

EL NIVEL DEL MAR Y LA VARIABILIDAD EN LA LÍNEA DE COSTA PERUANA

Carlos Tavares Corrêa^{1,*}

¹ Centro de Investigación en Geografía Aplicada – CIGA, PUCP, Lima, Perú.

*E-mail: ctavare@pucp.pe

Abstract

The purpose of this study is to analyze the Peruvian coastline variability in response to the sea level fluctuations during the last decades. It is known that as sea level rises, the coastal erosion and the shoreline retreat occur. Tide gauge records at Callao station tend to show a negative sea level behavior during last decades. Nevertheless, coastal erosion prevails mainly due to human interventions along the coast. Natural events such as El Niño input large quantities of sediment to the coast and reduce the impact of coastal erosion during relative short time span (months or years). The shoreline trend extrapolation it is a very good approach to predict shoreline changes due to the sea level rise. Nowadays it is possible to get historical shorelines from different sources like maps, air photographs, satellite imagery, GPS or field measurements. Combination among historical shoreline variation, geological characteristics of an area and sea level trend models would enable us to predict the Peruvian shoreline position for the next decades.

Keywords: *Sea level rise, Shoreline retreat, Coastal erosion, Coastline variability.*

1. Introducción

Este estudio tiene como propósito analizar la variabilidad de la línea de costa peruana en respuesta al comportamiento del nivel del mar en las últimas décadas. Una de las consecuencias esperadas del aumento del nivel del mar a escala global es el retroceso de la línea de costa y la erosión de playas. Con base en los registros de mareas de diferentes puertos del planeta y en datos altimétricos proporcionados por satélites, se ha observado el aumento absoluto del nivel del mar a escala global. Según el quinto informe del IPCC (Church et al., 2013), durante el período entre 1901 y 2010 el nivel del mar ha aumentado en 0.19 ± 0.2 metros a una tasa promedio de 1.7 ± 0.2 mm/año, mientras que la tasa para el período entre 1993 y 2010 las tasas fueron de 3.2 ± 0.4 mm/año.

Con respecto a la costa peruana, el comportamiento del nivel (relativo) del mar en las últimas décadas ha sido analizado por Quispe Arce (2002), Takahashi et al. (2014) y Taylor (2017), principalmente a partir de los datos de marea de la estación mareográfica del Callao. Quispe Arce (2002), por ejemplo, identificó un aumento de 5 cm del nivel del mar para el período entre 1942 y 2001. Por otra parte, Takahashi et al. (2014), encontraron una tendencia lineal de -2.7 ± 0.2 mm/año entre 1976 y 2006, similar a los datos de altimetría satelital (1993 – 2008) frente a Lima. Esto podría representar, según los autores, el efecto de una reducción del nivel del mar de hasta -6 mm/año,

si se descuenta la tasa global de 3.2 mm/año. Más recientemente, Taylor (2017) comparó la tendencia del nivel del mar a partir de datos de marea para diversas ciudades costeras, entre las cuales incluyó los del Callao, donde encontró una tasa de -3 mm/año (desde 1970). El aumento progresivo del nivel del mar a escala global, durante el último siglo, puede explicar en gran medida la tendencia de erosión observada en más de 70% de las playas arenosas del planeta en las últimas décadas (ej. Bird, 1985; Zhang et al., 2004).

En la costa peruana, la erosión de playas ha sido analizada por León y Tavares Corrêa (2006), Leceta (2009), Grández (2010), Tavares Corrêa y Drenkhan (2010) Rondón (2011), Tavares Corrêa y Rondón (2014) y Tavares Corrêa y Rondón (2015), Tejada (2017), entre otros. Estos estudios se basaron en la comparación de líneas de costa en el intervalo de años y décadas, obtenidas a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales mediante el empleo de sistemas de información geográfica (SIG). De manera general, los resultados encontrados indicaron una tendencia a que sectores costeros ocupados o modificados por estructuras construidas tienden a presentar el retroceso de la línea de costa, mientras que sectores costeros no ocupados, inalterados o deshabitados tienden a presentar estabilidad o, inclusive, progradación de la línea de costa hacia el mar. Son ejemplos del primer caso, la playa de Las Delicias en Trujillo, con tasas de retroceso del orden de 7.5 metros/año (León y Tavares Corrêa, 2006),

La Herradura y la Costa Verde (Leceta, 2009), Chorrillos (Grández, 2010), la playa de Colán al norte de Paita (Rondón, 2011) o San Bartolo (Tejada, 2017), mientras que para los sectores costeros estables o en progradación se puede mencionar al sector entre Puémape y Chicama, en La Libertad (Tavares Corrêa y Drenkhan (2010), al de la Yarada de los Palos, en Tacna (Tavares Corrêa y Rondón, 2014), o en la albufera Medio Mundo (Rodríguez, 2017).

2. Factores que afectan a la estabilidad de la línea de costa en el Perú

El nivel del mar o la posición relativa de la línea de contacto entre el océano y el continente depende de una serie de factores que se manifiestan a distintas escalas temporales y espaciales. De un lado actúan, por ejemplo, las mareas, los fenómenos climáticos regionales o la Eustasia; de otro, la actividad tectónica o la sedimentación.

En condiciones de estabilidad relativa del nivel del mar, el factor que determina la posición de la línea de costa es el balance de sedimentos. En un dado sector donde la línea de costa no varía significativamente, esta estabilidad se explica a través de un equilibrio dinámico entre la entrada y salida de sedimentos. Este balance puede ser alterado de forma natural o por las actividades humanas y ocasionar la progradación o el retroceso de la línea de costa. Woodman y Mabres (1993), por ejemplo, reportaron la progradación de la playa de Máncora (Piura), durante el fenómeno de El Niño 1982-83. En este mismo evento, el río Jequetepeque transportó al océano más de 30 millones de metros cúbicos de sedimentos (Tavares Corrêa y Rondón, 2015).

En realidad, la desembocadura es una unidad muy dinámica en la costa peruana debido el régimen estacional de caudales líquidos y sólidos de los ríos, y al predominio de la acción del oleaje en la redistribución de los sedimentos a lo largo de la costa. Durante el llamado «Niño Costero» de 2017, diversos ríos de la vertiente del Pacífico alcanzaron niveles de caudales excepcionales y transportaron grandes cantidades de sedimentos hacia la costa. Esto condujo a la formación de deltas efímeros en la desembocadura de los ríos, que se mantienen mientras haya disponibilidad de sedimentos. A medida que los ríos dejen de aportar cantidades suficientes de sedimentos, el incesante proceso de transferencia realizado por las olas a lo largo del litoral se encargará de forzar el retroceso de la línea de costa, en cuestión de meses, hacia una posición anterior de equilibrio. Por otra parte, las actividades humanas también provocan grandes desequilibrios en el balance de sedimentos en la costa. Relacionado aun con los ríos,

se puede mencionar que durante el evento El Niño de 1997-98, la represa de Gallito Ciego, ubicada en el río Jequetepeque, retuvo alrededor de 60 millones de metros cúbicos de sedimentos que estaban destinados al océano (Tavares Corrêa y Rondón, 2015). Por otra parte, los relaves mineros vertidos a la bahía de Ite, Tacna, durante más de 35 años provocó la progradación de la línea de costa en más de 1 400 metros y tasas en torno a 26 m/año. Otro ejemplo de intervención en el balance de sedimentos es a través de la construcción de estructuras de defensa costera. El caso más significativo, sin lugar a dudas, se da a partir de la conclusión del rompeolas de abrigo en el puerto de Salaverry, en 1964. Desde este período, se ha estimado que entre 40 y 50 millones de metros cúbicos de sedimentos quedaron retenidos al sur de la estructura portuaria, lo que llevó a una progradación de la línea de costa superiores a 1 100 metros. Al norte del puerto y a lo largo de 25 kilómetros, la línea de costa ha retrocedido hasta unos -200 metros. Finalmente, las líneas de costa en playas como La Herradura y La Chira tienden a retroceder con tasas entre -1.5 y -2 m/año (Leceta, 2009). Con el aumento del nivel del mar, los sectores costeros intervenidos y con tendencia al retroceso son los más amenazados y los de mayor vulnerabilidad.

3. Tendencias en la variabilidad de la línea de costa en el Perú

Los factores que determinan la posición de la línea de costa como resultado del aumento del nivel del mar son bien conocidos. Sin embargo, los modelos cuantitativos que predicen la variabilidad de la línea de costa en un lapso de décadas no logran resultados completamente satisfactorios (Woodroffe y Murray-Wallace, 2012). Entre los modelos que relacionan el aumento del nivel del mar y la erosión de playas, el de Bruun (1962) es el más conocido. Se trata de un modelo bidimensional, normal a la costa, donde se asume que el perfil alcanza un estado de equilibrio acorde con las condiciones del oleaje y los sedimentos. A medida que el nivel del mar aumenta, la parte superior de la playa se erosiona y retrocede, mientras que la parte inferior del perfil, por debajo del nivel del mar, se eleva por sedimentación. Así, el resultado neto es de un perfil de equilibrio que se mantiene gracias al desplazamiento hacia arriba, proporcional al aumento del nivel del mar y en retroceso hacia el continente. Pese a las limitaciones del modelo, ampliamente discutidas en la literatura (ej. Davidson-Arnott, 2005), diversos autores lo siguen aplicando o adecuando con nuevos ajustes, pero que aún requieren ser debidamente validados (ej. Gutierrez et al. 2009; Rosati et al., 2013).

Otro procedimiento comúnmente utilizado para relacionar el aumento del nivel del mar con la variabilidad costera se da a partir de la comparación entre líneas de costa de años sucesivos, provenientes de mapas, fotografías aéreas, imágenes satelitales u otras fuentes remotas o *in situ*. Con el soporte de los SIG y el desarrollo o empleo de extensiones diseñadas para estos fines, como el DSAS (Thieler et al., 2009), por ejemplo, que permitan estimar tasas de variación con respecto a la posición de la línea de costa en el lapso de tiempo analizado. Entre los procedimientos estadísticos más comúnmente utilizados se destacan la tasa de cambio final (*end-point rate*) y la regresión lineal que permiten extrapolar futuras variaciones en la línea de costa (ej. Gutiérrez et al. 2009). Eventualmente, también se podría combinar con otras variables, como las tasas de variación de nivel del mar y características geológicas locales para obtener resultados más significativos.

La disponibilidad y frecuencia de imágenes satelitales está cada vez más accesible, lo que facilita el empleo de este procedimiento. Las fotografías aéreas tomadas en los 60s (escala 1:60 000), y base de las primeras ediciones de Carta Nacional del Perú 1:100 000, son una excelente referencia como línea de base para el estudio de la variabilidad costera en el intervalo de décadas. Así, con la disponibilidad de varias líneas de costa durante los últimos 50 – 60 años se podría correlacionar por ejemplo, con las fluctuaciones climáticas de largo período, como la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y con el nivel del mar. Actualmente, la ODP se encuentra en una fase negativa, y se estima que en la fase positiva, prevista para las próximas décadas, el nivel del mar presentaría una tendencia lineal de aumento, a tasas de 6mm/año, hacia el 2050 frente a la costa de Lima (Takahashi et al., 2014). Así, es probable que, hacia la mitad del siglo XXI, el aumento del nivel del mar sea la principal causa de la erosión de playas en la costa peruana.

5. Conclusiones

El análisis de la variación histórica de líneas de costa es un procedimiento que permite identificar tendencias actuales y extrapolar posiciones futuras de costa. La integración con otras variables, tales como los modelos de variación del nivel del mar y las características geológicas de un área, permitirá obtener mejores predicciones con respecto al comportamiento de la línea de costa peruana en las próximas décadas. Ciertamente, esta información contribuye para la toma de decisiones en cuanto a

medidas de adaptación al cambio climático y gestión territorial.

6. Agradecimientos

Al Vicerrectorado de Investigación de la PUCP, por el apoyo a través del proyecto de investigación DGI 2015-1-0018.

7. Referencias

- Bird, E. C. F., 1985. Coastline changes. New York: Wiley & Sons.
- Bruun, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal Waterways and Harbors Division*, 88, 117–130.
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 2013. Sea Level Change. In: *Climate Change, 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1137–1216, doi:10.1017/CBO9781107415324.026.
- Davidson-Arnott, R.G.D., 2005. A conceptual model of the effects of the sea level rise on Sandy coasts. *Journal of Coastal Research*, 21 (6), 1166–1172.
- Grandez, M. I., 2010. Estudio de la variabilidad de línea de costa: La Chira, Villa, La Encantada de Villa, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona. Lima, Perú 1936-2008. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Fac. Letras y Cien. Hum., Pontificia Universidad Católica del Perú
- Gutiérrez, B.T.; Williams, S.J. y Thieler, E.R., 2009. Basic approaches for shoreline change projections. In: Titus, J.G. y Anderson, K. E., 2009. Coastal sensitivity to sea-level rise: a focus on the mid-Atlantic region (Vol. 4). Government Printing Office.
- Leceta, F., 2009. Análisis de variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y sistema de

- información geográfica: bahía de Miraflores, Perú: 1936-2005. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Fac. Letras y Cien. Hum., Pontificia Universidad Católica del Perú.
- León, J. y Tavares Corrêa, C., 2006. Quantification in shoreline change in Salaverry, Peru. *Journal of Coastal Research, Special Issue 39, ICS 2004 (Proceedings)*, 1013-1016.
- Quispe Arce, J., 2002. Sea Level Variations in Callao (12° S) - Peru 1942 - 2001. *Investigaciones marinas*, 30(1, Supl. Symp), 101-102.
- Rodríguez, M.I., 2017. Variación de humedales costeros e irrigaciones agrícolas: el caso de la albufera de Medio Mundo y el área agrícola de Huaura. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Fac. Letras y Cien. Hum., Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Rondón, G., 2011. Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: Bahía de Paita, Perú 1946 – 2007. *Espacio y Desarrollo*, 23, 93–114.
- Rosati, J.D., Dean, R.G., Walton, T.L., 2013. The modified Bruun Rule extended for landward transport. *Marine Geology*, 340, 71–81.
- Takahashi, K., Mosquera, K., Aparco, J., Ramos, Y., Fajardo, J., Montes, I., 2014. Evaluación del posible impacto de la variabilidad y cambio climático en el nivel del mar en la costa de Lima. *Investigación en Variabilidad y Cambio Climático –Instituto Geofísico del Perú*.
- Tavares Corrêa, C. y Drenkham, F., 2010. Variación de la línea de litoral entre el puerto Chicama y Puémape, La Libertad, Perú (1961-2006). *Espacio y Desarrollo*, 22, 103-117.
- Tavares Corrêa, C. y Rondón R., G., 2015. Estabilidad de línea de costa frente al calentamiento global : análisis de sectores costeros en Tacna y Piura, Perú. *Revista geográfica*, 2(154), 157-178.
- Tavares Corrêa, C y Rondón, G., 2016. Impacto de la represa de Gallito Ciego en la estabilidad de línea de costa en la desembocadura del río Jequetepeque, Perú. *Revista Espacio y Desarrollo* 27, 79 - 101.
- Taylor, R. 2017. Recent sea-level change at major cities. (visitado : 30/06/2017) <https://wattsupwiththat.com/2017/03/29/recent-sea-level-change-at-major-cities/>
- Tejada, X., 2017. Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín – Pucusana (Provincia de Lima). Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Fac. Letras y Cien. Hum., Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A., 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Woodman, R., Mabres, A., 1993. Formación de un cordón litoral en Máncora, Perú, a raíz de El Niño de 1983. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 22(1), 213-226.
- Woodroffe, S.D., Murray-Wallace, C.V., 2012. Sea-level rise and coastal change: The past as a guide to the future. *Quaternary Science Reviews*, 54 4-11.
- Zhang, K., B. C. Douglas y S. P. Leatherman. (2004). Global warming and coastal erosion. *Climate Change*, 64: 41-58.