

EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LA COSTA EN LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA: EVIDENCIAS DE PLATAFORMAS MARINAS Y SOCAVONES SUPERPUESTOS

Por:

E. Santana (1), J.F. Dumont (2), V. Armas (1),
L. Burbano (1), L. Gutiérrez (1) y F. Valdez (3)

ABSTRACT

The coastline of the Santa Elena Peninsula to the west Capaes is relatively stable, with only local retreat in the Bay of Santa Rosa, El Cautivo and Ballenita. The rocky coast of La Puntilla is very stable, due to the presence of a coastal platform at an elevation of 2,5m osl, formed during the previous interglacial stage 5a, or due to the duplication of the present platform for tectonic effect. The occurrence of large blocks in reverse position at the foot of a relatively low sea cliff seems to support the hypothesis of seismic chocks in the area. In La Libertad a sedimentary sequence dated 700-500 BP gives evidence of a high sea level due to climatic conditions, or a tectonic uplift. This study gives evidence that the apparent steady position of the coastline does not result from the weakness of coastal processes, but reflects the coincidence of inherited morphology from previous phenomenon or situation, where eustatism and tectonic can combine and balance.

RESUMEN

La costa de la Península de Santa Elena al oeste de Capaes presenta una relativa estabilidad, con solo puntos locales de retraso importantes en la bahía de Santa Rosa, El Cautivo y Ballenita. La costa rocosa de la Puntilla es particularmente estable, debido a la presencia de una plataforma costera a una elevación de 2,5m snm, herencia de un estadio eustático anterior (5a) o de la duplicación de la plataforma actual por efecto tectónico. La presencia de bloques en posición inversa en el pie de un acantilado relativamente bajo parece apoyar la hipótesis de choques sísmicos en la zona. En La Libertad una secuencia sedimentaria fechada de 700-500 BP prueba un nivel más alto del mar por razones climáticas o debido a un levantamiento tectónico. Este estudio proporciona algunos datos para explicar que una aparente estabilidad de la línea de costa no resulta de la debilidad de los fenómenos costeros, sino más bien de la coincidencia de morfologías originadas por fenómenos o situaciones antiguas, donde el eustatismo y la tectónica pueden combinarse y compensarse.

INTRODUCCIÓN

La combinación de técnicas como Topografía, GPS y Geo-referenciación de documentos multi-temporales permite cuantificar variaciones a corto plazo de la línea de costa. En asociación con el análisis detallado de los procesos de erosión y sedimentación que actúan en la costa, se puede obtener una visión integrada de los Procesos costeros.

Por la variedad de las morfologías y los fenómenos internos (tectónicos) y externos (climáticos, El Niño en particular) observados, la costa del Ecuador se presenta muy favorable para este tipo de estudio. Clásicamente a lo largo de la costa Ecuatoriana se encuentran zonas rocosas

más altas en los sectores de Cabos y Puntas (Santa Elena, Manta, Galeras), las cuales subrayan estructuras geológicas mayores tipo horst (Dumont et al., 2003).

Sin embargo la influencia de los procesos heredados y de los fenómenos activos sobre las morfologías costeras actuales es poco conocida. Estudios anteriores permitieron plantear y probar métodos de estudio para aquellos elementos que todavía faltan conocer y así poder interpretar correctamente las morfologías costeras observadas en el Ecuador (Dumont et al., 2001; Santana et al., 2001a; Santana et al., 2001b; Santana et al., 2002; Dumont et al., 2003; Pedoja, 2003;

1 Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR, P.O.Box 5940, Guayaquil, Ecuador, geologia@inocar.mil.ec

2 Instituto de Investigación para el Desarrollo, Rd. UMR Geosciences Azur, Villefranche sur Mer, France

3 Instituto de Investigación para el Desarrollo, IRD, UR-092, P.O. Box: 17-12-857, Quito, Ecuador

Santana and Dumont, 2003; Santana et al., 2003). Dentro de los aspectos de mayor importancia que se quiere explicar, se encuentra la identificación e interpretación de las plataformas rocosas costeras y de los socavones de pie de acantilado asociados.

En esta publicación se presentarán los elementos de morfología costera observados en la costa norte de la Península de Santa Elena (Fig. 1). A largo plazo esta es una costa con alta variabilidad, pues estaba sumergida o compuesta por varias islas durante el Cuaternario reciente (Pedoja, 2003). Dos preguntas básicas han sido planteadas en la ejecución de este estudio, la primera responder si esta alta variabilidad a largo plazo esta reflejada en la costa actual?, y la segunda, si las morfologías costeras de plataformas litorales de abrasión son parte del proceso de la evolución costera?.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio incluye la costa de la Península de Santa Elena, al oeste de Capaes (Costa Norte) y Punta Carnero (Costa Sur) (Fig. 1). Sin embargo en el presente estudio se presentarán mas detalles sobre las observaciones costeras de la parte norte de la Península.

MÉTODO DE ESTUDIO

El método de estudio utilizado incluyó dos partes principales:

1) Estudio geomorfológico y sedimentológico de la costa: El trabajo de campo se realizó en mayo del 2003, e incluyó el levantamiento topográfico de la línea de costa con el GPS diferencial. Las actividades desarrolladas se centraron en caracterizar los tipos de costa, en particular los elementos de morfología costera, así como la observación de secciones estratigráficas. Las 3 dataciones de C14 en dos muestras de conchas y una muestra de carbón fueron realizadas por el laboratorio Beta Analytic en EEUU, una de estas muestras fue eliminada por tratarse de una concha probablemente removilizada. Los restos arqueológicos encontrados fueron

utilizados para establecer la coherencia de las edades. Las mediciones topográficas de las secciones estratigráficas y terrazas marinas bajas, fueron determinadas con reglas y niveladas respecto al nivel promedio de pleamar. En muchos casos este nivel esta muy bien marcado por un socavón al pie del acantilado.

En la cuantificación de la variación de la línea de costa se debe considerar el hecho de que algunas partes importantes de esta, están ocupadas por instalaciones de protección, ya sean urbanísticas o industriales. Pues en muchas ocasiones no se observa una variación notable en estos sectores, lo cual no significa que la posición de la línea de costa es estable, sino que se necesitaría una relación precisa de las intervenciones sucesivas para tener una mejor idea de la variación potencial.

2) Un estudio multitemporal comparando la línea de costa a partir de fotos aéreas de 1973, 1981 y 1995 con la línea de costa actual. El estudio multitemporal incluyó dos etapas, primero el recorrido de la costa con GPS diferencial a lo largo de la línea de pleamar, para determinar la posición de la actual línea de costa, y segundo, un estudio cartográfico de las fotos aéreas, en el cual estas fueron georeferenciadas para ponerlas en su posición verdadera, mediante puntos de control tomados en el campo, se utilizaron las hojas topográficas CT-MV-A3, Salinas, CT-MV-C1 Santo Tomás, CT-MV-C2 Chanduy y CT-MV-A1 San Pablo, escala 1:50000, y se localizaron una serie de puntos de control que fueron identificables tanto en las fotografías como en las hojas topográficas, el número de puntos a emplear en la corrección depende del tamaño de la fotografía y de la complejidad topográfica del terreno que abarque, estos puntos deben ser distribuidos uniformemente sobre toda la fotografía; se determinaron las coordenadas UTM de cada punto en la fotografía y en la hoja topográfica y se elaboró un archivo con estas coordenadas, posteriormente se hizo un resampling, mediante ecuaciones de ajuste, que pueden ser de primer grado (tres puntos de control), segundo grado (seis puntos de control) y de tercer grado (diez puntos de control), estas funciones transforman las

coordenadas actuales de los puntos de control en coordenadas corregidas del mapa de referencia en una determinada proyección cartográfica. Posteriormente para obtener resultados que se ajusten al objetivo del trabajo, inicialmente se procedió a realizar algunos realces, como filtro paso alto, para mejorar la calidad visual de la fotografía con la finalidad de resaltar determinados rasgos físicos para la interpretación de la línea de costa. La interpretación se realiza básicamente empleando el método visual sobre la pantalla del computador (digitalización), aplicada para los casos de actualización de información, sobre la base de la interpretación visual. El producto obtenido en esta fase constituye una integración de información raster (fotografía realzada) con información vector.

MARCO GEOGRÁFICO

La Península de Santa Elena es la parte más occidental del Ecuador. La parte oeste de la Península tiene una orientación NW, con menos de 4 km de ancho y 10 km de longitud (Fig. 1), bordeada por costas sub-paralelas, casi lineal al sur, pero accidentada con Puntas y Bahías al norte. La topografía corresponde principalmente a una planicie por debajo de los 20 m, dominada por el Cerro "Base de Salinas" que culmina a una altura de 93 m en la extremidad occidental de la Península. La red de drenaje esta poco desarrollada.

La parte este de la Península es más ancha (Fig. 1), con una costa norte orientada al NE. El relieve forma una amplia planicie con alturas de 20-40 m, dominada por el Cerro "Alto de Santa Elena" y culminando a los 80 m. La red fluvial es más desarrollada, principalmente dirigida hacia al sur donde alimenta la represa Velasco Ibarra. En la costa norte se observa puntas rocosas aisladas, separadas por amplias áreas de playa donde desembocan pequeños ríos temporales y parcialmente represados en su boca como el Río Cautivo.

Las precipitaciones en la zona de estudio son bajas, con un promedio de menos de 150 mm durante los meses húmedos de Enero-Marzo, y casi nada el resto del año. Estas

precipitaciones se amplían hasta 700 mm durante el fenómeno El Niño (Vera, 2000).

La dirección de la deriva litoral costa afuera de la Península de Santa Elena es variable (López, 2000), sin embargo el efecto a lo largo de la costa está mayormente dirigido hacia el este (Allauca and Lucero, 1992; Vera, 2000). A lo largo de la costa de La Libertad, la deriva litoral llega a una velocidad de 9-11 cm/s, con un máximo de 35 cm/s (Allauca and Lucero, 1992). La difracción de las olas generada por la parte elongada de la Península genera fuertes corrientes erosivas (Vera, 2000). En los meses de Octubre a Diciembre cuando la deriva litoral hacia el este y noreste es la mas importante, el transporte litoral de material arenoso mediano a grueso varía entre 95m³/día y 430 m³/día (promedio 240 m³/s) en la costa norte de la Puntilla, pero es de un promedio de 30 m³/día en la zona de playa de Salinas a 5 km al este, con únicamente arena fina (Jácome and Llanos, 1992). Estos datos subrayan claramente la erosión activa en la parte extrema oeste de la Puntilla, y la sedimentación de solo 1/4 del material erosionado hacia el este en las áreas de playas, el resto está siendo probablemente depositado en la plataforma continental. Vera (2000) presentó el primer estudio de cuantificación de la variación de la línea de costa cerca de la ciudad de La Libertad, con observaciones de las destrucciones ocurridas durante el fenómeno El Niño de 1997-1998.

MARCO GEOLÓGICO

La Península de Santa Elena representa la parte occidental del Levantamiento (Horst) de Santa Elena (Benítez, 1995), ubicada entre la cuenca cenozoica de Progreso al norte y la cuenca actual del Golfo de Guayaquil al sur (Fig. 1). El basamento de la Península esta compuesto por basaltos oceánicos de la Formación Piñón y material volcánico sedimentario y cherts de la formación Cayo (Goossens and Rose, 1973; Goossens et al., 1977; Reynaud et al., 1999). La formación Cayo aflora principalmente en el sector de Salinas, en donde litologías variables y estructuras como fallas y pliegues definen morfologías costeras en Puntas y Playas de

Bolsillo. Desde Ballenita hacia el Este, el basamento está cubierto por limos y conglomerados del Eoceno.

La Península de Santa Elena está caracterizada por la presencia de terrazas marinas hasta una altura de 100 m (Fig.1). Desde el descubrimiento de estas terrazas (Bosworth, 1922; Brown, 1922) varias hipótesis fueron presentadas para interpretar sus formaciones, incluyendo variación eustática del nivel del mar (Bosworth, 1922; Brown, 1922; Olsson, 1939; Hoffstetter, 1948) y repetición tectónica de una terraza única (Marchant, 1961). Sin embargo los estudios de terrazas marinas a escala de la costa de América del Sur (DeVries, 1986; Machare and Ortlieb, 1994; Ortlieb et al., 1996), así como estudios detallados en Ecuador (Pedoja, 2003), permiten relacionar estas terrazas con estadios e inter-estadios interglaciares anteriores. La combinación de las variaciones eustáticas Cuaternarias con el levantamiento tectónico de una costa, resulta en una sucesión de terrazas marinas marcadas por los estadios altos de las oscilaciones del nivel marino (Ota, 1986; Pedoja, 2003). En la Península de Santa Elena, Pedoja (2003) identificó tres terrazas marinas clasificadas desde la más baja a la más alta como terrazas Muey (15-20 m), Santa Elena (35-48m) y El Alto (80-90 m). Una datación de la terraza inferior Muey permite atribuirla al estadio 5a o 5e, con tasas de levantamiento de 0,13 o 0,21 mm/año respectivamente. Según esta estimación, las terrazas más altas están relacionadas con los inter-estadios 7 y 9 u 11.

Dos direcciones estructurales NW-SE y E-W sobresalen en la Península de Santa Elena. La dirección E-W corresponde a las estructuras del basamento, anterior a la transgresión Eocénica. Esta dirección es visible a lo largo de la costa, al oeste de Punta Chipipe, y corresponde a la orientación del relieve entre el Cerro "Base de Salinas" y la Puntilla de Santa Elena. La dirección NW-SE corresponde a la orientación general de la Península y a las estructuras de la margen norte del Golfo de Guayaquil. Es una orientación estructural Cenozoica y probablemente neotectónica, observada en la orientación estructural de las terrazas marinas

al norte de la ciudad de Santa Elena (Dumont et al., 1997).

RESULTADOS

1.- Tasa de cambios en la línea de costa

La figura 2 presenta las evidencias cartográficas del cambio de la línea de costa observadas entre 1973 y 2003. El sector de costa rocosa de la Puntilla no presenta variación (Fig. 2A y 3A). Los sectores con retraso costero son la bahía de Santa Rosa (Fig. 2B y 3B) y la costa entre Santa Elena y Ballenita (Fig. 2 y 3, B y C respectivamente). Cabe anotar que son áreas muy limitadas. El mayor retraso es de 39 m enfrente de El Cautivo. El retraso promedio es de 1m/año, con un máximo de 1,3m/año enfrente de El Cautivo. Entre Santa Elena al este y La Puntilla al oeste, la forma de la costa está marcada por bahías asimétricas cóncavas hacia el oeste, donde se dispersan las olas. Esta morfología costera resulta de la oblicuidad entre las olas provenientes principalmente del noroeste y la costa (Vera, 2000). El cambio de la dirección de la costa al este de Santa Elena resulta en olas casi frontales a la costa, formando bahías simétricas (Fig.3D). La erosión costera aparece menos localizada, afectando largos sectores de costa como en El Cautivo y al este de Capaes, al límite de la zona de estudio. A nivel regional, la mejor sensibilidad a la erosión observada desde Salinas hacia al este, se explica por la menor resistencia del material del acantilado, formado por lutitas del Eoceno.

Los sectores de costa que no presentan cambios evidentes, corresponden a costas rocosas resistentes o a secciones de costa que se beneficiaron por construcciones de protección. La Puntilla (Fig. 2 y 3A) muestra el caso de una costa naturalmente resistente, principalmente por la naturaleza del material del acantilado. Así, la costa rocosa entre Punta Mandinga y la Puntilla (Fig. 1 y 2A) tiene la apariencia de una costa estable. Sin embargo, las observaciones de campo detalladas más adelante, permiten matizar esta observación, diferenciando un sector con evidencias visibles de erosión, entre Punta

Viejita y Punta Mandinga, en comparación con el sector de la Puntilla misma, que no demuestra erosión visible a corto plazo. Las áreas pobladas de Salinas y de La Libertad corresponden a costas sensibles a la erosión, pero están protegidas por construcciones. Estudios anteriores (Santana, 1999 no publicado) evidenciaron destrucciones costeras ocurridas durante el Niño de 1997-1998, que fueron ocultas por la construcción de un nuevo Malecón. No se observaron áreas de agradación sedimentaria costera, a pesar del transporte sedimentario litoral originado en la zona de la Puntilla y transportado hacia el este (Allauca and Lucero, 1992; Vera, 2000).

2.- Los sedimentos del Holoceno tardío en La Libertad

Entre La Libertad y el Cautivo (Fig. 1) las quebradas costeras están ocupadas y parcialmente tapadas por sedimentos marinos de tipo cordón litoral, ubicados a una altura de 2-3 m por encima del nivel actual de alta mar. El corte tipo que se llamará "Libertad" (Fig. 4) muestra una base de conchas gruesas de playa alta, con evolución hacia arriba a depósitos de tras-cordón y paleo-suelos. La sucesión demuestra una evolución regresiva. En el tope de los depósitos de *facies* de playa alta se ha encontrado fragmentos de carbón que dieron una edad C14 calibrado de 680-520 BP (Fig. 4, nivel 9), y de concha de 780-610BP (Fig. 4, nivel 11). La sucesión evidencia un nivel alto del mar y demuestra que la línea de costa se encontraba en una posición similar en esta época. Sin embargo, el carácter regresivo de la sucesión significa que la costa ha tenido una posición mas hacia el mar antes de ocupar su posición actual.

3.- Los beach rocks (Foto 1)

Los sectores de costa de playa arenosa están caracterizados por la presencia de *beach rocks* (Fig. 2).

El sector más importante y parcialmente erosionado se observa al noroeste de Capaes (Foto 1). La *facie* sedimentaria del *beach rock* como aparece en una zona erosionada enfrente de la FAE (Fuerza Aérea Ecuatoriana) es de tipo cordón litoral, muy

similar a los depósitos actuales no cementados, y con alturas similares. No se conoce la edad de este *beach rock*, pero este tipo de cementación puede formarse en tiempo histórico. La presencia de este *beach rock* permite explicar la estabilidad de la posición de la línea de costa en estas zonas, a pesar de la baja morfología del litoral. La observación del *beach rock* significa que existe una erosión litoral, pero su efecto esta limitado mientras existe el *beach rock*. La presencia de *beach rock* apenas descubierto en bajamar es observado a lo largo de la costa sur de la Península, entre Punta Brava y Punta Carnero (Fig. 2).

4.- Los bloques costeros entre Salinas y La Puntilla

Entre Salinas y La Puntilla se observa la transición entre una costa de bahías arenosas asimétricas y una costa rocosa. Una atención especial ha sido dedicada a la parte intermedia de estos dos sectores, donde se observa una costa rocosa con evidencias de fenómenos erosivos, materializados con clastos y bloques grandes al pie del acantilado.

El sector de costa ubicada entre Punta Mandinga al este y Punta Viejita al oeste (Fig. 1) presenta un acantilado rocoso de 5-7 m casi vertical, frente a una plataforma de erosión muy irregular, marcada por rocas volcano-sedimentarias plegadas y falladas del basamento perteneciente a la Formación Cayo. Una capa sedimentaria de 1-3 m constituida por conglomerados en la base y conchas marinas, arena y conglomerados al tope, todo cementado con caliza, marca la mitad alta del acantilado. Esta capa sedimentaria pertenece a la plataforma marina del estadio interglaciar 5e, denominado terraza Muey (Pedoja, 2003). Estos dos tipos de rocas, volcano-sedimentario en la base del acantilado y sedimentario al tope, determinan una morfología costera diferenciada. Mientras la parte basal se meteoriza en clastos, la parte alta produce bloques en formas de tablas que permanecen al pie del acantilado. Mas de 70 bloques (Foto 2) representando superficies individuales de 1m² hasta 35m² fueron registrados a lo largo de un tramo de costa de 250 metros (Fig. 5),

con una superficie total de 688 m².

Las estructuras sedimentarias indican con bastante claridad la polaridad de los bloques encontrados al pie del acantilado, lo que permite observar una proporción importante de bloques grandes en posición inversa, hasta 35m², es decir mas de 40 toneladas (Fig. 6). Cuando son más pequeños (5-8m²) estos bloques aparecen agrupados, sugiriendo la partición de un bloque más grande. La proporción alta de bloques en posición inversa es difícil de explicar. No se trata de un fenómeno aleatorio, como se puede pensar de la caída de bloques. Volcar un bloque grande supone un vacío importante, lo que se puede obtener con socavones y grutas al pie del acantilado. Grutas de erosión semejantes son observadas, pero siguen siempre las fracturas y fallas mayores de la roca, sin producir vacíos a lo largo del acantilado. La mayoría de los bloques presentan estados de erosión similares y relativamente poco desarrollados, con la excepción de una decena, unos pocos bloques pequeños y más erosionados por el mar están ubicados de 2 hasta 10 m hacia el mar.

En resumen, la disposición, el estado y la agrupación de los bloques sugiere una caída producida en poco tiempo, ya que se hicieron socavones importantes por debajo de la capa alta del acantilado, y que además un fenómeno catastrófico colaboró con esta caída. Se tratará más adelante de definir que tipo de fenómeno puede ser considerado. La ocurrencia de un nivel del mar mas alto que el actual, puede haber favorecido el fenómeno, lo que puede ocurrir durante las épocas El Niño (40-50 cm más), o puede haber ocurrido durante el Holoceno reciente.

5.- Los socavones superpuestos en la Puntilla

A lo largo de la costa norte de la Puntilla, las olas se rompen delante de una terraza litoral baja de hasta 40 m de anchura, ubicada 2,4 m por encima del nivel de alta mar media (Foto 3), cortada por el material muy resistente de la Puntilla (tipo Chert). Esta terraza no recibe la influencia directa de las olas, solo ligeramente salpicada cuando se

trata de olas más fuertes. Su superficie tiene un pendiente de menos de 2° hacia el mar, a veces horizontal o con inclinación ligeramente hacia la costa. Un socavón bien marcado se observa entre esta plataforma y el acantilado, pero esta inactivo, incluido, aparentemente, en época de tempestad. Un acantilado o rocas aisladas marcan el borde de esta plataforma hacia el mar, pero el pie de acantilado esta mayormente por debajo del nivel de marea baja normal.

La plataforma esta interrumpida por cañones que se comunican hacia arriba con quebradas en la vertiente de la terraza marina Muey, 5 hasta 10 m arriba. Desde el oeste hacia el este estos cañones y espacios son más anchos, hasta delimitar elementos aislados de plataforma.

Las olas entran con fuerza y casi perpendicularmente dentro de estos cañones, formando en la extremidad alta un socavón, marcando el nivel promedio de alta mar (Foto 3). Se puede observar en varios casos que el fondo de los cañones corresponde a una nueva plataforma de erosión, y que los socavones actuales repiten con una diferencia de nivel de aproximadamente 2,4 m, el patrón geométrico de los socavones más altos de la terraza (Fig. 7). De manera evidente la terraza de abrasión alta que se llamará "Chocolate" (dado por el nombre del lugar "Chocolatera") corresponde a un nivel alto del mar, formado en condiciones idénticas al actual, pero con un nivel del mar más alto de 2,4m. No existen depósitos sedimentarios o conchas asociados a la terraza Chocolate que permitan fecharla. Plataformas similares fueron observadas en otros lugares de la Península de Santa Elena, cerca de La Libertad al este, y en Punta Carnero al sur. Sin embargo, la Puntilla es el único lugar donde los socavones superpuestos se observan con claridad, permitiendo descartar un origen actual por esta plataforma alta. También numerosos grupos de rocas sub-aflorantes pueden corresponder a partes de una plataforma similar y erosionada.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

1.- Variabilidad costera

En comparación con otras áreas como la Isla Santa Clara (Santana et al., 2001a) o la costa de Esmeraldas (Santana et al., 2001b) la variación de la costa en La Libertad es poco importante, y probablemente está limitada a los sectores de costa baja y arenosa o de material coluvial donde el transporte litoral longitudinal parece más importante o localizado.

Sin embargo, la línea de costa, en particular en las cercanías de La Libertad, está lejos de ser una línea de costa fija, pues las construcciones costeras de protección realizadas después de las destrucciones durante los fenómenos El Niño, llegaron a estabilizar la costa en su posición.

Además las condiciones morfológicas encontradas permiten explicar la limitación observada de la variabilidad costera. La herencia de plataformas costeras apenas por encima del nivel actual del mar, así como las evidencias de depósitos correspondiendo a niveles más altos del mar hace 780-520 años indican que la línea de costa esta actualmente recuperando las posiciones anteriores. Los siguientes estudios deberán analizar estas morfologías para entender más precisamente que historia y cuales eventos llegan a la situación actual.

2.- Terraza "Chocolate": movimiento cosísmico o herencia del estadio 5a ?

La presencia de la terraza Chocolate y el socavón asociado, muestran claramente el efecto de las herencias morfológicas en la tasa de erosión actual. En la costa norte de la Puntilla, la erosión costera actual no ha llegado todavía al acantilado de la época de la terraza Chocolate. Las cavernas y fracturas en esta terraza, con geiser saliendo por presión de las olas en mareas altas, indican que la erosión está activa, y la terraza en proceso de destrucción. No se conoce la edad de esta plataforma. El contexto sugiere tres hipótesis para su origen:

1- una correlación con un nivel eustático alto

del Holoceno, por ejm. el máximo de la transgresión post-glaciación del Holoceno medio.

2- la terraza marca un levantamiento sismo-tectónico que duplica la plataforma de erosión actual (durante el Holoceno reciente).

3- se relaciona la terraza con un estadio interglaciación anterior, supuestamente el estadio 5a de 85 ka (Miles de años).

No existe actualmente un elemento determinante que apoya una hipótesis, por lo cual se considerará los elementos morfológicos para evaluar las diferentes hipótesis.

La hipótesis 1 implica la permanencia de un nivel alto del mar durante el Holoceno medio. Sin embargo existe duda para poder construir una terraza de más de 40 m en Cherts durante lo que es considerado como un corto pico del eustatismo alto (Pirazzoli, 1991). No se conocen terrazas marinas en relación con esta transgresión (Pedoja, 2003), sólo se indicaron posibles depósitos de tipo cordón litoral (Tihay and Usselman, 1995).

La hipótesis 2 asimila la terraza Chocolate a la plataforma actual, levantada por el efecto de un movimiento tectónico brusco durante el Holoceno reciente.

La terraza Chocolate está mejor desarrollada que la plataforma actual (Foto 3), lo que sugiere una permanencia más larga. Tentativamente se puede correlacionar la secuencia Libertad con la época previa al levantamiento tectónico, el cual debería haber funcionado posteriormente a 700-500 BP. Contrario a esto se puede notar que los levantamientos tectónicos de más de 2 metros son raros, implicando generalmente saltos sucesivos que resultan en socavones múltiples (Ota, 1985). En favor de la interpretación de un evento sismo-tectónico, se encuentran los bloques observados al pie del acantilado en La Puntilla. Tal evento puede explicar la destrucción del acantilado por las sacudidas telúricas, facilitando la caída encima del borde del acantilado y la vuelta de los bloques grandes durante su caída. La ausencia de bloques encima del acantilado, y el agrupamiento de los bloques

al pie de este, sugiere que no ocurren tsunamis, u olas suficientemente grandes como para llevar un bloque por encima del acantilado.

La hipótesis 3 subraya la similitud entre las terrazas Muey, Chocolate y la plataforma activa actual. Esta sucesión es de interglaciares sugiere relacionar la terraza Chocolate con el interestadio glacial 5a (85ka), pues es el mejor representado entre el estadio 5e (125ka) identificado por la terraza Muey y el presente, que es también una época interglacial. El eustatismo de la época del interestadio 5a esta mal conocido, considerado por algunos autores entre el nivel actual del mar y -2m (Burbank and Anderson, 2001), pero con mejor desarrollo cerca de -4m (Hearty and Kindler, 1995). En este borde norte del Golfo de Guayaquil el levantamiento costero es del orden de 0,18mm/año o menos (Pedoja, 2003), dejando la posibilidad de correlacionar la terraza Chocolate con el estadio 5a, considerando un levantamiento del orden de 0,1-0,07 mm/año.

3.- La secuencia Libertad

La secuencia Libertad se depositó entre 780-520 BP (Antes del presente, *Before Present*) con un nivel del mar aproximadamente de 2,5 m por encima del nivel actual. Las interpretaciones de este depósito son varias, porque faltan más conocimientos sobre el eustatismo y los depósitos Holocenos a lo largo de las costas del Ecuador. Se puede descartar una relación con los niveles supuestamente altos del mar durante la transgresión del Holoceno medio, por la edad joven del depósito. Dos posibilidades existen:

1- Asimilar el depósito a un evento climático generando un período de alto nivel del mar, y

2- Considerar este depósito como marcador del nivel Holoceno antes de un levantamiento co-sísmico brusco.

En apoyo a la primera posibilidad, se observa que el nivel del mar puede subir hasta 40-50 cm en épocas de varios meses durante los fenómenos El Niño. En el caso de la secuencia Libertad, la elevación del nivel del mar sería encima de lo que se observa generalmente, y se trataría de una época

climática particular, que se debería comprobar con otros datos. La segunda posibilidad relaciona esta secuencia con la terraza Chocolate, indicando una edad máxima de 600-500 BP por el levantamiento co-sísmico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio efectuado evidenció una costa relativamente estable, con algunos sectores limitados de retrasos costeros relativamente importantes (que puede sobrepasar 1m/año). Sin embargo son sectores de interés, por encontrarse poblados como Santa Rosa o con infraestructuras industriales como en El Cautivo, y sectores de playas donde la erosión costera marca la insuficiencia del aporte sedimentario, razón por la cual se recomienda evitar extraer arena o material de las playas en los sectores antes mencionados, así como en los lugares cercanos, para no provocar reajuste en las playas debido a la erosión costera.

Esta recomendación es válida también para los sectores de playas largas al NE de Capaes y entre Punta Carnero y Punta Brava. La aparición del *beach rock* significa una tendencia erosiva, la cual pone en riesgo en primer lugar el *beach rock*, ya que este constituye una protección importante, y la recolección de bloques de rocas que lo forman pone en riesgo su existencia y la estabilidad de la playa, mientras que el aporte sedimentario por parte del transporte litoral no compensa la erosión.

Los sectores de costa rocosa no evidenciaron una variabilidad notable. Sin embargo, algunos sectores aparecen vulnerables como en Punta Mandinga y Punta Viejita, pero en estos casos el retraso está mal cuantificado, probablemente es relativamente bajo (10 a 20mm/año o está relacionado a fenómenos episódicos (tempestades, choques sísmicos?) o a plazos relativamente largos (socavón del basamento de roca dura) .

Al nivel interpretativo regional la tasa baja de erosión costera se explica por la herencia de morfologías costeras antiguas altas, que actúan como protección en varios lugares. El origen de estas morfologías no está bien

definido, las hipótesis que se pueden sumar o combinar implican épocas cortas de nivel del mar más alto, levantamiento co-sísmico brusco y/o coincidencia entre el nivel del mar con plataformas del interestadio anterior 5a.

Este estudio presenta que la estabilidad aparente de la línea de costa no resulta de la debilidad de los fenómenos costeros, sino más bien de la coincidencia de morfologías que resultan de fenómenos o situaciones antiguas, donde el eustatismo y la tectónica pueden combinar y compensarse.

AGRADECIMIENTO

Este estudio ha sido realizado gracias al soporte técnico y logístico del INOCAR y el IRD. Se quiere agradecer de manera especial al CPNV-EM Byron Sanmiguel Marín, director del INOCAR y CPFGE-EM Jorge Cárdenas, jefe del Departamento de Ciencias del Mar, por el apoyo prestado para la realización de este trabajo, así como a la Base de Salinas por dar las facilidades logísticas para el ingreso a las áreas de estudio. Este trabajo es parte de las actividades del proyecto IGCP 495, Quaternary Land-Ocean Interaction: Driving Mechanisms and Coastal Responses.

BIBLIOGRAFÍA

Allauca, S. y Lucero, M., 1992. *Estudio de la circulación costera frente al Puerto de La Libertad (Ecuador) utilizando flotadores.* Acta Oceanográfica del Pacífico, 7(1): 1-12.

Benitez, S., 1995. *Evolution géodynamique de la province côtière sud équatorienne au Crétacé supérieur Tertiaire.* Géologie Alpine, 71: 208p.

Bosworth, T.O., 1922. *Geology of the Tertiary and Quaternary periods in the North-West part of Peru.* MacMillan and Company, London.
Brown, B., 1922. *Report on the geology of the Ancon field, AEOL.*

Burbank, W.D. and Anderson, R.S., 2001. *Tectonic geomorphology.* Blackwell Science, Oxford, 274 pp.

DeVries, T.J., 1986. *The Geology and Paleontology of Tablazos in Northwest Peru.* Graduate Thesis, Ohio State University, 671 pp.

Dumont, J.F., Lavenue, A., Ortlieb, L., Guillier, B., Alvarado, A., Benitez, S., Jouanic, C., Martinez, C., Labrousse, B. and Poli, J.T., 1997. *Extensional tectonics in the coastal block of Ecuador: preliminary results and implications.*, Workshop on Late Quaternary Coastal Tectonics, London.

Dumont, J.F., Santana, E. and Pedoja, K., 2003. *Sea Cliff/Shore platform and estuaries: an overlook of the two main types of coastal morphology along the Ecuadorian active margin.*, IGCP 437: Coastal environmental change during sea level highstands: a global synthesis with implications for management of future coastal change, Otranto/Taranto-Puglia.

Dumont, J.F., Santana, E. and Thouret, J.C., 2001. *Volcanic land aggradation versus wave differential erosion: coastal landforms in Galapagos, 5th International Congress on Geomorphology, Tokyo.*

Goossens, P., Rose, W. and Flores, D., 1977. *Geochemistry of tholeiites of the Basic Igneous Complex of northwestern South America.* Geol. Soc. Am. Bull., 88: 1711-1720.

Goossens, P.J. and Rose, W., 1973. *Chemical composition and age determination of theolitic rocks in the Basic Igneous Complex-Ecuador.* Geol. Soc. Am. Bull., 84: 1043-1720.

Hearty, P.J. and Kindler, P., 1995. *Sea-Level Highstand Chronology from Stable Carbonate Platforms (Bermuda and the Bahamas).* Journal of coastal research, 11(3): 675-689.

Hoffstetter, R., 1948. *Notas sobre el cuaternario de la península de Santa Elena (Ecuador).* Boletín de Informaciones Científicas Nacionales, II(11 et 12): 19-44.

Jacome, M. and Llamas, L., 1992. *Influencia de los procesos costeros en las características sedimentológicas en el área de la Península de Santa Elena.* Acta Oceanográfica del Pacífico, 7(1): 95-109.

Lopez, F. (Editor), 2000. *Atlas meteorológico del Ecuador, mar ecuatoriano 2000*. INOCAR, Guayaquil, 30 pp.

Machare, J. and Ortlieb, L., 1994. *Morfoestratigrafía de los Tablazos del Noroeste peruano: neotectónica y fluctuaciones del nivel del mar. Resúmenes Extendidos del VIII Congreso Peruano de Geología*: 238-241.

Marchant, S., 1961. *A Photogeological Analysis of the Structure of the Western Guayas Province, Ecuador with discussion of the stratigraphy and Tablazo Formation derived from surface mapping*. *Quat. Geol. Soc. London*, 114: 215-233.

Olsson, A., 1939. *Introduction a la Geologie du NO du Perou et SO de l'Equateur*.

Ortlieb, L., Zazo, C., Goy, J.L., Hillaire Marcel, C., Ghaleb, B. and Cournoyer, L., 1996. *Coastal deformation and sea level changes in the Northern Chile subduction area (23°S) during the last 330 ky*. *Quaternary Science Reviews*, 15: 819-831.

Ota, Y., 1985. *Marine terraces and active faults in Japan with special reference to co-seismic events*. In: Morisawa M. & Hack J.T. (Editor), *TECTONIC GEOMORPHOLOGY*. Allen & Unwin.

Ota, Y., 1986. *Marine terraces as reference surfaces in late Quaternary tectonics studies: examples from the Pacific Rim*. *Royal Society of New Zealand*, 24: 357-375.

Pedoja, K., 2003. *Etude des terrasses marines du Nord Pérou et de l'Equateur*. Thèse de Doctorat Thesis, Paris VI.

Pirazzoli, P.A. (Editor), 1991. *World atlas of Holocene sea-level*, 58. Elsevier Oceanography Series, 171 pp.

Reynaud, C., Jaillard, E., Lapierre, H., Mamberti, M. and Mascle, G.H., 1999. *Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America*. *Tectonophysics*, 307: 235-254.

Santana, E., Armas, V., Barionuevo, C., Dumont, J.F., King, A. and Soledispa, B., 2002. *Formación de una plataforma marina: cuantificación y evaluación del proceso en relación con el fenómeno El Niño*, Congreso Ecuatoriano de Geología, Guayaquil, pp. 46.

Santana, E. and Dumont, J.F., 2003. *Coastal morphology of fast uplifting coast: Caracteristica and implication (The Antarctic Peninsula, Greenwich Island, South hetland)*, 9th International Symposium on Antarctic Earth Sciences, Potsdam.

Santana, E., Dumont, J.F., Cruz, M. and Ordoñez, M., 2001a. *Will Santa Clara Island disapear because of increasing ENSO effects*. In: K.C.T. Chuo University, Japan (Editor), *Fifth International Conference on Geomorphology*. Transaction Japanese Morphological Union, Tokyo, pp. 207.

Santana, E., Dumont, J.F. and King, A., 2001b. *Los efectos del fenómeno El Niño en la ocurrencia de una alta tasa de erosión costera en el sector de Punta Gorda, Esmeraldas*. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 11(1): 1-5.

Santana, E., Dumont, J.F., King, A. and Pedoja, K., 2003. *Quantification of sea cliff retreat along an uplifting margin: evidence of El Niño effects on rock shore formation (Punta Gorda, Northern Ecuador)*. IGCP 437: Coastal environmental change during sea level highstands: a global synthesis with implications for management of future coastal change, Otranto/Taranto-Puglia.

Tihay, J.P. and Usselman, P., 1995. *Medio ambiente y ocupación humana en el litoral Pacífico Colombo-ecuatoriano*. In: J.F.B.y.J.M. M. Guinea (Editor), *Cultura y Medio Ambiente en el Area Andina Septentrional*. Abya-Yala, Quito, pp. 377-399.

Vera, L., 2000. *Análisis de los procesos costeros en La Libertad*. Tesis de Grado, ESPOL, Guayaquil, 143 pp.

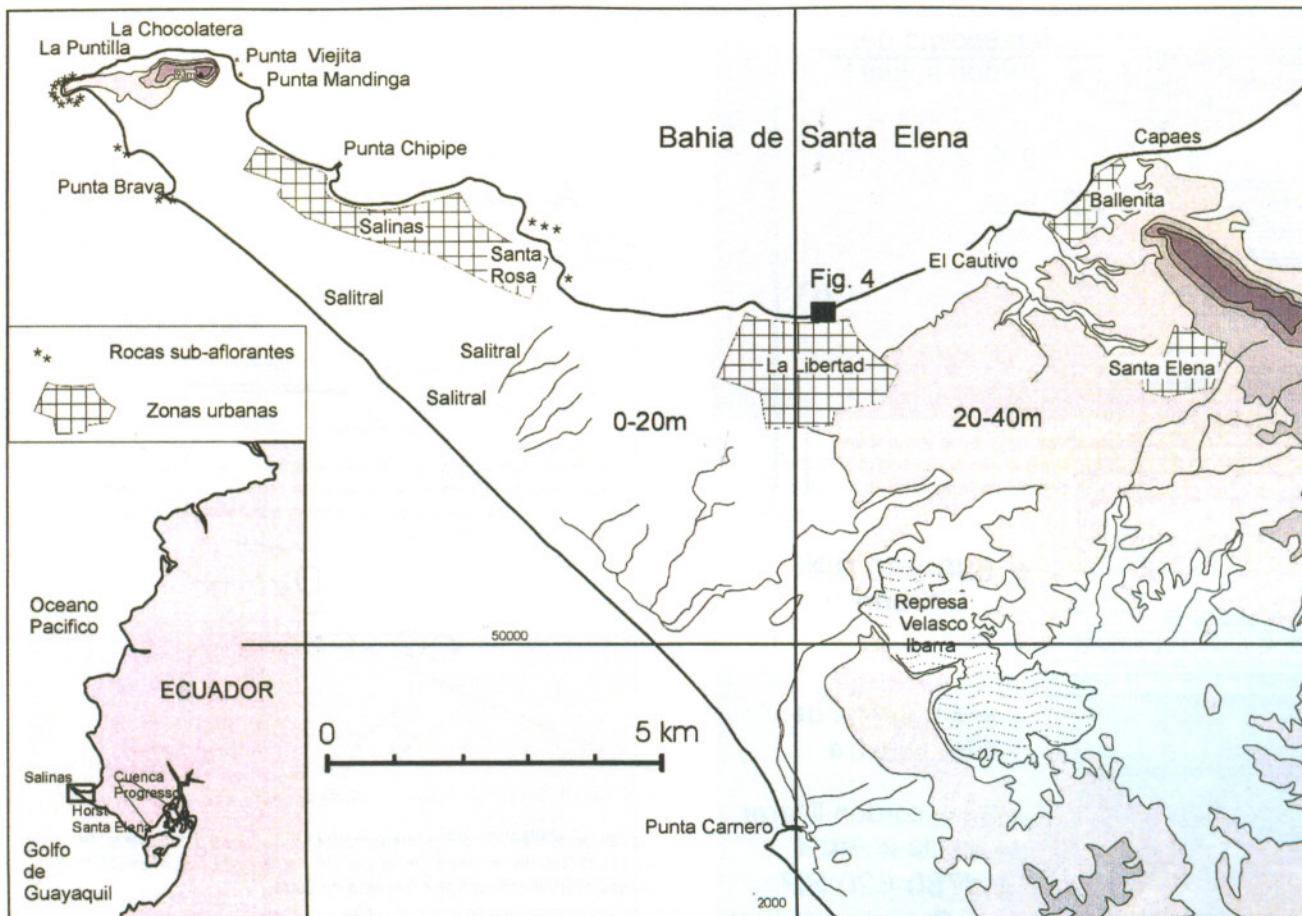


Fig. 1. Mapa general de la zona de estudio.

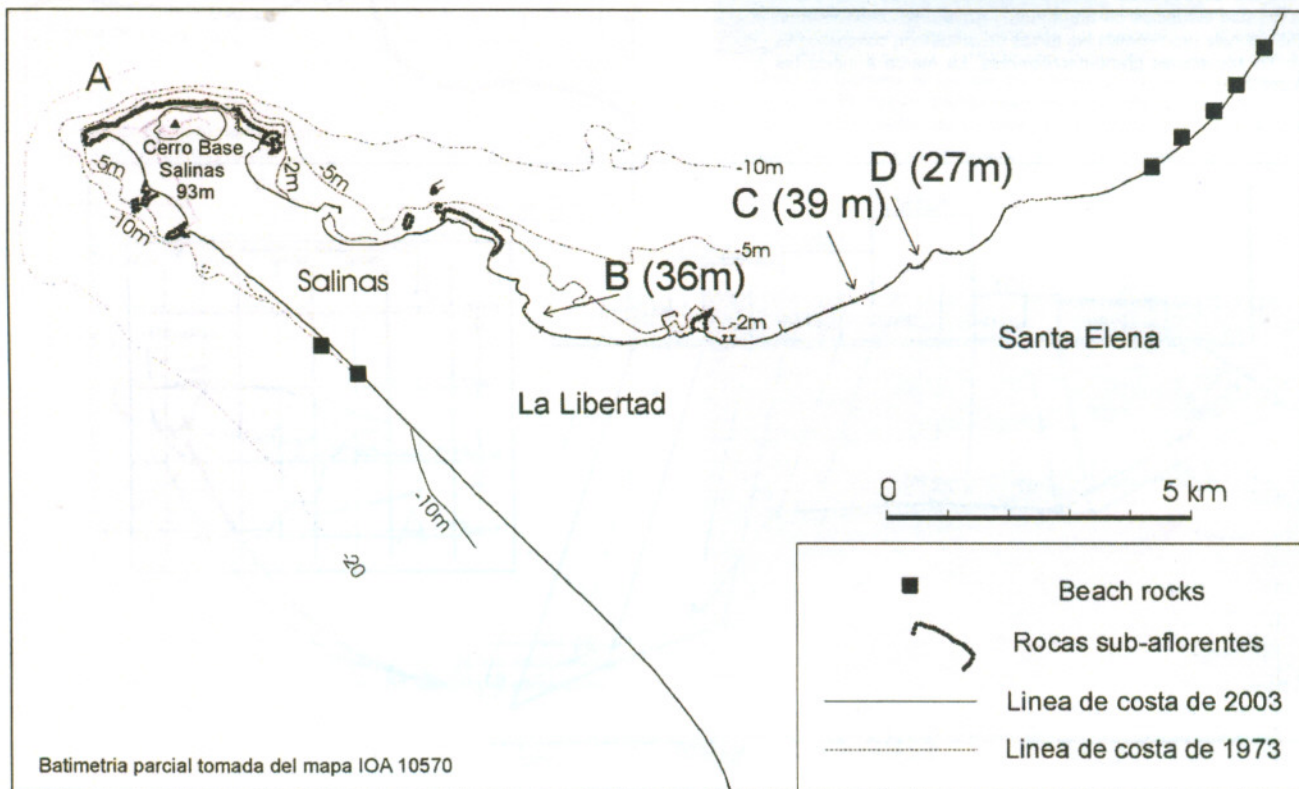


Fig. 2. Variaciones costeras en la zona de estudio. Las áreas A, B, C y D están detalladas en el texto.

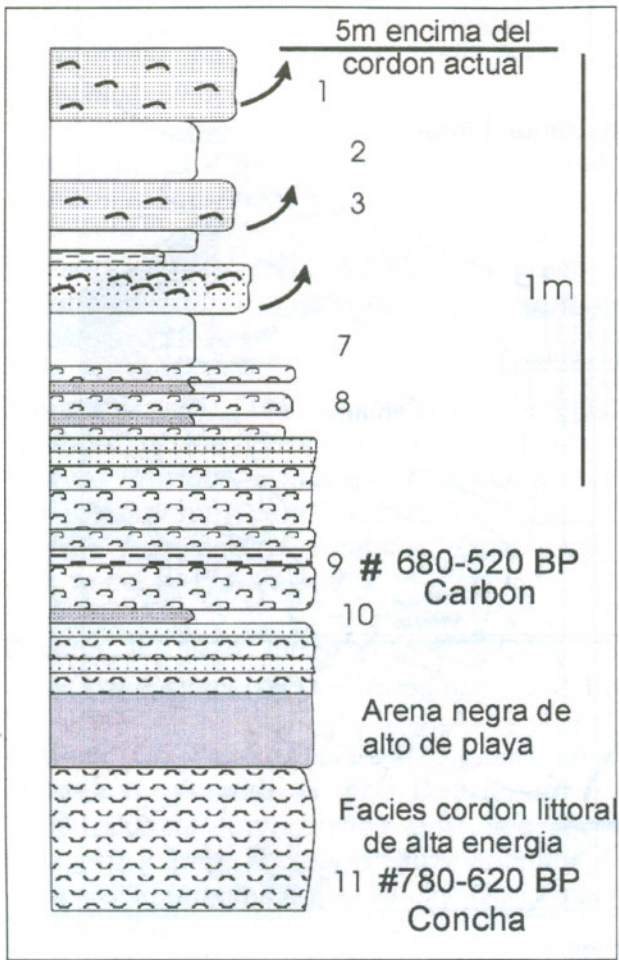


Fig. 4. Secuencia estratigráfica Libertad. Las áreas grises y las áreas con puntos marcan las facies de arena fina y gruesa respectivamente. Las pequeñas curvas representan las facies de arena con conchas. Las flechas marcan secuencias grano-decrecientes. La marca # indica las dataciones de C14.

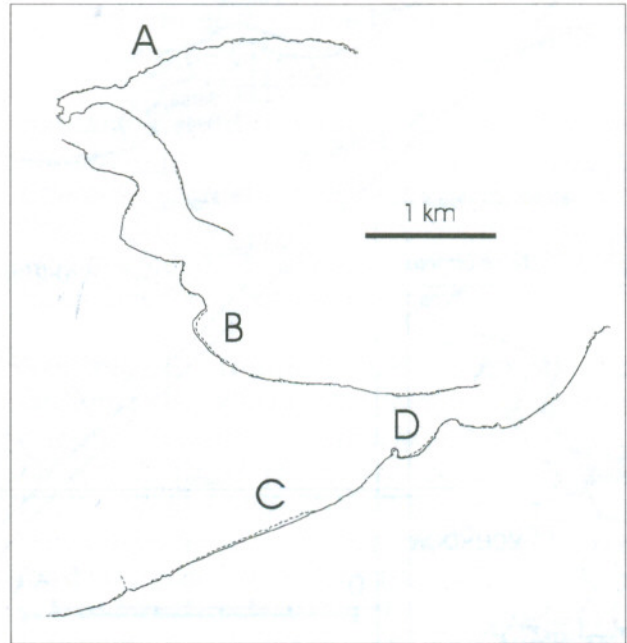


Fig. 3. Detalle de las áreas presentadas en la figura 2. La línea punteada marca la línea de costa de 1973, y la línea fina continua representa la línea de costa de 2003.

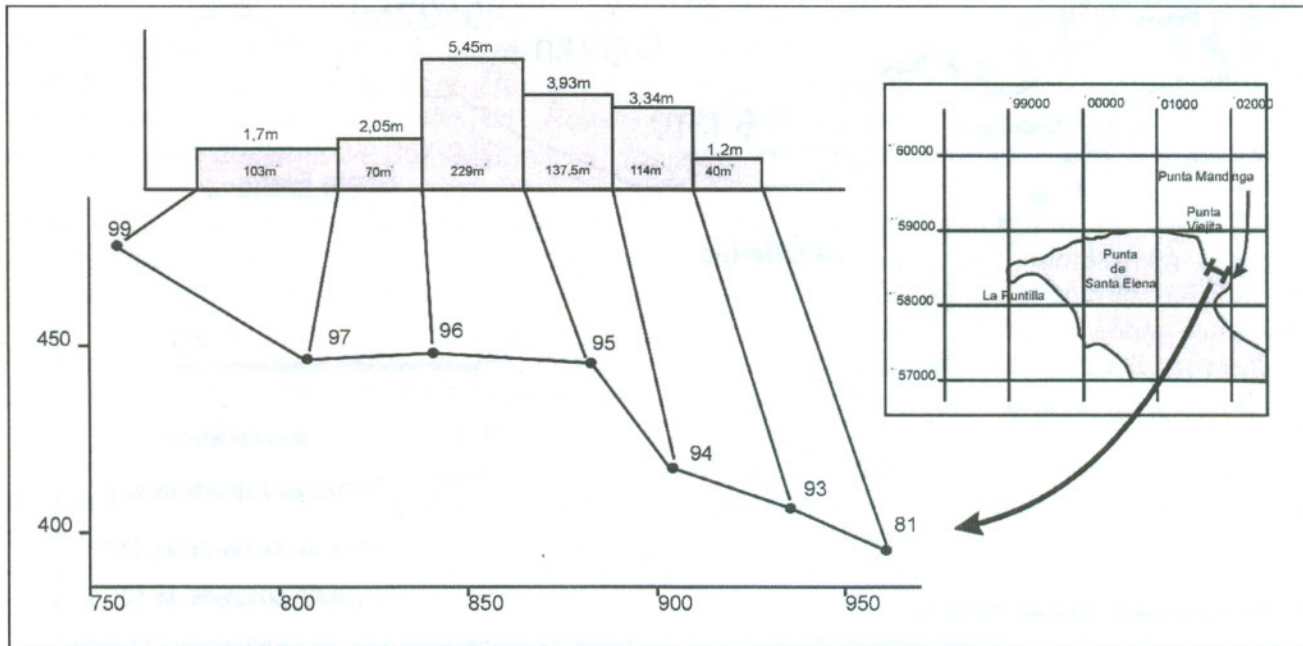


Fig. 5. Distribución de los bloques a lo largo de la costa de la Puntilla. Los últimos números en las escalas del gráfico representan las posiciones geográficas UTM. Los números de arriba indican la superficie de los bloques encontrados y el retraso costero correspondiente.

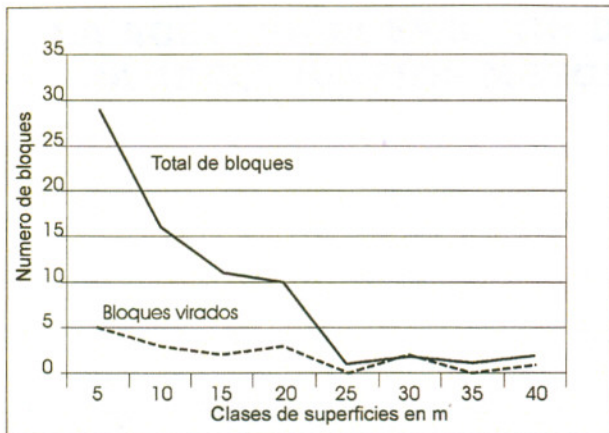


Fig. 6. Diagrama que marca la relación entre el total de bloques encontrados y los bloques en posición volteada. Se observa que los bloques volteados son grandes en superficie.



Foto 1. Beach rocks en el área de Capaes-FAE. Se observa la similitud de la geometría con la playa actual. El beach rock repite en posición mas hacia el mar facies similares a las de la playa actual.

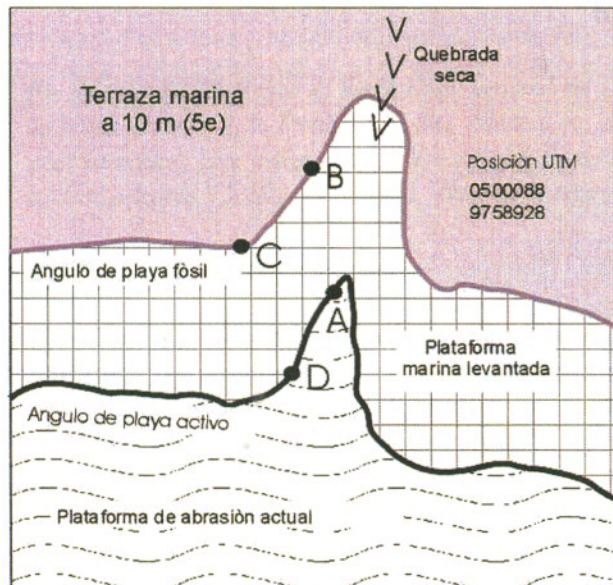


Fig. 7. Diagrama indicando la superposición de los socavones, arriba en el mapa, y abajo en corte. Se observa el paralelismo casi perfecto de las dos morfologías.



Foto 2. Bloques al pie del acantilado en la parte este de La Puntilla. El bloque grande enfrente esta volteado, se observan los conglomerados de la base de la secuencia en el tope del bloque.

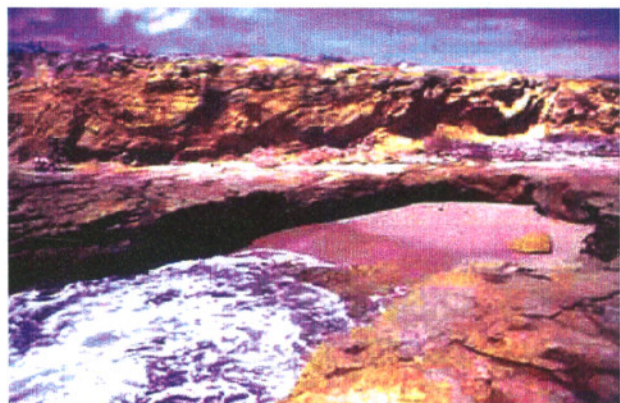


Foto 3. Los dos socavones superpuestos, en un area similar a la figura 7. Nivel cerca de la pleamar.