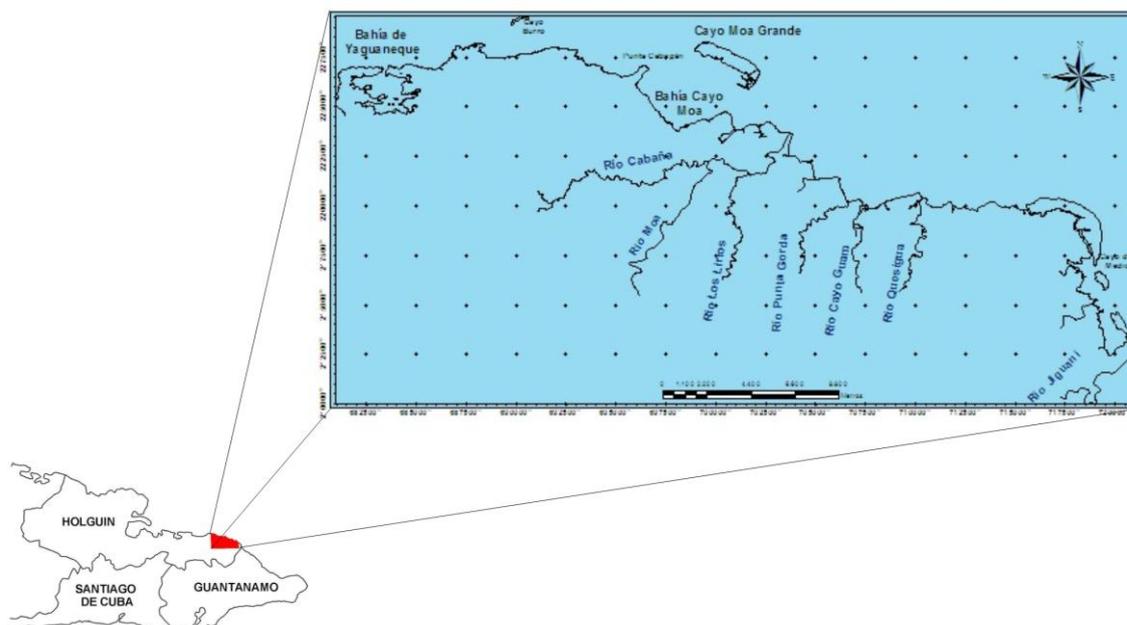


Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Orográficamente el territorio se caracteriza por una alta complejidad, predominando el relieve de montaña, hacia la parte este, con cota máxima de 1139 m sobre el nivel del mar (El Toldo) y ondulado hacia el norte, zona correspondiente a la región costera. La zona montañosa se caracteriza por presentar valores de pendientes que pueden sobrepasar los 45 grados y valores máximos de isobasitas de 900 m en el segundo orden y 800 m en el tercero. (Rodríguez, 1998a).

Como se observa en la figura 4, en el área de estudio aparecen todas las formas del relieve descritas por (Rodríguez, 1998a), teniendo mayor relevancia la zona de llanuras, que se desarrolla en toda la parte norte del área de estudio, ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

Al Sur del sector de estudio predomina el relieve montañoso, ocupando la mayor extensión las montañas bajas aplanadas y las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.

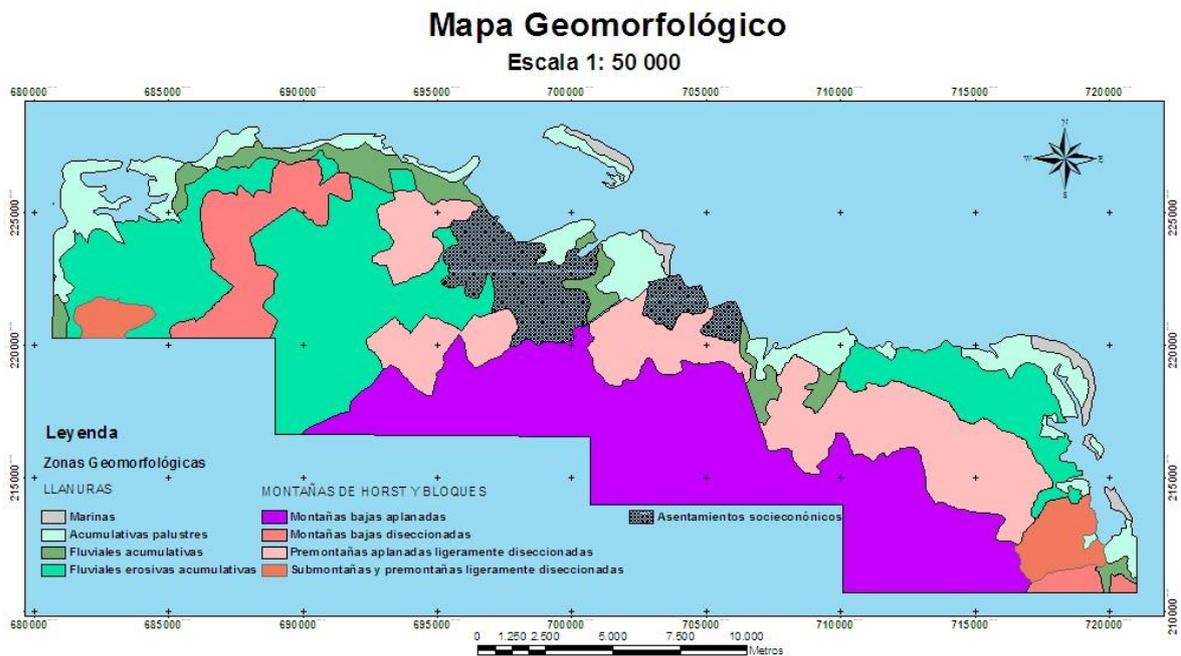


Figura 4. Mapa geomorfológico. Escala 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998a)

El municipio Moa presenta características climáticas muy propias, debido a su ubicación geográfica, relieve y dirección e intensidad predominante de los

vientos. Estas se distinguen con claridad por las condiciones pluviométricas exclusivas del lugar, e incluso dentro del mismo territorio donde existen variaciones en los acumulados de precipitaciones debido a la diferencia de altitudes y la existencia de zonas a barlovento y sotavento. El clima de la zona es subtropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones períodos secos y húmedos. La temperatura media anual oscila entre 22.26 - 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero.

La principal cantidad de precipitaciones cae en forma de lluvias torrenciales, predominantemente originadas por tormentas y por efecto convectivo, estas últimas ocurren debido a la elevación del aire húmedo proveniente del mar sobre el macizo montañoso Cuchillas de Moa.

En el período comprendido entre los meses de diciembre a abril caen lluvias provocadas por la llegada de frentes fríos del norte. Los mismos pueden durar de dos a tres días, caracterizándose por tener poca intensidad y cantidad de lluvias.

El total de precipitaciones anuales es entre 767 - 3560 mm, siendo los meses más lluviosos octubre, noviembre y diciembre y los meses más secos abril, julio y agosto; la evaporación media anual varía entre los 1880 y 7134 mm.

La abundancia de precipitaciones en casi todo el año, conjugado con las características del relieve y del clima favorecen la existencia de la red hidrográfica bien desarrollada, de tipo dendrítica, aunque en algunos casos se observa subparalela; representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Cananova, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Cupey, Yamanigüey, Jiguaní, los cuales de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

El río Moa, nace en la cota 950 m y desemboca en la bahía de Moa, tiene 21 km de extensión y corre en dirección noroeste-noreste, se alimenta de los ríos Calentura, Los Guineos, Arroyón y de arroyos y cañadas que bajan desde regiones montañosas. Su cauce presenta numerosos meandros, aunque su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas. Presenta

un caudal en seca de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y en época de lluvias alcanza $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Actualmente su flujo está regulado por la Presa Nuevo Mundo y la presa Derivadora de Planta de Agua perteneciente a la Empresa Comandante Ché Guevara.

El río Cayo Guam, nace en la cota 820m y desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación es de $57,71 \text{ Km}^2$. El río Quesigua, nace en la cota 420 m desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación asciende a 26.7 Km^2 .

El río Yagrumaje situado al sudoeste del yacimiento "Punta Gorda", tiene su nacimiento en la cota 620 m y su desembocadura en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 Km, su cuenca tiene un área aproximada de 12 Km^2 .

El río Jiguaní nace a 700 m y ocupa un área de alimentación de 21 km^2 .

Estos ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas, son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como nacimiento las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa. El nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca (Julio-Septiembre) y los más elevados en el período de lluvia (Octubre-Enero). (Domínguez, 2005)

Los ríos y sus cuencas hidrográficas tienen gran influencia sobre los ecosistemas costeros y marinos. Su alto poder erosivo y caudales arrastran todo tipo de material hasta depositarlo finalmente en la costa y el mar, afectando con ello importantes recursos escénicos, como la Bahía de Río Moa, y recursos biológicos y pesqueros como los ya afectados arrecifes coralinos.

La acción de los Alisios que predominan del nordeste en invierno y del este en el verano y las características orográficas del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa produce una serie de brisas locales de considerable magnitud que son capaces de modificar o perturbar el curso normal de los Alisios (Montesinos, 2007). Los vientos locales más importantes son las brisas marinas que durante el día refuerza a los alisios en la vertiente norte y el Terral que durante la noche los debilita. También se manifiestan con las brisas de

valles durante el día y las brisas de montaña que en el horario nocturno descienden hacia las partes bajas.

1.2 Características Geológicas

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación. (Rodríguez, 1998a).

En 1998, Iturralde-Vinent, reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoautóctono.

El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfozados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En el área de estudio no se encuentran representadas las unidades continentales.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno. El neoautóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

1.3 Geología del área de estudio

En el área de estudio existe un desarrollo considerable de los complejos ultramáfico, de gabros y volcánico-sedimentario (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b, 1999c, 2000) (Figura 3). Según Fonseca y otros (1985) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1000 metros y el de gabros

de 500 metros. Quintas (1989) estima un espesor de 1200 metros para el complejo volcano-sedimentario.

El complejo ultramáfico desde el punto de vista petrológico se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas, y piroxenitas (García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 Km de ancho, por 10 a 15 Km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Muchas veces los gabros están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985), aunque Andó y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional.

Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985; Torres, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b; Rodríguez, 2000).

Las secuencias del arco de islas volcánico del Cretácico están representadas por las rocas de la Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), integrada fundamentalmente de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas (Proenza y Carralero, 1994; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Gyarmati y otros, 1997).

Las secuencias del arco de islas volcánico del Paleógeno están representadas por la Formación Sabaneta (Daniano-Eoceno Medio) (Iturralde-Vinent, 1976, 1995, 1996, 1998; Cobiella, 1988, 1997, 1998; Proenza y Carralero, 1994; Quintas y otros, 1995). La cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícará y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Nagy y otros, 1983). La misma está compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gabelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor. Otros autores como es el caso de Albear y otros (1988), dividen esta formación en Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio) y Miranda (Paleoceno-Eoceno) (Figura 5),

mientras que Gyarmati y Leyé O'Conor (1990) la divide en Sabaneta y Castillo de los Indios. Todas ellas con características similares.

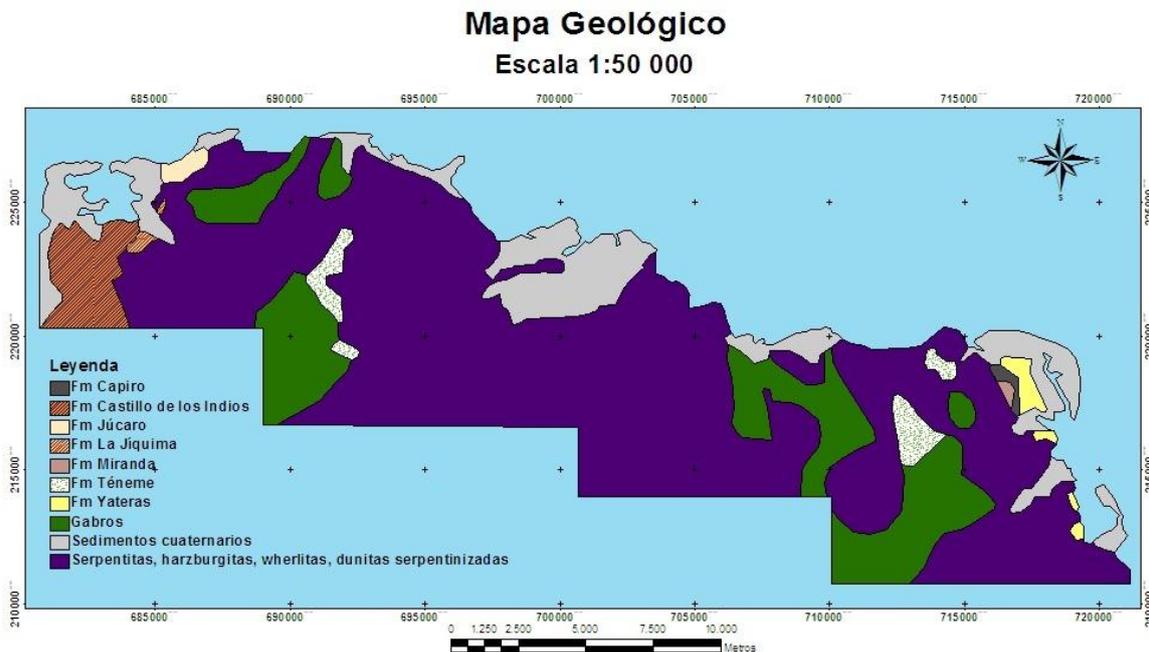


Figura 5. Mapa geológico. Escala 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez, A. 1998a)

Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por la formación Sierra de Capiro (Eoceno Superior), que se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978a, 1978b; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

Las rocas del neoaútóctono constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada, que aflora en las cercanías de las costas formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 1996; Crespo, 1996; Rodríguez, 1998a, 1998b).

1.4 Características Tectónicas del sector de estudio

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se

manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, 1998a, 1998b).

Campos, (1983). Plantea que este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas. Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983; Rodríguez, 1998a, 1998b).

También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

Rodríguez A., 1998 a, reconoce para el territorio cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. (Figura 6)

La descripción de cada uno de estos sistemas y las principales estructuras que los conforman se realiza a continuación según un orden cronológico desde el sistema más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas.

Del análisis de la evolución geológica de la zona de Moa se aprecia la complejidad lito-estructural de los distintos macizos rocosos presentes. Según Rodríguez A., 1998b, es común el alto nivel de agrietamiento y la presencia de fallas de carácter regional, las cuales se detallan a continuación: El sistema más antiguo para la región tiene su origen asociado al cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la presumible colisión entre el arco insular y el margen pasivo de la Plataforma de Bahamas. Bajo estas condiciones compresivas ocurre el emplazamiento del complejo ofiolítico a través de un proceso de acreción, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites internos de los complejos máficos y ultramáficos y de estos con las secuencias más antiguas. Respecto

al momento en que ocurre este proceso existen divergencias. Proenza J. (1997), considera que éste se desarrolla en el periodo Campaniense Superior-Paleoceno Inferior.

Las fallas de este sistema aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas por sistemas más jóvenes y no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual.

Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigua, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur, así como las fallas que en El Lirial Abajo, Peña y Ramírez y Caimanes Abajo ponen en contacto a las serpentinitas con las rocas de las formaciones La Picota, Mícará y Quibiján respectivamente.

Muchas de las estructuras de este sistema se encuentran enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes así como por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico. Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, pudiendo notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio.

El segundo sistema cronológico está constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos, haciéndose sumamente importante la caracterización del mismo desde el punto de vista geodinámico contemporáneo. Este sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados.

Las estructuras de este sistema se considera han sido originadas como resultado de los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, existiendo una transición de las

condiciones compresivas iniciales, típicas de la colisión, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico de las paleounidades tectónicas que obducen sobre Bahamas, por lo que el comportamiento final de estas estructuras es de carácter normal.

Teniendo en cuenta el proceso que les dio origen, su edad es considerada en su fase final como Eoceno Medio con dudas (?), según lo ya analizado al inicio del capítulo referente a las divergencias existentes sobre la edad probable de culminación del proceso.

Las principales estructuras representativas de este sistema serán caracterizadas a continuación.

Falla Los Indios: Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Cayo Guam: Con una dirección $N15^{\circ}W$, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Moa. Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de $N48^{\circ}E$, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo $N25^{\circ}W$.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo $N35^{\circ}E$ denominado La Vigía y el otro de rumbo $N74^{\circ}E$ nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

En su conjunto forma la estructura más compleja, pero a su vez, de más fácil reconocimiento por su expresión nítida en la topografía.

Falla Miraflores: Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E.

Falla Cabaña. Se extiende desde el extremo centro occidental del área al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande.

En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní.

Falla Maquey: Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de deslizamiento por el rumbo - *Strike-Slip* - determinadas durante las recientes investigaciones y que no habían sido reportadas con anterioridad, las cuales se denominaron

Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos, no presentan similitud con las fallas antes descritas. El origen de estas estructuras se consideró está asociado al momento en que se inician los movimientos hacia el este de la Placa del Caribe a través de la falla Oriente, desarrollándose un campo de esfuerzo de dirección norte-noreste, con la compresión del Bloque Oriental Cubano, en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que provocó la ruptura y el reacomodamiento de la corteza desde el Eoceno Medio-Superior.

Falla Cananova: Fue cartografiada a escala 1: 25 000 desde la Bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral, presentando un rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Falla El Medio: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área, pero tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes.

Las características descritas anteriormente permiten suponer una génesis asociada a procesos de descompresión o expansión de bloques, al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales.

La edad de este sistema es considerada en su límite inferior posterior al Mioceno Medio, momento en que se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general y se extiende hasta el presente por prevalecer las condiciones geodinámicas que le dan origen.

Bloque Miraflores. Se encuentra ubicado en la parte más occidental del área, teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales, norte y nororientales del mismo.

Está conformado litológicamente en superficie por las rocas del basamento del arco insular cretácico y de la antigua corteza oceánica - secuencia ofiolítica - con pequeños sectores en su porción suroccidental de afloramiento de las rocas de las formaciones Mícara y Sabaneta y al norte por la formación Júcaro y los sedimentos parálícos y fluviales del Cuaternario.

Geomorfológicamente el bloque se caracteriza por presentar montañas bajas diseccionadas en su mayor territorio, hacia el oeste y el norte presenta llanuras fluviales acumulativas así como llanuras palustres en la parte correspondiente al litoral.

Este sistema de montañas desarrollado sobre las rocas del complejo ofiolítico se va a caracterizar por líneas divisorias alargadas con orientación principal norte-noreste condicionada por los procesos tectónicos que provocaron el emplazamiento de las ofiolitas y diseccionadas a través de numerosas fallas que la cortan, siendo la más significativa la falla Cananova que marca el límite entre dos sectores del bloque: norte y sur.

Bloque Cabaña. Situado al este del bloque Miraflores, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste.

Geológicamente el basamento sobre la cual se sustenta la morfología de este bloque está conformado por las tobas de la formación Santo Domingo, las rocas del complejo ofiolítico y sedimentos parálícos y fluviales en la zona aledaña al litoral.

El relieve es de llanuras erosivas y erosivo-acumulativas las que hacia el sur transicionan a submontañas ligeramente diseccionadas con divisorias de configuración arborescente. El drenaje es de densidad moderada a alta con predominio de redes dendríticas exceptuando los cauces primarios del río Cabaña cerca de la zona de intersección con el río Moa, donde aparecen redes enrejadas.

Los valores morfométricos que para este bloque se comportan con gran variabilidad evidencian una intensidad mínima de levantamiento relativo respecto a los bloques laterales con una disección vertical máxima de 100 m/km^2 en la parte centro - septentrional, disminuyendo hasta 90 m/km^2 hacia el norte y 40 m/km^2 hacia el sur.

Bloque M o a. Se encuentra ubicado en la parte centrooccidental del área de trabajo, al este de bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla M o a, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.

En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor porcentaje de su superficie. Hacia el sur, en la zona de Calentura afloran las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario.

Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan la densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, coincidiendo con las alineaciones tectónicas. Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos. Hacia el norte el relieve transiciona a premontañas bajas y aplanadas y de ahí a llanuras fluviales y palustres las cuales se encuentran cubiertas por las construcciones socioeconómicas de M o a.

Bloque El Toldo: Ocupa la posición central del área de estudio, correspondiéndole los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas.

En este bloque aparecen desarrolladas formas del relieve cársico en peridotitos ubicadas alrededor de las elevaciones máximas, siendo el punto de mayor cota El Toldo con 1174 m sobre el nivel del mar.

Hacia la parte norte, en su prolongación dentro de la zona marina puede notarse la pérdida de la barrera arrecifal desde la intersección de la falla La Veguita hasta la falla Quesigua, donde sólo queda como testigo de su existencia un banco de arena de morfología similar, lo que se considera constituye un índice de los movimientos diferenciales entre los bloques.

Bloque Cayo Guam. Junto con el bloque Cananova es el de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo.

Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros.

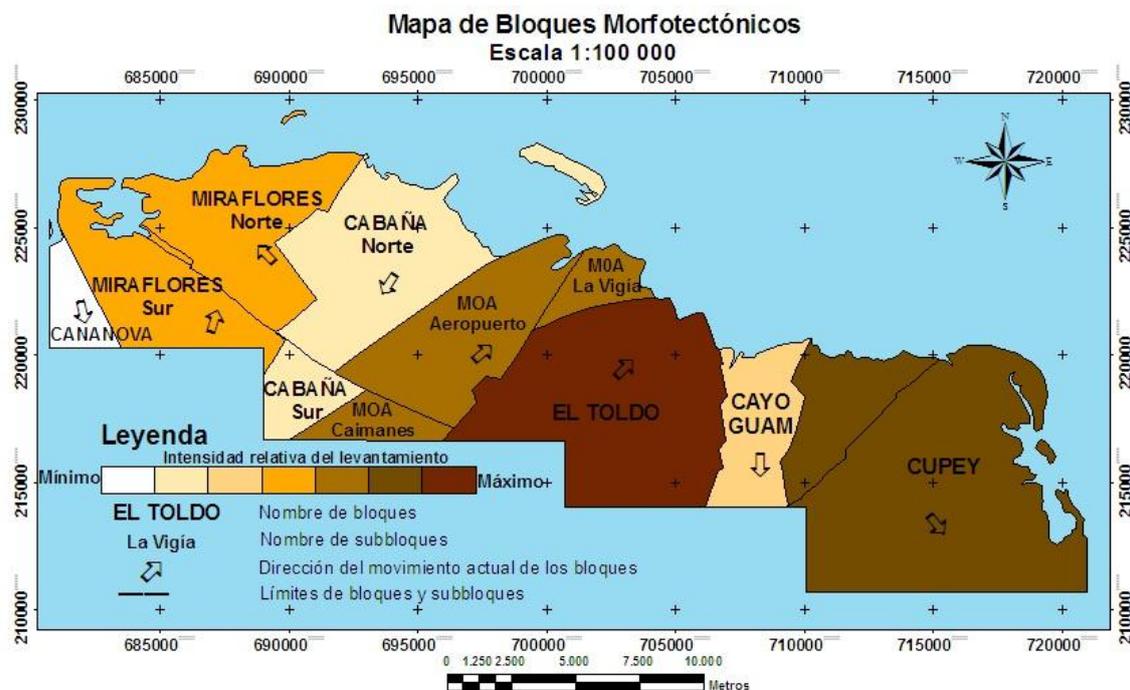


Figura 7. Mapa de bloques morfotectónicos. Escala 1: 100 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998a)

Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m.

Las estructuras tectónicas principales que atraviesan este bloque son de dirección noreste y en muchos casos cortan a las fallas límites de bloques.

Bloque Cupey. Se ubica en el extremo oriental del área de estudio.

Geológicamente a este bloque le corresponde la mayor complejidad al aflorar en su superficie las rocas del complejo ofiolítico que ocupan la mayor extensión del bloque, las rocas de las formaciones Sabaneta, Capiro y Majimiana y los sedimentos cuaternarios de origen parálico y fluvial. Estas últimas litologías se disponen en forma de franjas paralelas al litoral.

Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste. Las premontañas y submontañas serán aplanadas hacia el oeste y diseccionadas hacia el este. La variabilidad del relieve es el resultado de la acción de tres factores fundamentales: litológico, topográfico y tectónico, ya que no sólo existen variaciones en el tipo de roca sobre la cual se conforma el relieve sino que también, a partir de Punta Guarico ocurre una desviación costera de probable origen tectónico que condiciona la variación de la orientación fluvial, la que toma una dirección noreste, paralelo al sistema de grietas y fallas que controla el drenaje.

1.5 Características Hidrogeológicas del sector de estudio

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, lo identificamos como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido para la región, la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes, así como, de su capacidad para el almacenamiento en mayor o menor grado de aguas subterráneas, los mismos son descritos a continuación:

- Complejo acuífero de las ofiolitas

Se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s. según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo hidrocarbonatadas - magnéticas.

- Complejo acuífero de los sedimentos costeros

Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársicas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar. A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg., con un gasto específico (q) de 93.4 L/seg. En las calizas, según Kurlov el agua se clasifica como clorurada - hidrocarbonatada - sódica.

- Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.

Se extiende en dirección norte - sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con una potencia de 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos se asocian con una edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290

m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m; y se denominan según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin como hidrocarbonatadas magnésicas.

- Complejo acuífero de las lateritas.

Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m de potencia, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de esta agua. Por su composición química son aguas hidrocarbonatadas - magnésicas y sódicas de baja mineralización.

- Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos - carbonatados.

Aparece este complejo solo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

C A P Í T U L O I I . M E T O D O L O G Í A Y V O L U M E N D E L A **I N V E S T I G A C I Ó N D E S A R R O L L A D A E N E L Á R E A D E E S T U D I O**

- **Introducción**
 - **Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información precedente.**
 - **Segunda etapa: Procesamiento de la información.**
 - ✓ **Reconstrucción de la posición de la línea de costa**
 - ✓ **Obtención de la posición de la línea de costa actual**
 - ✓ **Implementación del Sistema de Información Geográficas (GIS)**
 - ✓ **Cálculo de tasa de erosión**
 - **Tercera etapa: Interpretación de los resultados**
-
-

2.1 Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la valoración de la influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa, a partir de la caracterización de los rasgos morfológicos del litoral y de los procesos geológicos que condicionan la morfología costera del área de estudio, según tres etapas principales. Se parte de una recopilación y revisión de la información de investigaciones precedentes, con lo cual se conforma la información primaria. Se describe el método y procedimiento utilizado para caracterizar los rasgos morfológicos del litoral y los procesos geológicos que operan; y así valorar la influencia de los procesos geológicos en la morfología costera.

La investigación se realizó en tres etapas fundamentales (ver Figura 8):

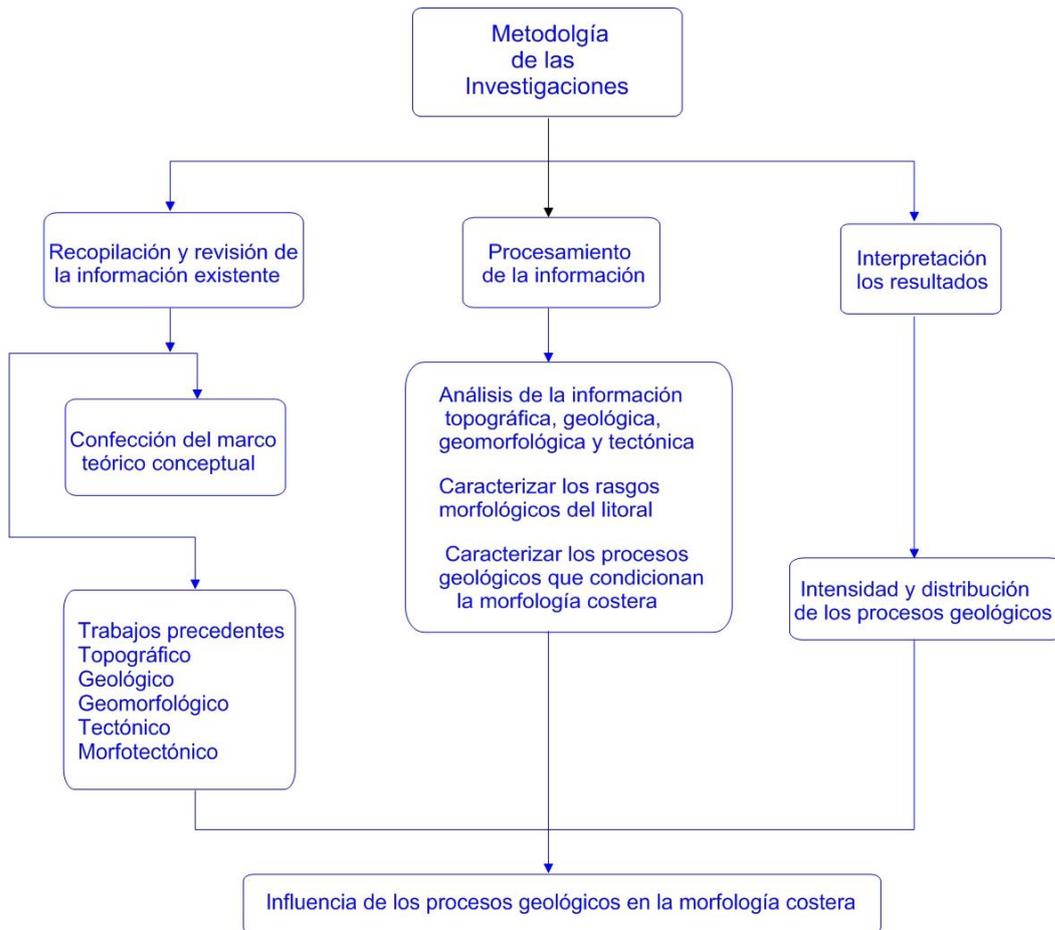


Figura 8. Metodología de las investigaciones desarrolladas.

2.2 Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información precedente.

En esta etapa se realiza el análisis de las bibliografías existentes de la región y del área de estudio, de la cual se extrae y recopila la información útil para la investigación. Se realizan búsquedas en el Centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diplomas, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet.

Como resultado se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, geomorfológico, topográfico, tectónico y morfotectónico.

En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación.

De igual manera se obtienen los mapas topográficos del área de estudio a escala 1: 25 000, del año 1963 y las fotografías obtenidas del programa Google Earth del año 2009 a una escala aproximada 1 : 36 000.

2.3 Segunda etapa: Procesamiento de la información.

En esta etapa inicialmente se realizaron marchas de reconocimiento de la zona de estudio con el objetivo de caracterizar los procesos geológicos. Durante esta etapa se georeferencia toda la información, utilizando el software Didger Versión 3.02. Además se digitalizan y modifican los mapas temáticos con el programa ArcGis 9.3. Con el software antes mencionado se vectoriza la línea de costa de los mapas topográficos y las fotos satelitales, permitiendo observar los principales cambios en la morfología costera del municipio de Moa.

Reconstrucción de la posición de la línea de costa

Para la obtención de la posición anterior de la línea de costa se utilizaron seis mapas topográficos del año 1963 escala 1: 25 000, con formato .jpg. Primeramente se georeferenciaron utilizando el Didger; y con el mismo software se digitalizó la línea costera para cada mapa, con lo que se obtuvieron seis porciones de la costa. Cada una se exportó con formato .shp y con el Surfer se adicionaron como mapas base hasta obtener la línea litoral completa.

Obtención de la posición de la línea de costa actual

Para la obtención de la posición de la línea costera actual se utilizó una aplicación de escritorio de Google Earth del año 2009, utilizando una herramienta que permitió crear un polígono siguiendo el litoral. Este polígono se guarda como un archivo .kml, luego se transforma .shp con una herramienta del ArcGis; después se carga con el Surfer y se convierte a .bin. La tabla obtenida se lleva a .xls y se transforman las coordenadas geográficas a planas rectangulares con el software Geographic Converter 4.10 y se realiza el proceso inverso hasta obtener un archivo .shp.

2.3.1 Implementación del Sistema de Información Geográficas (GIS)

El Sistema de Información geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización.

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfico esta íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelación y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre. Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

A todo objeto se asocian unos atributos que pueden ser:

- Gráficos
- No gráficos o alfanuméricos.

El ArcGIS es el sistema utilizado en la presente investigación y toda la actividad se localiza en un proyecto, el cual esta formado por diferentes documentos

como Vistas, Tablas, Diagramas o Gráficos, y Presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión *.apr.

Vistas (VIEW). En el View se integran los diferentes temas o mapas, y en esencia es una superposición de todos temas que conforman el proyecto.

Tablas (TABLE). Las tablas (Figura 9) se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva o atributos del mismo. Están formadas por columnas y filas o registros que representan características individuales de cada rasgo y por columnas o campos que definen las características de todos los elementos.

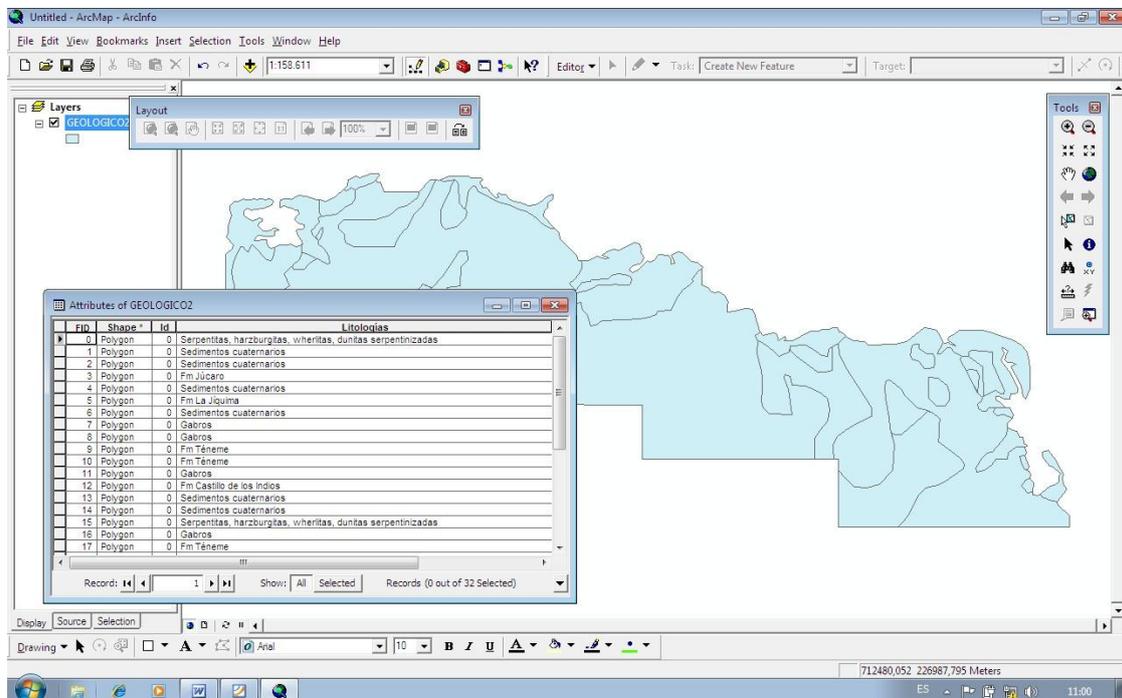


Figura 9. Visualización del proceso de digitalización utilizando el ArcGIS 9.3.

En el proyecto se han utilizado las siguientes fuentes de datos tabulares: de base y archivo texto delimitado por espacios.

Layouts.

Se utilizaron los layouts o mapas de representación para combinar los múltiples documentos o temas del proyecto para ilustrar los resultados finales de la investigación e implementación de la metodología de valoración de los cambios en la morfología costera. Esta opción del sistema nos permitió además,

preparar las salidas gráficas de los mapas incluyendo la escala, leyenda, el grid y sistema de coordenadas y el formato de hoja.

2.3.2 Cálculo de tasa de erosión

Una vez que las líneas de costas se encuentran compatibilizadas (comparten un mismo sistema de referencia geométrica) e implementado el Sistema de Información Geográfica se precede a medir la distancia lineal entre el par de líneas de costa, y conociendo el periodo de años se calcula la tasa de variación de la línea de costa, aplicando la tasa de punto final (end-point rate); que se calcula por la siguiente expresión (Del Río, 2007):

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

Donde:

T_{pf}: Tasa de punto final

D: Distancia entre las líneas de costa en los diferentes años

A: Periodo de años

2.4 Tercera etapa: Interpretación de los resultados

Para determinar la influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio de Moa, se escogen seis (6) sectores que ejemplifican la evolución de la costa para en periodo de veintidós (22) años.

En la elección de los sectores se consideran los siguientes factores, por orden de prioridad:

➤ Error mínimo al digitalizar.

Para elegir los sectores tiene gran importancia este factor, en el caso de la presente investigación al digitalizar la franja costera como una línea se trabaja con precisión para evitar incurrir en errores ocasionados por el uso de mapas topográficos al no conocer el sistema empleado para definir la línea de costa y por el Google Earth, eliminando las zonas de bajo contraste del límite tierra mar o afectadas por la posición de las nubes.

➤ Intensidad de los procesos geológicos.

En la evolución de la zona costera en la región de estudio, se analizan los sectores donde los cambios son palpables y fáciles de estudiar; y se

desechan aquellos donde la variabilidad es mínima, para luego realizar estudios con más detalle.

➤ **Accesibilidad.**

Se realiza la comprobación de campo para determinar el grado de accesibilidad a los sectores de estudio, en el objeto de estudio algunos accidentes costeros son de difícil acceso, ya sea por que se encuentran alejados de la costa y se necesita algún medio de transporte o por que son áreas protegidas u objetivos militares.

Considerando los criterios anteriores el área de estudio se delimitan los siguientes sectores:

- I. Punta Mangle.
- II. Punta Guarico.
- III. Punta Cabagán.
- IV. Cayo del Medio.
- V. Cayo Moa Grande.
- VI. Cayo Burro.

Posteriormente se determina la tasa de erosión para cada uno de ellos y se caracterizan los procesos geológicos costeros del municipio de Moa, a partir de la intensidad y distribución espacial de los mismos, que permite establecer el grado de afectación de estos a la morfología costera.

C A P I T U L O I I I . I N F L U E N C I A D E L O S P R O C E S O S G E O L Ó G I C O S Q U E A F E C T A N L A M O R F O L O G Í A C O S T E R A D E L M U N I C I P I O M O A .

- **I n t r o d u c c i ó n**
 - **C a r a c t e r í s t i c a s d e l o s r a s g o s m o r f o l ó g i c o s d e l l i t o r a l d e l m u n i c i p i o d e M o a .**
 - **P r o c e s o s g e o l ó g i c o s q u e c o n d i c i o n a n l a m o r f o l o g í a c o s t e r a e n M o a .**
-
-

3.1 I n t r o d u c c i ó n

A lo largo de las últimas décadas se ha producido un aumento en el impacto de los procesos naturales y antropogénicos a las costas y por tanto de los riesgos costeros que estos ocasionan. Este interés está relacionado con un posible incremento en la frecuencia de los eventos y con el proceso de litoralización que está viviendo la población mundial. Por un lado, están los riesgos geológicos característicos de áreas continentales (volcanismo, sismicidad, inundaciones de origen fluvial) y por otro, los riesgos exclusivos de ambientes costeros controlados por los procesos de origen marino (olas, corrientes, mareas y oscilaciones del nivel del mar). Esta variedad de agentes revela la complejidad de procesos en relación con la dinámica geológica de los medios litorales.

Partiendo de esta reflexión en este capítulo se caracterizan los rasgos morfológicos en la zona litoral así como los procesos geológicos que influyen en la morfología costera del municipio de Moa, haciendo alusión especialmente a los procesos exógenos.

3.2 C a r a c t e r í s t i c a s d e l o s r a s g o s m o r f o l ó g i c o s d e l l i t o r a l d e l m u n i c i p i o d e M o a

La zona costera del municipio Moa constituye un ambiente altamente dinámico y cambiante, donde los procesos se desarrollan a una elevada velocidad, fundamentalmente en los sectores bajos. Resulta por tanto fundamental conocer su evolución y los agentes que actúan sobre su dinámica, de cara a poder predecir en un futuro cercano, con cierta garantía, las tendencias de la costa.

El relieve costero del municipio de M o a esta constituido por:

Bahías: Bahía de Cañete, Bahía de Yaguaneque, Bahía Cayo M o a, Bahía Yaguasey, Bahía de Yamanigüey y Bahía de Jaraguá.

Puntas: Punta Guarico, Punta Reventazón, Punta de Piedra, Punta el Majá, Punta Cabagán, Punta Manatí, Punta Coca, Punta Carnero, Punta Yaguasey, Punta La Fábrica, Punta Río M o a, Punta Yagrumaje, Punta M angle y Punta del M angle.

Ensenadas: Ensenada Varias Aguas y Ensenada de Vaca.

Cayos: Cayo del Medio, Cayo los Perros, Cayo M o a Grande y Cayo Burro.

Playas: Playa el Muerto y Playa Jiguaní.

Flechas: Flecha Jiguaní.

Bocas: Boca Cabañas y Boca del Río Jiguaní.

Para ello, en primer lugar y como se explica anteriormente se concreta la zona de actuación de esta dinámica, dividiendo el objeto de estudio en seis sectores:

- I. Punta M angle.
- II. Punta Guarico.
- III. Punta Cabagán.
- IV. Cayo del Medio.
- V. Cayo M o a Grande.
- VI. Cayo Burro.

En la definición de la línea de costa de estos sectores, se considera la misma como el espacio en el que interaccionan los ambientes terrestres y marinos, con un ancho variable, sujeta a sucesivos cambios a lo largo del tiempo. Por este motivo, su delimitación es muy difícil y los límites consisten muchas veces en cambios graduales entre uno u otro ambiente considerando la línea de mareas.

3.3 Procesos geológicos que condicionan la morfología costera en M o a

En la región de Moa al igual que en cualquier parte del mundo con costas, los agentes principales que actúan sobre estas y que influyen en su modelado son las olas, corrientes marinas y mareas, dando lugar a erosión o acumulación de sedimentos y provocando cambios donde ellos actúan.

Para estudiar la morfología costera se parte de determinar la influencia que generan los procesos geológicos, pero en este caso en particular se le presta atención a los procesos exógenos asociados a la acción del oleaje generado por el viento y las mareas que desarrollan los procesos erosivos y acumulativos costeros.

Los procesos geológicos exógenos característicos del litoral de la región de estudio son muy variados y muestran una gran complejidad debido a la relación entre erosión y sedimentación que se produce en las diferentes zonas de la costa. Los agentes morfogenéticos principales de origen marino son el oleaje (y las corrientes litorales asociadas a él) y las mareas. El primero de ellos, que ya se refirió en el capítulo I presenta una gran variabilidad. Para esta región existe un oleaje de baja magnitud y alta frecuencia, relacionado con situaciones meteorológicas más benignas y más habituales, cuyo efecto sobre la costa puede ser también muy importante, ya que el tiempo de actuación del proceso es mucho mayor y provoca una erosión más lenta, o una sedimentación. Las mareas como oscilaciones del nivel del mar presentan en general una menor energía, con rangos de marea de 3 m o más dando lugar en el litoral a la formación de llanuras de mareas y zonas palustres.

La sedimentación bajo estas condiciones se produce porque el flujo de las corrientes mareales alcanza un valor mínimo; esto sucede básicamente cada vez que el nivel del mar alcanza su máximo (pleamar, con depósito en la llanura supramareal). El resultado de todo este proceso es una progresiva colmatación de los entrantes de costas.

Además de lo expuesto anteriormente se precisa que las causas de los procesos de erosión y sedimentación de las costas de Moa son muy variadas y complejas, ligadas tanto a procesos naturales como a actuaciones antrópicas inadecuadas.

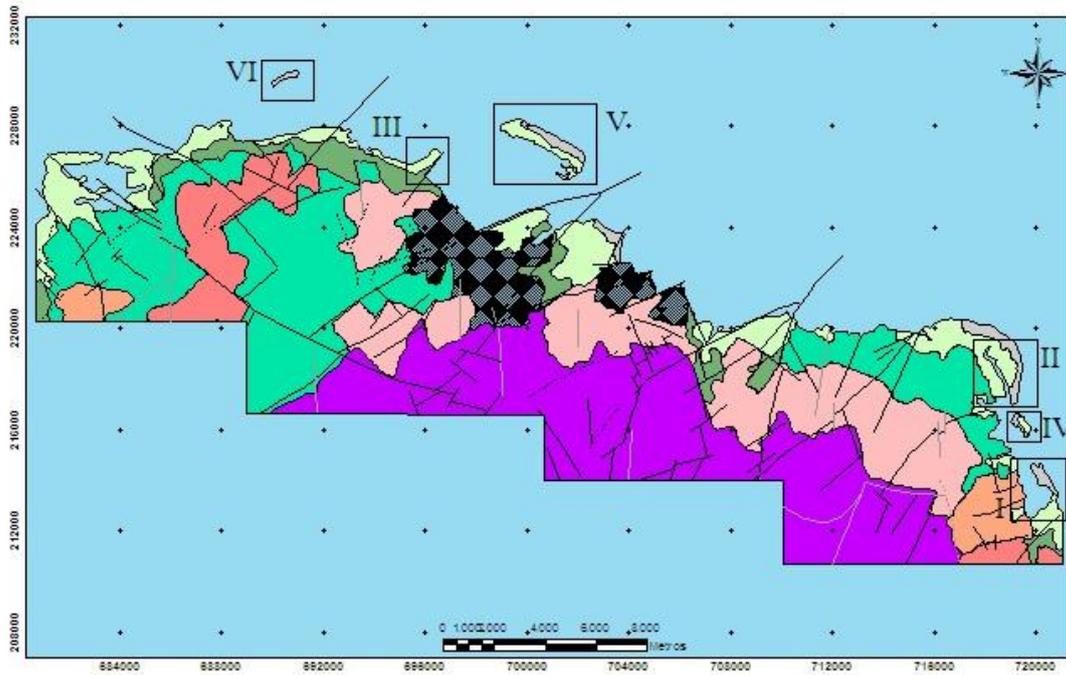
Dentro de las causas de origen natural se encuentran las oscilaciones relativas del nivel del mar, a escala de decenas o cientos de años, que inciden sobre el equilibrio de la línea de costa. Las predicciones basadas en el actual calentamiento global suponen un ascenso medio global del nivel del mar de entre 25 y 60 cm para finales de este siglo (IPCC, 2007). Otra causa es la incidencia de temporales, que puntualmente pueden ocasionar pérdidas importantes de sedimentos en periodos de tiempo muy breves pero que no es de interés para esta investigación; las corrientes litorales generadas por vientos, olas y mareas, transportan sedimentos de unos lugares a otros, favoreciendo la erosión o la sedimentación dependiendo de factores locales y los cursos fluviales que constituyen la principal fuente de aporte de sedimentos a la costa, donde son redistribuidos por las corrientes litorales. Esto implica que cualquier alteración en los ríos o en sus cuencas receptoras generará variaciones en la cantidad de los aportes.

Producto a las actuaciones humanas la minería, la deforestación de cuencas y la roturación para prácticas agrícolas acelera la erosión de los suelos, cuyos productos son transportados hacia la costa. Se produce así progradación, con sedimentación en deltas, playas.

En Moa, la deforestación durante las labores mineras llevó a una progradación costera generalizada, reflejada en el avance de deltas y flechas.

A continuación se describen las características geomorfológicas, tectónicas (Figura 10) y las tasas de erosión/sedimentación calculadas en cada uno de los sectores:

Mapa de Ubicación
Escala 1: 50 000



Leyenda

Sistema

- Primer (Cretácico- Paleoceno Inferior)
- Segundo (Paleoceno Inferior?, Eoceno Medio)
- Segundo (Paleoceno Inferior?, Eoceno Medio)
- Tercero (Posterior a Eoceno Medio)
- Cuarto (Posterior al Mioceno Medio)
- Cuarto (Posterior al Mioceno Medio)

Zonas Geomorfológicas

- Marinas
- Acumulativas palustres
- Fluviales acumulativas
- Fluviales erosivas acumulativas
- Montañas bajas aplanadas
- Montañas bajas diseccionadas
- Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas
- Submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas
- Asentamientos socioeconómicos

I Sector de estudio

□ Limite del sector

Figura 10. Mapa de ubicación de sectores, Escala 1:50 00 (Modificado de Rodríguez, A. 1998 a)

I. Punta Mangle. Las mayores variaciones ocurren en la zona de llanuras marinas en la parte Norte (Figura 11), donde se observa un avance de la línea de costa de 266.87 metros (P1), para una tasa de sedimentación de 5.80 m/año.

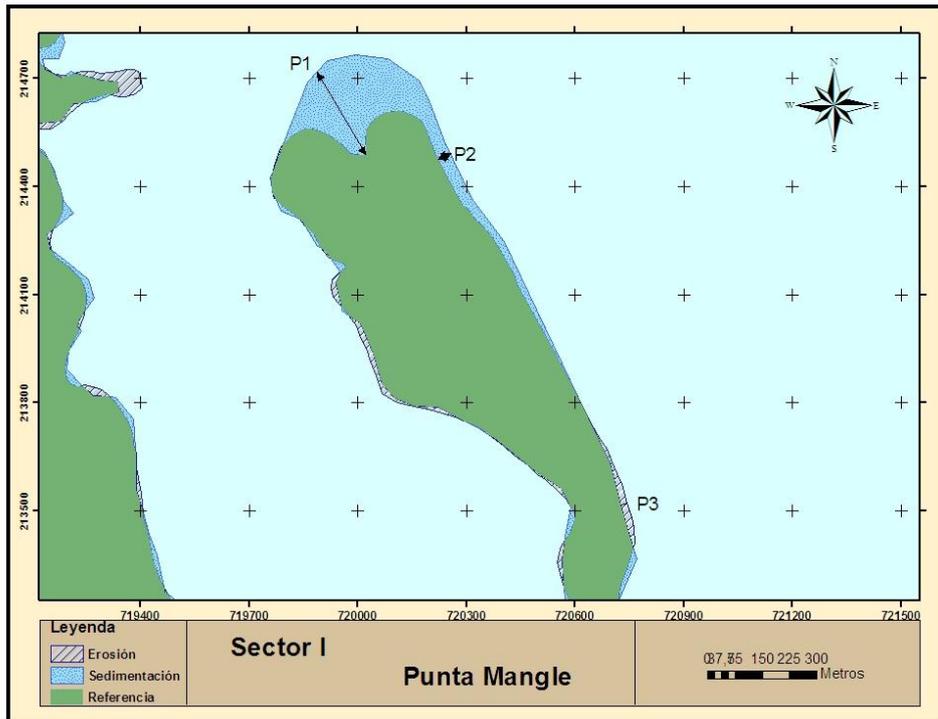


Figura 11. Mapa geomorfológico del Sector I, Punta Mangle, Escala Original 1: 25 000

En el sector P2 la costa avanzó solo 37.58 metros, para una tasa de 0.82/año y continúa disminuyendo hacia el Sur. En la zona del istmo (P3), se observa un ligero retroceso de 17.70 metros, correspondiente a la zona de llanura acumulativa palustre, con tasa de erosión de 0.38 m/año. Esta variación se comprueba durante los trabajos de campo, por la presencia de restos de troncos de árboles y afloramientos de arena consolidada (beach rock) en zonas sumergidas (Figuras 12 y 13). El sector es afectado por fallas del primer y segundo sistema (de carácter normal); y pertenece al bloque Cupey, que presenta una intensidad relativa de levantamiento media y que en la actualidad se mueve con dirección predominante sureste.



Figura 12. En la foto se observa resto de un tronco de *Casuarina* en una zona inundada por el mar, evidencia del retroceso de la costa en el sector Sur de Punta Mangle.



Figura 13. Afloramiento de arena consolidada (beach rock).

II. Punta Guarico. Hacia el este predominan las llanuras con desarrollo intenso de los procesos erosivos originados por la acción del oleaje (Figura 14), alcanzando valores de 68.86m (P5), 73.03m (P4), 76.95m (P7) y 100.93 (P6) metros de retroceso de la costa y tasas de erosión con valores de 3.13, 3.32,

3,50 y 4,59 m/año respectivamente.

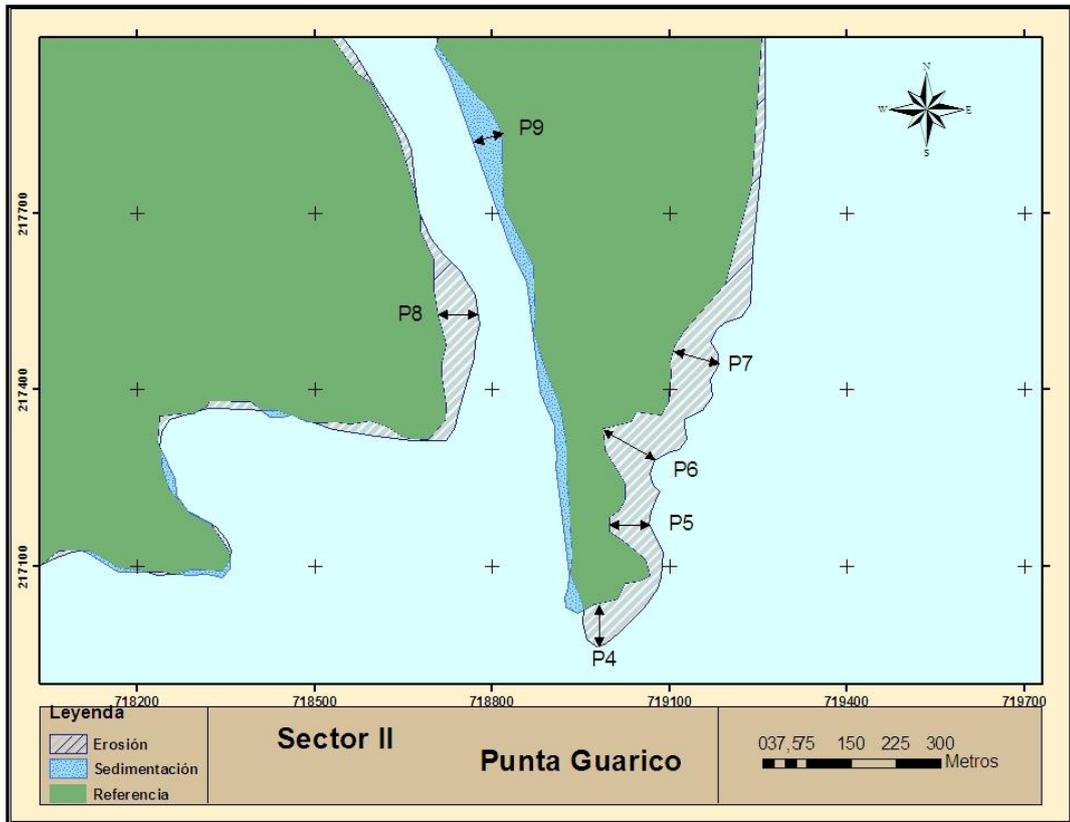


Figura 14. Mapa geomorfológico del Sector II, Punta Guarico, Escala Original 1: 25 000.

Hacia el Oeste, aparecen las llanuras acumulativas palustres con predominio de la acumulación de sedimentos con valor de las tasas de sedimentación medido en el sector P9 de 1.12 m/año, valor bajo respecto a las tasas de erosión. En el canal que forma Punta Guarico se evidencia un retroceso de la línea costera con valor de 67.81 metros (P8), lo que equivale a 1.47 m/año. La zona no es compleja tectónicamente, pero aparece una falla del segundo sistema (de carácter normal). Pertenece al bloque Cupey, que presenta una intensidad relativa de levantamiento media y que en la actualidad se mueve con dirección predominantemente sureste.

III. Punta Cabagán. Es el límite Oeste de la Bahía Cayo Moya (Figura 15), en el sector es variable la intensidad de los procesos estudiados, pues no se refleja de forma constante sino variable, se manifiesta un retroceso de la costa hacia

la parte que ocupa la bahía de 35.77 m, medido en el punto P14, con una tasa de erosión de 0.78 m/año, con excepción de un pequeño sector (P11) en forma de ala que ha avanzado 112.73 metros, y una tasa de 2.45 m/año. En el sector Este la línea costera ha evolucionado en forma de zig-zag, con avances y retrocesos sucesivos. La deposición de sedimentos ocurre con una velocidad de 1.99 y 0.73 m/año en los puntos P10 y P12 respectivamente y en P13 la tasa de erosión es de 0.89 m/año. Geomorfológicamente predominan llanuras acumulativas palustres excepto hacia un pequeño sector al Sur, donde aparecen llanuras fluviales acumulativas. Este sector pertenece al bloque Cabaña, sub-bloque Norte con sentido fundamental de los desplazamientos horizontales sur occidental, y tendencia predominante al levantamiento.

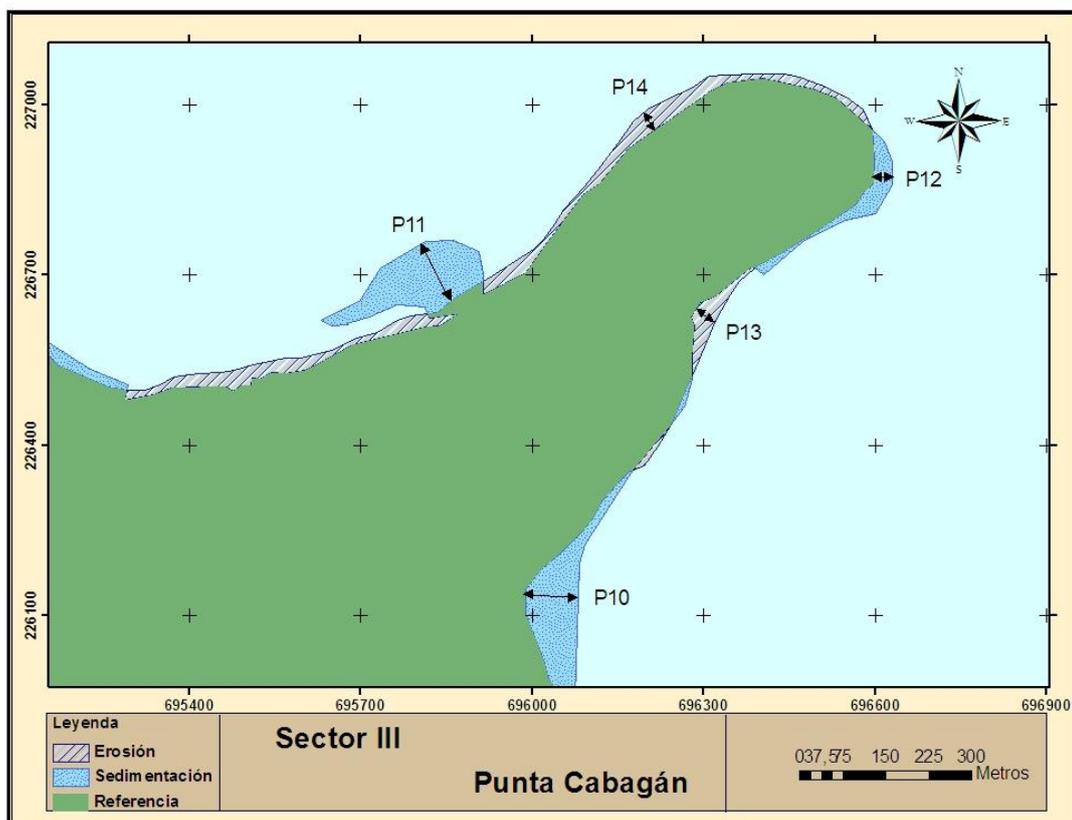


Figura 15. Mapa geomorfológico del Sector III, Punta Cabagán, Escala Original 1: 25 000.

IV. Cayo del Medio. En este sector las variaciones de la línea de costa no son tan acentuadas (Figura 16), se observa retroceso en la parte Noreste, correspondiente a llanuras acumulativas palustres, con valores de 0.73 y 1.12

m/año en los puntos P25 y P26, respectivamente; y sedimentación en toda la zona occidental del cayo (llanuras marinas), donde se reflejan avances de 0.99 (P24) y 1.12 (P27) m/año. No se encuentra afectado directamente por ningún sistema de fallas y pertenece al bloque Cupey, que presenta una intensidad relativa de levantamiento medio y que en la actualidad se mueve con dirección predominante sureste.

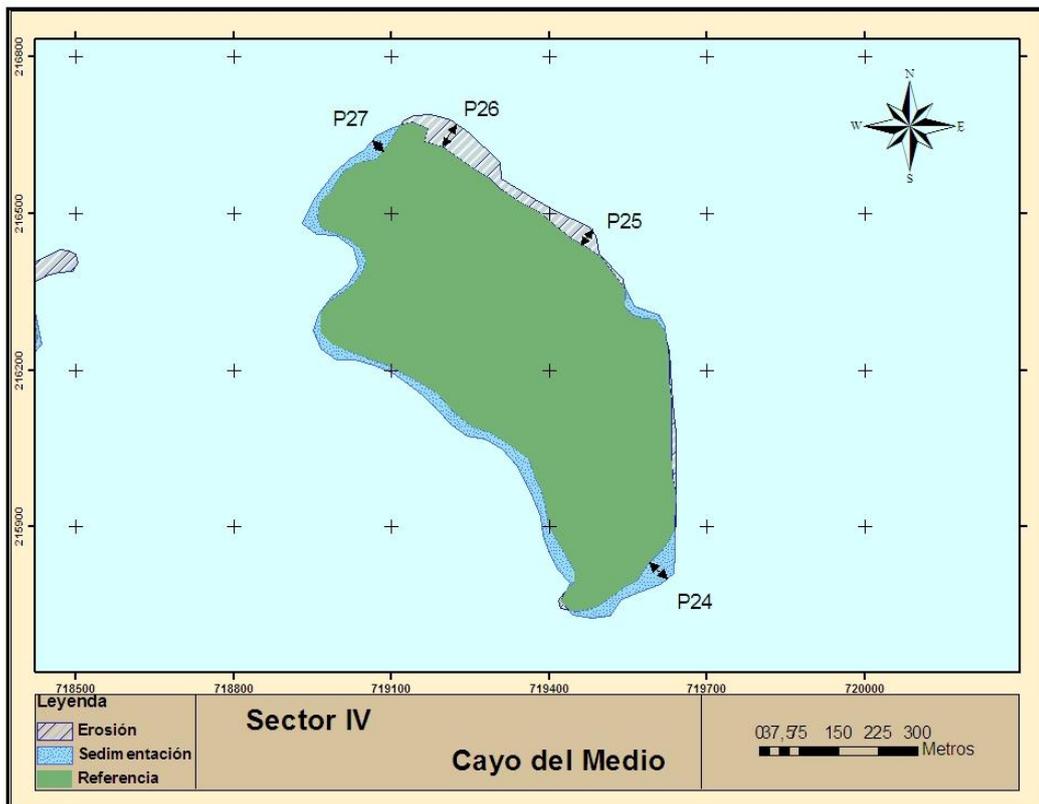


Figura 16. Mapa geomorfológico del Sector IV, Cayo del Medio, Escala Original 1: 25 000.

V. Cayo M o a Grande. En este sector predominan las llanuras acumulativas palustres al noroeste y las llanuras marinas al sureste. Para el estudio, el cayo se divide en dos (2) áreas de acuerdo al proceso geológico predominante. En el sector este predomina la erosión (figura 17). En el extremo sureste del cayo se ha formado una flecha de arena, que se extiende hacia el sur, 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, es muestra de la evolución costera, originando una nueva morfología. (Cervantes y otros, 2009).

Para esta porción del cayo el retroceso de la línea de costa se analizó en tres (3) puntos, con tasa de erosión de 4.01 m/año en P15. Contrario a lo que sucede en el sector este, en la parte central y oeste del cayo existe un predominio de la deposición de sedimentos, lo que se puede apreciar cuantitativamente, con el avance de 107.94 y 159 metros (P18 y P20), equivalente a 2.35 y 3.46 m/año respectivamente. Es afectado tectónicamente por las fallas La Vigía y Cabaña, pertenecientes al segundo sistema, esta última, límite este (E) del bloque del mismo nombre, sub-bloque Norte. El sentido fundamental de los desplazamientos horizontales es suroccidental, con una tendencia predominante al levantamiento.

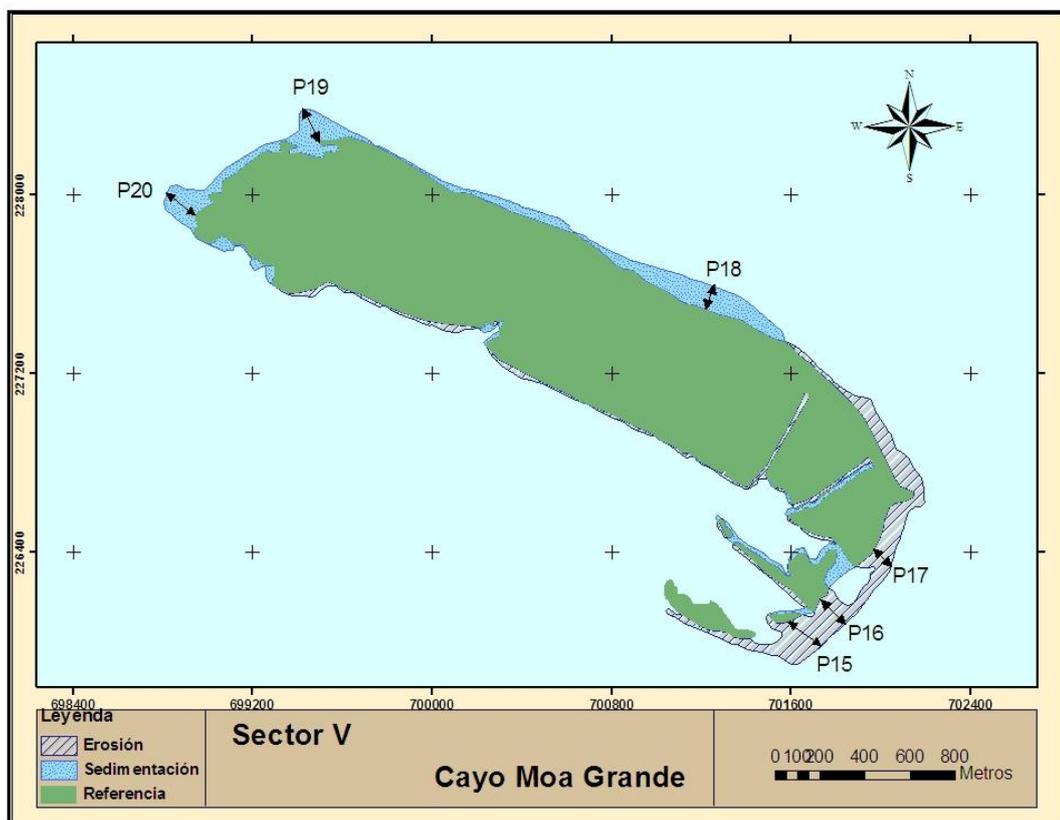


Figura 17. Mapa geomorfológico del Sector V, Cayo Moa Grande, Escala Original 1: 25 000.

VI. Cayo Burro. En este sector existe un predominio de la deposición de sedimentos sobre la erosión (Figura 18). En los mapas del año 1963 se observa que al Sureste del cayo existe un pequeño islote, que en la actualidad

se encuentra unido al mismo. La tasa de punto final se calculó en los puntos P21, P22, y P23; obteniendo valores altos de avance de la línea de costa de 109,45 metros en P23, con una tasa de 2.38 m/año. En zonas cercanas al sector se han descritos fallas del segundo sistema. Pertenece al bloque Miraflores, sub-bloque Norte; que se caracteriza por sufrir movimientos pulsantes, con tendencia general de desplazamiento norte-noreste con un mayor levantamiento de su parte oriental

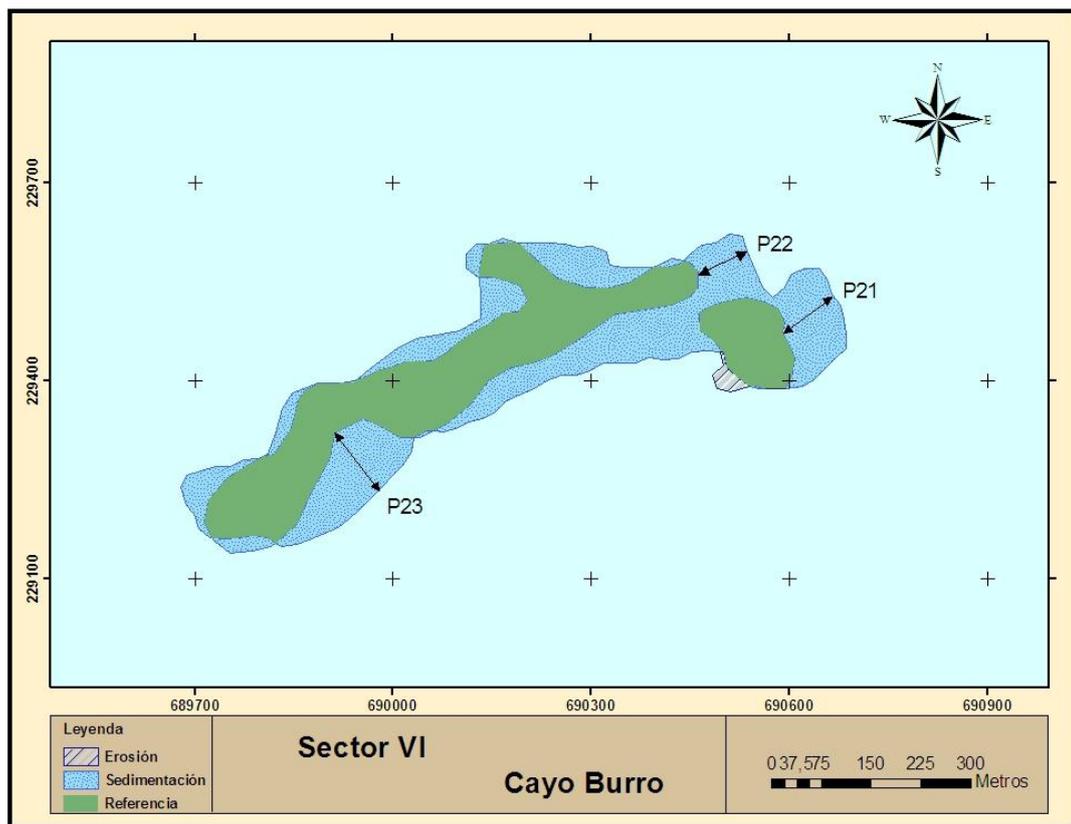


Figura 18. Mapa geomorfológico del Sector V, Cayo Moa Grande, Escala Original 1: 25 000.

CONCLUSIONES

- La morfología costera del municipio de Moa está condicionada por el oleaje (las corrientes litorales asociadas a él), las mareas y la evolución tectónica, que a través del tiempo han generado los rasgos morfológicos que la caracterizan: Bahía de Cañete, Bahía de Yaguaneque, Bahía Cayo Moa, Bahía Yaguasey, Bahía de Yamanigüey, Bahía de Jaraguá, Punta Guarico, Punta Reventazón, Punta de Piedra, Punta el Majá, Punta Cabagán, Punta Manatí, Punta Coca, Punta Carnero, Punta Yaguasey, Punta La Fábrica, Punta Río Moa, Punta Yagrumaje, Punta Mangle, Punta del Mangle, Ensenada Varias Aguas, Ensenada de Vaca, Cayo del Medio, Cayo los Perros, Cayo Moa Grande, Cayo Burro, Playa el Muerto, Playa Jiguaní, Flecha Jiguaní, Boca Cabañas y Boca del Río Jiguaní.
- Debido a la intensidad de los procesos de erosión y sedimentación que condicionan la morfología costera, la accesibilidad al área y la digitalización de las líneas de costa con un mínimo error se divide la región de estudio en seis sectores: I. Punta Mangle, II. Punta Guarico, III. Punta Cabagán, IV. Cayo del Medio, V. Cayo Moa Grande y VI. Cayo Burro.
- En el sector I. Punta Mangle existe un amplio desarrollo de la sedimentación sobre la erosión, teniendo su máxima expresión al Norte del sector con tasa de sedimentación de 5.80 m/año.
- En el sector II. Punta Guarico predomina la erosión sobre la sedimentación, evidenciada en el límite Este donde la línea costera retrocede con una velocidad máxima de 2.19 m/año. Sin embargo, hacia el Oeste, la línea de costa avanzó casi a la mitad de la velocidad con que se erosionó la zona oriental.

- En el sector III. Punta Cabagán se muestra variabilidad en la manifestación de los procesos geológicos estudiados. En el Este se alternan zonas de erosión y sedimentación, con mayor predominio de la tasa de sedimentación (1.99 m/año) respecto a la tasa de erosión (0.89 m/año). Hacia el Oeste se hacen más extensivos los procesos erosivos, paralelos a la costa con valor de la tasa de erosión de 0.78 m/año, excepto en una pequeña zona, que se interna en el mar, que manifiesta una velocidad de 2.45 m/año.
- En el sector IV. Cayo del Medio en casi su totalidad predomina la sedimentación sobre la erosión con velocidades de 0.99 y 1.12 m/año, solo la parte noreste del cayo evidencia un retroceso de la línea costera con valores medidos de tasa de erosión de 0.73 y 1.12 m/año.
- En el sector V. Cayo Moa Grande, en su porción oriental existe un predominio de la erosión con valores de tasa de erosión de 4.01, 3.37 y 2.33 m/año. En el sector central y occidental se desarrolla la sedimentación con tasa de sedimentación de 3.46, y 2.35 m/año.
- En el sector VI. Cayo Burro existe un predominio de la deposición de sedimentos sobre la erosión, que refleja considerablemente cambios notables en la morfología del sector, donde la línea de costa avanzó en todas las direcciones, con tasa de sedimentación de 2.38, 2.06 y 1.78 m/año.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de detalles para cada sector, teniendo en cuenta los factores locales que condicionan la morfología costera de los mismos.
- Realizar la evaluación de riesgo por erosión para los sectores estudiados, que permitan determinar la peligrosidad.
- Hacer extensivo el estudio al resto del litoral del municipio Moa.

BIBLIOGRAFÍA S

Albear, J.; I. Boyanov; K. Brezsnianszky; R. Cabrera; V. Chejovich; B. Echevarría; R. Flores; F. Formell; G. Franco; I. Haydutov; M. Iturralde-Vinent; I. Kantchev; I. Kartashov; V. Kostadinov; G. Millán; R. Myczynski; E. Nagy; J. Oro; L. Peñalver; K. Piotrowska; A. Pszczolkowski; J. Radoczj; Rudnicki; M.L. Somin. Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000, 1988.

Andó, J.; M. Kozák; Y. Ríos. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Minería y Geología*, 1:15-33, 1989.

Bosque Sendra, J., "Sistemas de información geográfica". Madrid, Ediciones Rialp, 451 p. 1992.

Bracken, y Webster., "Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S.". London: Routledge. 444 p. 1990.

Burrough, P.A., "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Oxford, Oxford University press. 194 p. 1988.

Campos, M. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76, 1983.

Cebrián, J.A. y Mark, D., "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos". *Estudios Geográficos*. (188), 277-299 p. 1986.

Cervantes y otros. Variación de la dinámica erosiva y acumulativa en Cayo Moa Grande, Bahía de Moa, Cuba. Periodo 1972-2007. *Minería y Geología*. v.25 n.4. 2009. <http://ismm.edu.cu/sites/revistamg/v18-n1-2001/art4-1-2001.pdf> [consulta: 24 may. 2012] ISSN 0258 5979.

Cobiella, J.L. Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 1978. 210 p.

- Un melange en Cuba oriental. La Minería en Cuba, 4(4):4-51, 1978.
- Cobiella, J.L. El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. Revista Tecnológica, 18(4): 25-32, 1988.
- Zonación estructuro facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. Minería y Geología, 14(1): 3-12, 1997.
- Codignotto, J. Geomorfología y dinámica costera. XIII Congreso Geológico Argentino. Velatorio 2: 17-28, Buenos Aires.
- Codignotto, J y otros. Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeaten Argentina during de late Quaternary. Marine Geology, 110: 163-175. 1993
- Codignotto, J y otros. Neotectonims and sea level changes in the coastal zone of Argentina. Journal Coastal Research, 8 (1): 125-133. 1992
- Crespo, E. Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 1996. 79 p.
- De Andrade Meireles y Rubio Romero. Geomorfología litoral: Una propuesta metodológica sistémica en la llanura costera de Caerá, nordeste de Brasil. Revista de Geografía, vol. XXXII-XXXIII.1999.
- Domínguez, L. Potencial Geológico y Geomorfológico de la región de Moa para la propuesta de un modelo de gestión de los sitios de interés patrimonial. Tesis de Maestría. Centro de Información. ISMMM, 2005. 27-29.
- Fonseca, E.; V.N. Zelepugin; M. Heredia. Structure of the ophiolite association of Cuba. Geotectonic, 19: 321-329, 1985.
- Fonseca, E.; V.N. Zelepugin y M. Heredia. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. Geotectonic, 19: 321-329.
- Furrazola, K. E. Núñez-Cambra (eds.). Estudios sobre Geología de Cuba, Ciudad de la Habana, Instituto de Geología y Paleontología, 1997, p. 357-364.
- García, I. y E. Fonseca. La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores. Minería y Geología, 11: 50-54, 1994.

Gorshkvi, G ; Yakushova, A. Geología General. Greko (trad.). URSS : Moscú, 1977, p 132-133

Gyarmati, P. y J. Leyé O'Connor. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O.N.R.M., 1990.

Gyarmati, P.; I. Méndez; M. Lay. Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. En: G. F.

Iturralde-Vinent, M.A. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana, 33(1-4): 9-56, 1998.

-----Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 1996, p. 83-120.

-----Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. La Minería en Cuba, 5: 9-23, 1976.

-----El segmento cubano del arco volcánico paleoceno-eoceno medio del Caribe. In: A. Ali y P.V. Young (Eds), Transaction of the 3rd Geological Conference of the Geological Society of T&T, 1, 343-362, 1995.

-----Cuba Geology: a new plate-tectonic synthesis. Journal of Petroleum Geology, 17: 39-70, 1994.

Kokot y otros. 1994. The coast of Argentina conflict- Managements problems and geomorphological evolution. Coastal Zone, Canada 94. 151.

Montesinos A 2007. Energía eólica en Cuba: su historia. Disponible en:

http://www.cubahora.co.cu/index.php?tpl=principal/vernoticias/vernot_ptda.tpl.html&newsid_obj_id=1021775. Consulta 25 de Mayo. 2012.

Ojeda Zújar. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuestas. Boletín de la A.G.E. N°. 30. 2000.

Hernández y otros (2004)

Proenza F.J. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 1997. 227p.

Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo; J.L. Bodinier. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547-566, 1999a.

Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo. La Moho Transition Zone en el Macizo ofiolítico Moa-Baracoa: un ejemplo de interacción magma/peridotita. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(3-4): 309-327, 1999b.

Proenza, J.; J.C. Melgarejo; F. Gervilla; J. Solé. Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zonas de suprasubducción. *Minería y Geología*, 16 (2): 5-12, 1999c.

Proenza, J.; J.C. Melgarejo; F. Gervilla. La faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): una litosfera oceánica modificada en una zona de suprasubducción cretácica. En: Tercera Conferencia Internacional sobre Geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental, 2000.

Proenza, J. y N.M. Carralero. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología*, 11: 3-10, 1994.

Quintas, F. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM, 1989. 161p.

Quintas, F.; J. Proenza; J.L. Castillo. Análisis tectono-sedimentario de la paleocuenca Sabaneta. *Minería y Geología*, 12: 3-8, 1995.

Ríos, Y.I. y J.L. Cobiella. Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 2: 109-132, 1984.

Rodríguez, A. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 19p, 1998a.

Rodríguez, A. Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y*

Geología, 15(2): 37-41, 1998b.

Rodríguez, R. Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita en la zona de Cayo Grande en el macizo Moa-Baracoa. Tesis de Maestría. Centro de Información. ISMM, 2000. 69p.

Sánchez-Arcilla y Jiménez. Ingeniería de Playas (I): Conceptos de morfología costera. Ingeniería del Agua. Vol. I Num. 2. 1994.

SNET, 2009 Introducción a los Procesos Costeros, colectivo de autores, Boletín del Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Colombia

Suárez J., "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Ed. Ingeniería de suelos Ltda.. Colombia. 547 p. 1998.

Torres, M. Característica de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMM, 1987.