

## LOS EFECTOS DEL FENOMENO EL NIÑO EN LA OCURRENCIA DE UNA ALTA TASA DE EROSION COSTERA EN EL SECTOR DE PUNTA GORDA, ESMERALDAS

Por:

E. Santana<sup>1</sup>  
J.F. Dumont<sup>2</sup>  
A. King<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*We made a quantitative study of coastal erosion in the area of Punta Gorda (Esmeraldas), which is related to the formation of a wave cut platform, a process similar to the formation of Quaternary marine terraces during the former interglacial periods. This study was made using multitemporal data from aerial photos of 1971 and 1983, which have been compared with the position of the coast line in 2001, established by a new topographic levelling.*

*We observed a mean rate of 1.5 to 2.3 m/y according to the position of the coast segment. The retreat is discontinuous, low or even negative when important landslides occurred as it appears during El Niño periods. For example the 1982/1983 El Niño event produced a temporary seaward displacement of the coast line until the marine erosion re-establish the morphology. However the resulting effect of El Niño periods it to break the structure and stability of the coastal cliff, favoring an easier and faster cleaning of the sliding material.*

*Regarding the extension of known wave cut platforms the observed rate of retreat seems very high. This is interpreted as an increasing effect of the El Niño periods during the last decades.*

### RESUMEN

*Se realizó una cuantificación del retroceso de la línea de costa en el área de Punta Gorda (Esmeraldas), este proceso de erosión esta relacionado con la formación de la plataforma de abrasión, similar a la formación de las terrazas marinas levantadas en el Cuaternario. Este estudio fue ejecutado en base a datos multitemporales obtenidos de fotos aéreas de 1971 y 1983, y mediciones topográficas de la línea de costa en el 2001.*

*Se observó un retroceso de la línea de costa con una tasa promedio de 1.5 a 2.3 m/año, dependiendo de la sector de costa considerado. Este retroceso es discontinuo, bajo o negativo cuando se producen grandes deslizamientos, que se producen durante las épocas de El Niño. Por ejemplo el fenómeno El Niño de 1982/1983 ha provocado temporalmente un avance de la línea de costa hasta que la erosión marina reestablece su morfología. Sin embargo el efecto final del fenómeno El Niño es de romper las estructuras y estabilidad del acantilado, ayudando a limpiar mas fácilmente y más rápidamente el material derrumbado.*

*En comparación al tamaño de las terrazas de abrasión conocidas, la tasa promedio de formación que se ha obtenido es muy alta. Esto es interpretado como resultado de un incremento del efecto de El Niño durante las ultimas décadas.*

---

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

<sup>2</sup> Instituto de Investigación para el Desarrollo, IRD. P.O.Box 17.12.875 Quito-Ecuador, dumontjf@inocar.mil.ec

## INTRODUCCION

Las actividades económicas, industriales o recreativas en la zona costera se han ido incrementando en las últimas décadas a nivel mundial, razón por la cual, el estudio de procesos como la variabilidad costera toma mayor importancia, y en especial, con las previsiones de aumento del nivel del mar y la ocurrencia sobre la costa de fenómenos climáticos como El Niño.

La variación de la línea de costa es el resultado de varios parámetros locales (viento, corrientes marinas, tectónica, etc.) o globales (cambio del nivel del mar a escala de ciclo glacial, cambios climáticos provocados por la actividad humana, oscilaciones ENSO, etc.), con efectos acumulativos o compensatorios a largo o corto plazo.

Además de los fenómenos eustáticos anteriormente mencionados, la costa de Ecuador presenta situaciones tectónicas variadas debido a su superposición a una zona de subducción. La mayor parte de la costa ecuatoriana, en especial las costas de la península de Santa Elena, Manabí y Esmeraldas hasta Río Verde, están sometidas a un levantamiento lento, del orden de 0.1 hasta 0.3 mm/año (Pedoja et al, 2001), llegando a levantarse hasta 360 m de altura en aquellas terrazas marinas del Pleistoceno antiguo (Manta). Este levantamiento tiene la ventaja de presentar una línea de costa que no se superpone con otras líneas más antiguas. Sin embargo, este levantamiento es demasiado lento para tener un efecto regresivo a corto plazo sobre la línea de costa, pero actúa principalmente en la formación de una plataforma de abrasión delante de un acantilado bien marcado.

Dentro de las actividades en el manejo de los procesos costeros, personal de geología marina y cartografía de INOCAR realizaron el presente estudio en el área de Esmeraldas, la misma que es adecuada por presentar terrazas marinas levantadas, acantilados bien marcados con material fácilmente erosionable y existencia de datos multitemporales que permiten observar una variación de la línea de costa en un tiempo relativamente corto.

Los objetivos de este estudio fueron:

- Cuantificar el retroceso de la línea de costa en un periodo de 30 años en el área de Punta Gorda.
- Estudiar la formación de la plataforma de abrasión relacionada con este retroceso.
- Estudiar el proceso de erosión para establecer su continuidad y características.

## METODO DE ESTUDIO

El método de estudio consistió en comparar la posición de las líneas de costas de los años 1971, 1983 y 2001 (Fig. 1). La posición de la actual línea de costa fue establecida usando dos métodos independientes: con GPS diferencial y distanciómetro de geodesia láser. Las líneas de costa en 1971 y 1983 fueron determinadas con fotografías aéreas. La georeferenciación de estas fotos fue hecha usando puntos de referencia tales como casas, caminos, estructuras portuarias (espigón), etc. A pesar de que el mapa topográfico del IGM fue dibujado sobre la base de las fotos de 1971, esta mapa no fue utilizado para georeferenciar las fotos de 1971 y 1983, ni tampoco para calcular la variabilidad costera que se ha producido. Esto se debe a dos razones: 1) No había un control preciso del posicionamiento del mapa, el cual debía ser común a los otros documentos; 2) Existía una duda con respecto al dibujo de la línea de costa en el detalle (pie de acantilado o línea cerca de la línea de pleamar). Para solucionar esto se utilizó como línea de costa de 1971 la línea del pie de acantilado, observada en las fotos aéreas georeferenciadas del mismo año.

Se llevó a cabo también dos salidas de campo para observar la morfología, la litología y las estructuras geológicas. La primera fue para constatar el estado de la línea de costa, naturaleza, nitidez del pie de acantilado (Foto 1), morfología y sistema de fallas y fracturas, a fin de interpretar sin errores los detalles de las fotos aéreas. Se levantaron secciones topográficas de la plataforma de abrasión y de la zona de playa de arena formada después de

1975 al oeste del espigón de Puerto Balao, entre el nivel de baja mar y el ángulo de la playa (Foto 2), con el fin de observar la homogeneidad y estabilidad de la pendiente de la playa. La segunda salida fue para complementar las observaciones y mediciones morfoestructurales en la zona de Punta Gorda, y de manera general para comprobar las interpretaciones a las cuales se ha llegado con respecto a la variabilidad costera.

## MARCO GEOGRAFICO Y GEOLOGICO

Las costas del norte de Perú y Ecuador están caracterizadas por la presencia de terrazas marinas cuaternarias, las cuales constituyen un importante elemento para el estudio del sistema de subducción (Pedoja et al., 2001; Witt, 2001). Una terraza marina típica es una plataforma de abrasión hecha durante un periodo de relativa estabilidad del nivel del mar, generalmente un periodo interglaciar de algunos miles de años. Algunos periodos interglaciares están mejor marcados debido a su duración como los estadios del interglaciar 5, entre 80.000-125.000 años AP. A pesar de todos los estudios de terrazas marinas antiguas aún se conoce poco de la dinámica de fabricación de estas, así como, a que velocidad en forma continua o discontinua, se construye una plataforma de abrasión. Actualmente se esta en un periodo interglaciar, y las plataformas de abrasión observadas a lo largo de la costa son terrazas levantadas del futuro. Fechar los procesos de formación de una antigua plataforma de abrasión es difícil, debido a que el primer depósito de sedimentos es hecho durante la regresión siguiendo la trasgresión erosiva. Sin embargo, una plataforma de abrasión activa permite la cuantificación del retroceso del acantilado usando datos multitemporales.

El área de estudio esta localizada en Punta Gorda, 7 Km al suroeste de Esmeraldas. La costa se presenta como un acantilado con alturas que varían entre 50 y 200 m, compuesta principalmente de areniscas y lutitas de la Formación Onzole del Plioceno (Aalto and Miller, 1999; DGGM, 1980). Las estructuras son sub-horizontales, con buzamiento ligeramente hacia el sur. Una falla regional con dirección NNW corta el área,

alcanzando la costa en Punta Gorda (Fig. 1). La playa es una típica plataforma de abrasión (Short, 1999) con una pendiente regular de 0.3% en todo la faja intertidal hasta el pie de acantilado (Fig. 2 y foto 1). El área esta caracterizada por fuertes precipitaciones y deslizamientos durante los periodos El Niño (Perrin et al., 1998). El periodo de estudio cubrió los eventos El Niño de 1982-1983 y 1992-1993.

Una sucesión de 8 terrazas levantadas que van desde 20 a 64 m sobre el nivel del mar es observada al oeste de la zona de estudio, entre Tonsupa y Punta Galera. Se puede definir tres grupos de terrazas, con alturas promedios de 20, 50 y 100 m (Pedoja et al., 2001, Witt, 2001), que se correlacionan con los tres últimos periodos interglaciares. El ancho máximo de las terrazas es de 1.5 a 2 Km aproximadamente.

## RESULTADOS

Se observa que la erosión costera y el retroceso de la línea de costa en el área de estudio esta en relación directa con la construcción de la plataforma de abrasión. En la mayoría de los casos el ángulo de la playa coincidió exactamente con la base del acantilado, que es también la parte mas alta de la plataforma de abrasión (Fig. 2). La similitud de pendiente en las zonas de acumulación de arena significa que la zona de playa esta dinámicamente estable.

La pendiente del acantilado varía entre 45 a 60 grados y es mantenida en desequilibrio por la erosión marina (la pendiente máxima de las colinas mas adentro es del orden de los 30 grados, y son inestables solo en épocas de El Niño, con fuertes y prolongadas lluvias). Los parámetros que influyen en la erosión del acantilado son los deslizamientos, la litología, las fracturas y más localmente el viento y las olas. Los deslizamientos no están directamente relacionados a la erosión marina, pero sí a las precipitaciones y a la infiltración del agua en la parte más alta del acantilado, lo que aparece principalmente en épocas de El Niño. Como se observó en otros lugares como Santa Clara (Santana y Dumont, 2000) la superficie de base del deslizamiento no alcanza el nivel de la playa, pero se queda 5 o 10 m por encima del

pie de acantilado.

En efecto, alrededor del 50 % de la base del pie de acantilado es hecha de material deslizado antiguamente, a veces en forma de una capa pegada sobre el acantilado rocoso (Foto 2). Los deslizamientos más importantes fueron flujos lodosos con bloques de varios tamaños, que corren hacia abajo del acantilado e invaden la playa, cubriendo áreas de hasta 100 m de ancho y mas de 100 m de largo hacia el mar (Foto 3). Estos se produjeron durante las épocas de El Niño. Progresivamente el material es removido por las olas, pero los bloques más grandes (hasta 5 m) son encontrados al frente del deslizamiento, y abandonados en la plataforma después que el material más pequeño es removido. Deslizamientos de rocas y tierra ocurren también en otras épocas como se observa en el 2001 (Fotos 3 y 4, derecha.).

Se observó un retroceso promedio de la línea de costa de  $45\text{m} \pm 7\text{m}$  desde 1971, lo que significa una tasa promedio de  $1.5 \pm 0.15$  m/año. Este retroceso alcanza  $70\text{m} \pm 7\text{m}$  (tasa promedio  $2.3 \pm 0.15$  m/año) al oeste de Punta Gorda, probablemente debido a su mayor exposición al viento y a las olas. También la línea de costa con dirección al ENE-WSW es ligeramente oblicua con respecto a la dirección W-E de las fracturas, permitiendo espacios abiertos que miran hacia el lado donde sopla el viento. Se ha comprobado durante el trabajo de campo que las alternancias de humedad y sequía tienen un efecto de desagregación de las rocas, y que el viento puede ser suficiente para iniciar una caída de rocas. El retroceso más pequeño es observado en la punta de Punta Gorda, probablemente debido a que el material en esta área esta menos meteorizado. La falla regional N-S no tiene mucho efecto sobre la erosión del acantilado, porque sale en la punta de Punta Gorda. Su posición ha sido modificada con respecto al mapa geológico del DGGM (1980), en base a las observaciones de campo obtenidas.

El retroceso del acantilado es irregular. La mayor parte de la línea de costa de 1983 esta cerca de la línea de 1971 o más hacia el mar. Esto es debido al efecto de los deslizamientos ocurridos durante el evento El Niño 1982-1983. Al este de la figura 1 por ejemplo, la línea de costa de 1983 muestra el efecto de

aquello, debido a un flujo de rocas que había movido la línea de costa en alrededor de 40 m hacia el mar con respecto a la línea de costa de 1971. En el 2001 algunos de estos deslizamientos aún permanecían en la playa.

## CONCLUSIONES

La tasa promedio del retroceso de la línea de costa en el área de estudio es relativamente alta (1.5 hasta 2.3 m/año), en particular si se considera la altura del acantilado. Sin embargo es una base para estimar el tiempo de formación de la plataforma litoral. En Punta Gorda la plataforma de abrasión tiene 400 a 500 m de ancho, y de acuerdo a las tasas obtenidas, esta plataforma debería haber sido formada en menos de 330 años.

Si se considera las terrazas Cuaternarias levantadas con 1.5 hasta 2 Km de anchura, y considerando hipotéticamente ambientes similares, la tasa medida sugiere una formación en alrededor de 1300 años. Estos periodos aparecen como muy cortos, lo que debería producir terrazas de abrasión muy amplias con respecto a lo que se observa generalmente. Las terrazas muy anchas (mas de 10 Km de ancho) conocidas en el norte del Perú no son consideradas aquí porque no son terrazas de abrasión, pero son superficies heredadas de cuencas litorales levantadas. Esto es probablemente debido a que las altas tasas observadas en Punta Gorda corresponden a condiciones particulares. Estas condiciones particulares están relacionadas con el fenómeno El Niño, el cual provoca la desagregación de la estructura de la parte alta del acantilado, y su transporte hasta la plataforma litoral en forma de deslizamiento. Los deslizamientos protegen al principio el pie de acantilado de la erosión marina, pero son fácilmente removidos por la debilidad del material, dejando un acantilado bajo con varios bloques y cantos en su pie, que constituyen después herramientas de destrucción del acantilado cuando son lanzadas por las olas.

Los deslizamientos son importantes durante el fenómeno El Niño, en la costa y también tierra adentro en toda la región de Esmeraldas (Perrin et al, 1998). Durante el fenómeno El Niño el nivel del mar se presenta alrededor de

50 cm mas alto, facilitando la limpieza del material deslizado en la plataforma, e incrementando la erosión en la base del acantilado.

La dificultad de extrapolar a largo plazo la tasa de erosión observada sugiere que los efectos de El Niño son mas importantes o más frecuentes ahora que los que fueron previstos. Esto es también coherente con las observaciones hechas a lo largo del acantilado de la isla Santa Clara (Santana y Dumont, 2000).

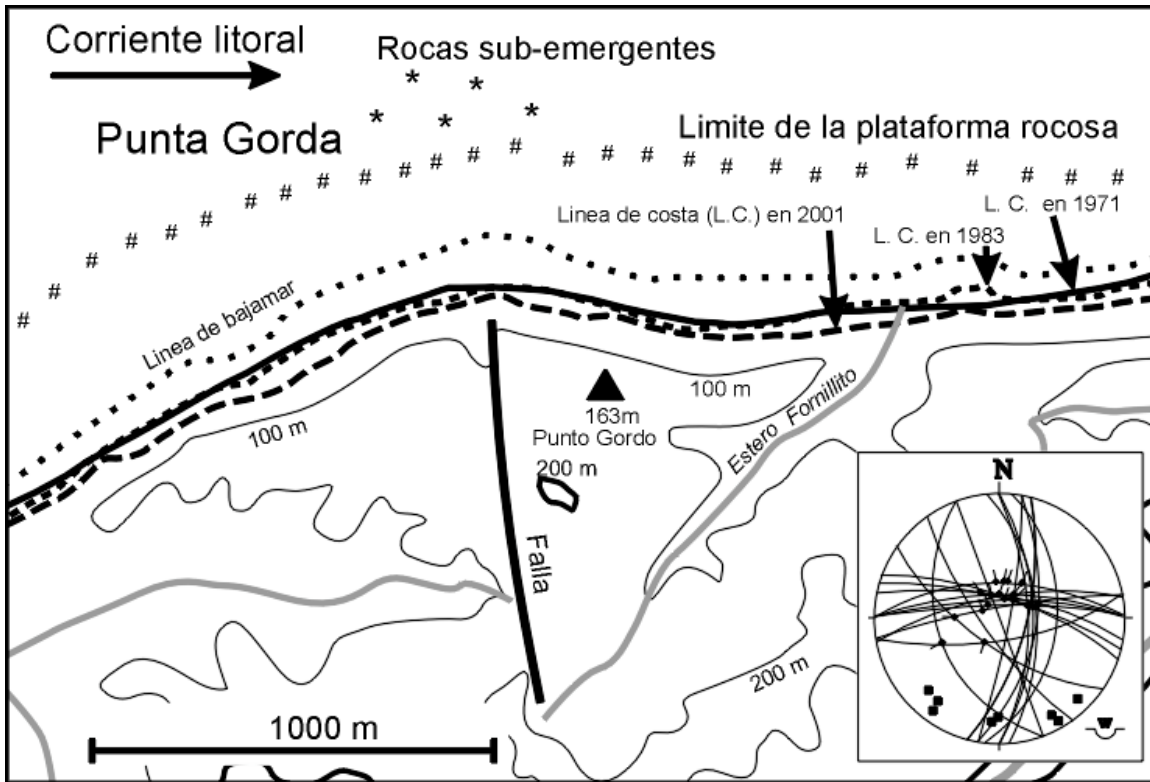
### **AGRADECIMIENTO**

Este estudio ha sido realizado gracias al soporte técnico y logístico del INOCAR.

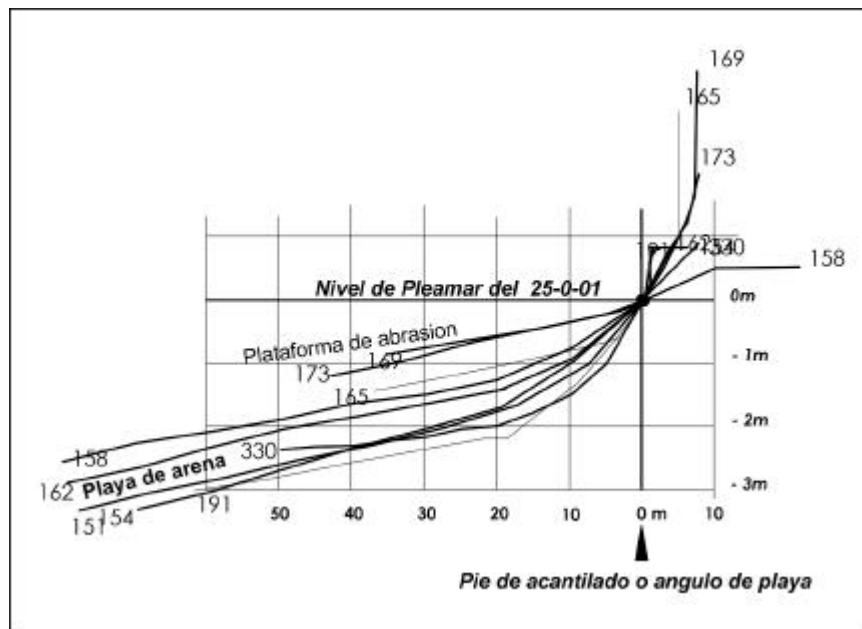
Se quiere agradecer de manera especial al CP-NV-EM Fernando Zurita, Director del INOCAR, al TNT-NV-UN Rodney Martínez, Subdirector científico y al personal de la Infantería de Marina de Balao, por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Aalto, K.R. and Miller, W., 1999. Sedimentology of the Pliocene Upper Onzole Formation, an inner-trench slope succession in northwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(1): 69-85.
- DGGM, 1980. Mapa geológico del Ecuador, Hojas 24 y 7, Esmeraldas y Punta Galera, escala 1/100.000°. Dirección General de Geología y Minas, Quito.
- Pedoja, K., Dumont, J.F., Sorel, D. and Ortlieb, L., 2001. Marine terraces and subducting asperities: the Manta Case, Ecuador, Fifth International Conference on Geomorphology. *Transaction of the Japanese Geomorphological Union*, Tokyo, pp. 187.
- Perrin, J.L., Jeanneau, J.L. and Podwojeski, P., 1998. Deslizamientos de tierra, inundaciones y flujos de lodo en Esmeraldas; diagnostico general de la situación actual en la ciudad, misión de expertos. 020005212, Informe ORSTOM, Quito.
- Santana, E. and Dumont, J.F., 2000. La Isla Santa Clara, testigo morfoestructural de la evolución geodinámica plio-cuaternaria del Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacifico*, 10: 189-201.
- Short, A.D., 1999. Beaches. In: A.D.S. Editor (Editor), *Handbook of beaches and shorefaces morphodynamics*. John Whyley and Son, pp. 3-20.
- Witt, C., 2001. Análisis de la deformación activa con base a imágenes radar y observaciones morfotectónicas en el nor-oriente de la provincia de Esmeraldas, Ecuador. Tesis de grado, EPN, Quito.



**Fig. 1.** Mapa sintético del área de Punta Gorda. El diagrama mostrado en el extremo inferior derecho representa los planos de fallas elaborados en proyección Wulff y los puntos cuadrados en este diagrama indican las pendientes de las estructuras medidas en el área.



**Fig. 2.** Perfiles de playa entre Puerto Balao y Punta Gorda. Cerca de Puerto Balao un espigón ha generado la formación de una playa de arena sobre la plataforma de abrasión.





**Foto 1.** Vista en detalle de la plataforma de abrasión y del pie de acantilado al este de Punta Gorda.



**Foto 2.** Pie de acantilado rocoso (rocas estratificadas) cubierto por un antiguo deslizamiento (lado derecho del acantilado, color café). Los bloques al pie del acantilado resultan del lavado del antiguo derrumbe, probablemente ocurrido durante el fenómeno El Niño 1984



**Foto 3.** Al fondo de la foto se observa un deslizamiento de roca y lodo provocado por las fuertes lluvias durante el fenómeno El Niño 92/93, que aún no ha sido limpiado en su totalidad por la erosión marina. En primer plano se observa un derrumbe de roca ocurrido en el momento del levantamiento, debido a la erosión del pie de acantilado.



**Foto 4.** Vista de un derrumbe de roca ocurrido en los primeros meses del 2001