

Evolución espacio temporal de la nueva desembocadura del Río Senegal a partir de imágenes Landsat.

Spatio-temporal evolution of the new mouth of the Senegal River by Landsat.

S. Rodríguez¹, I. Alonso², M. Sánchez³ y M. Casamayor⁴

¹Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus de Tafira, 35017-Las Palmas.

silvia.ccmr@gmail.com

^{2,3 y 4} Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus de Tafira, 35017-Las Palmas.

Resumen: El río Senegal es frontera entre Senegal y Mauritania. La fuerte deriva litoral, el oleaje incidente y la acción del río han dado lugar a la formación de una de las flechas de arena más largas y dinámicas del mundo: La Langue de Barbarie, que discurre paralela a la costa durante más de 40 km. En octubre de 2003 las fuertes lluvias registradas pusieron en peligro de inundación a la población del interior de la laguna, por lo que se realizó un canal en la barra de arena a 7 km al sur de la isla de Saint Louis. Como resultado de este hecho hubo un cambio en las condiciones hidrodinámicas que afectó gravemente al balance sedimentario a ambos sectores en los que quedó dividida la barrera. A partir de imágenes Landsat desde 2003 hasta la actualidad se han cuantificado los cambios en el área más próxima a la zona de la nueva desembocadura, y se propone un modelo de evolución que explica el funcionamiento de la misma.

Palabras clave: Langue de Barbarie, erosión costera, transporte de sedimentos, imágenes satélites, digitalización.

Abstract: *The Senegal River flows making border between Senegal and Mauritania. The strong littoral drift, the incident waves and the river action have resulted in the formation of highly dynamic spit over 40 km long known as Langue de Barbarie. In October 2003 a channel was performed on the barrier to 7 km south of the island of Saint Louis. As a result of this fact there was a change in the hydrodynamic conditions, which seriously affect to the balance of sediment in the two sectors where the spit was divided. Using data obtained from Landsat images, changes in the area have been quantified and an evolution model is proposed that explains the functioning of the new mouth of the Senegal River.*

Key words: *Langue de Barbarie, coastal erosion, sediment transport, satellite image, digitization.*

INTRODUCCIÓN

El río Senegal con una longitud de 1790 Km es el segundo río más largo de la costa Oeste del continente Africano. En su desembocadura en el océano Atlántico el oleaje predominante del NO produce una fuerte deriva litoral hacia el Sur capaz de transportar $1 \cdot 10^6$ m³ de sedimentos al año (Barousseau et al., 1995).

La gran disponibilidad de material sedimentario y la barrera hidráulica que supone el río Senegal en la zona de la desembocadura, ha dado lugar a la formación de una flecha de arena de aproximadamente 40 Km de longitud y 300 m de ancho, que discurre paralela a la costa separando el cauce del río del mar (Fig. 1). Esta flecha litoral recibe el nombre de la Langue de Barbarie.

La mayor parte de la cuenca del río Senegal pertenece a la región biogeográfica del oeste del Sahel. Posee un clima tropical en el que se distingue una marcada época de lluvias y una época seca.

Durante la época de lluvias, de julio a octubre, el caudal del río aumenta notablemente provocando inundaciones en las zonas más bajas del estuario.

La época de lluvias del 2003 fue especialmente intensa. El caudal del río medido en la presa de Diama, alcanzó valores de más de 2000 m³/s. A principios de octubre del 2003 esta situación se volvió crítica debido a que el nivel de agua seguía subiendo, poniendo en peligro de inundación a la isla de Saint Louis (patrimonio de la Humanidad declarado por la Unesco). En la noche del 3 al 4 de octubre, esta situación de emergencia obligó a las autoridades a abrir un canal en la Langue de Barbarie, a 7 Km al sur de la isla de Saint Louis. Cuyo fin era facilitar el drenado del agua del río al mar.

El canal inicial se realizó mediante excavadoras y sus dimensiones fueron: 4 m de ancho, 200 m de largo y 1,5 m de profundidad (Kane, et al. 2013). En poco tiempo el nivel del río volvió a la normalidad, pero la brecha realizada en la Langue de Barbarie sigue aumentando su amplitud y en noviembre de 2014 ya medía 5 Km.

ZONA DE ESTUDIO

La Langue de Barbarie es una flecha de arena de orientación N-S situada en la costa norte de Senegal, cerca de la frontera con Mauritania. El oleaje, las corrientes y el viento han favorecido la acumulación de sedimento dando lugar a la formación de una de las flechas de arena más largas y dinámicas del mundo.

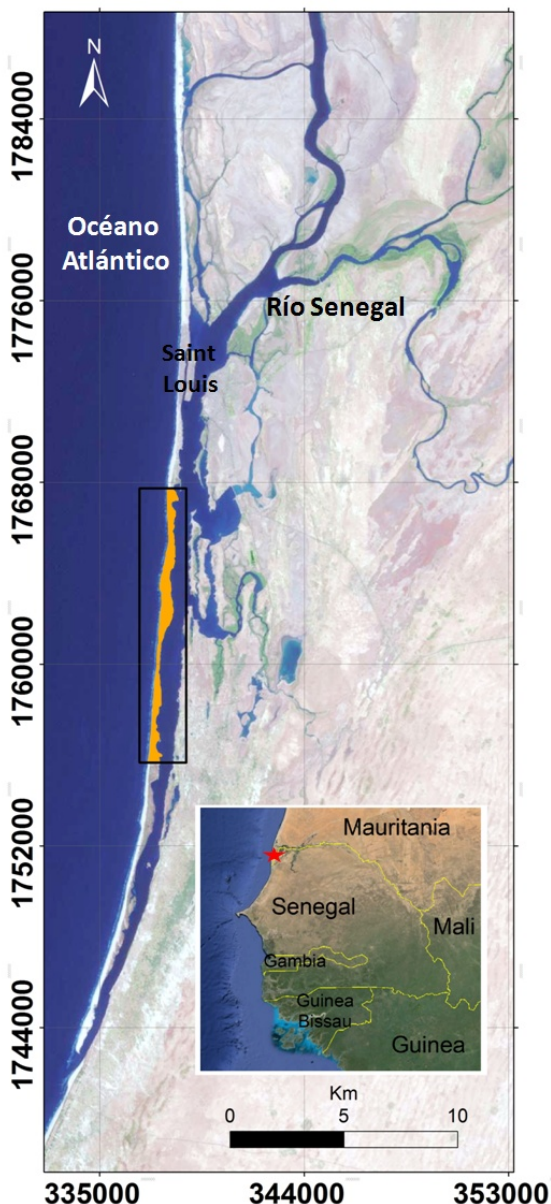


FIGURA 1. Imagen satélite de Abril de 2003 de la desembocadura del río Senegal. La zona dentro del rectángulo sombreada en color naranja corresponde a los límites empleados para calcular las áreas.

Está formada principalmente por arena de cuarzo tamaño medio y fino. En algunas zonas presenta cordones dunares muchos de ellos vegetados por especies Sahelianas tipo *Ipomoea pes-caprae*, *Alternanthera maritima*, *Sporobolus spicatus* y *sesuvium portulacastrum* que reducen el transporte eólico y ayudan a fijar el sustrato.

La morfología y topografía de la Langue de Barbarie cambia notablemente y según estas características, se divide en el segmento proximal, en el medio y en el distal (Sall, 1982). En el segmento medio la altura es de 7 m, mientras que en el segmento distal apenas llega a 2 m.

MATERIAL Y MÉTODOS

El uso de imágenes satélites en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica, han resultado una herramienta muy versátil y práctica para estimar cambios en muchas zonas costeras (Klemas, 2011).

Hoy en día operan una gran cantidad de satélites con sensores muy diversos, que permiten obtener imágenes e información de manera sinóptica, con una buena resolución espacial y temporal de cualquier parte del planeta.

La evaluación de los cambios geomorfológicos producidos en la brecha abierta en octubre del 2003 en la Langue de Barbarie, se llevó a cabo mediante el análisis de imágenes Landsat.

Las imágenes se obtuvieron de la base de datos del U.S. Geological Survey. Cada imagen presenta un tamaño de 108 x 175 Km². Están corregidas radiométrica y geométricamente con un nivel de precisión menor a 0,5 pixel. Pertenecen al cuadrante 28N y están georreferenciadas según el sistema geodésico WGS84 en coordenadas UTM.

Landsat posee una de las mejores series temporales de imágenes de todo el planeta desde principio de los años 70 hasta la actualidad. Presentan una resolución espacial de 30 m por pixel y una resolución temporal de 16 días. La alta resolución temporal de imágenes Landsat, las convierte en una herramienta muy apropiada para el estudio de cambios morfológicamente importantes en la variación de la línea de costa (Yates et al., 2013; Shearman et al., 2013).

Los cambios de áreas ocurridos en la zona de la nueva desembocadura del río Senegal desde el octubre de 2003 hasta noviembre de 2014, se cuantificaron a partir de 54 imágenes que abarcan todo el periodo de estudio, y de las cuales 24 corresponden a la época de lluvias y 30 a la época seca.

Para cada imagen seleccionada se digitalizó manualmente la línea de costa en cada uno de los sectores en los que quedó dividida la flecha de arena (Boak et al., 2005), mediante el uso de ArcGis 10.1. La digitalización no se efectuó de forma automática para evitar errores en el proceso debido a la gran cantidad de sedimento suspendido en el agua durante las épocas de lluvias (Dong et al., 2014).

Los límites de digitalización Norte y Sur se establecieron a partir de un rectángulo de 12 Km de longitud que engloba todos los cambios ocurridos en la nueva desembocadura desde su apertura hasta la actualidad (Fig.1).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la digitalización llevada a cabo en cuatro imágenes: abril de 2003, octubre de 2011, marzo de 2013 y noviembre de 2014.

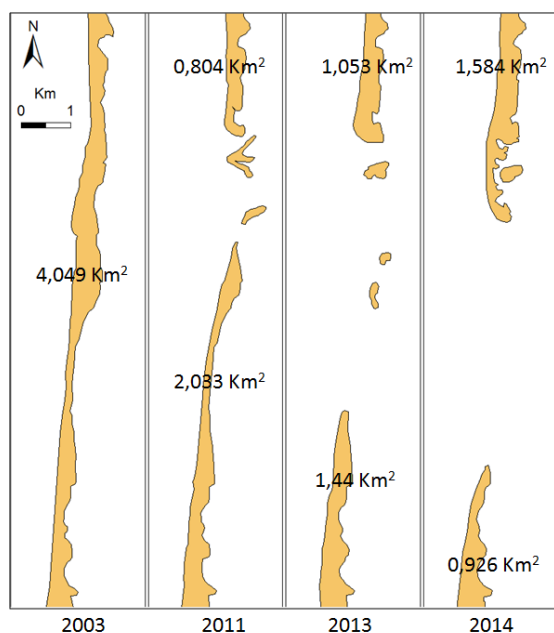


FIGURA 2. Ejemplo de las digitalizaciones de las líneas de costa usando los límites establecidos en este trabajo y cálculo del área de cada uno de los polígonos generados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de áreas obtenidos en este trabajo evidencian que la nueva desembocadura del río Senegal ha variado su funcionamiento desde su apertura hasta la actualidad (Fig. 3).

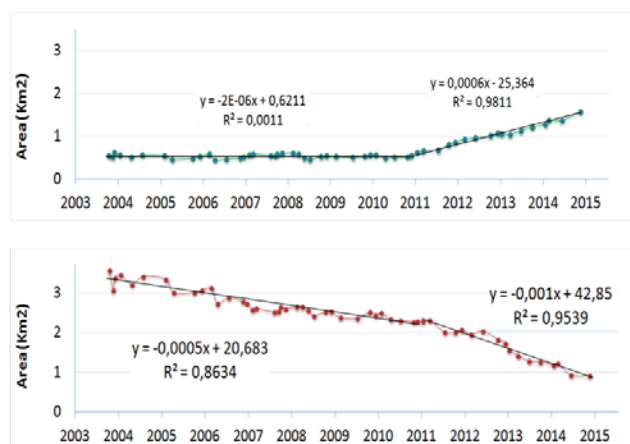


FIGURA 3. Cambios en el área del sector Norte (gráfica superior) y del sector Sur (gráfica inferior) de la nueva desembocadura del río Senegal, desde su apertura en 2003 hasta noviembre 2014.

A la vista de los datos obtenidos, se distinguen tres periodos:

El primer periodo corresponde a la apertura inicial del canal, y temporalmente abarca esa época de lluvias. Durante este tiempo ambos márgenes del canal se erosionan debido a la fuerza del agua del río saliendo hacia el mar.

El segundo periodo comprende desde finales de 2003 hasta octubre de 2010. En este momento el oleaje y las descargas fluviales son los agentes dominantes.

Durante este tiempo el sector Norte del canal muestra una fuerte variabilidad estacional (Fig. 4). Durante las épocas de lluvia, las descargas fluviales producen perturbaciones en la deriva litoral, que hacen que el material transportado sedimente y aumente el área en este sector. Cuando llega la época seca la deriva litoral se restablece y vuelve a erosionarse.

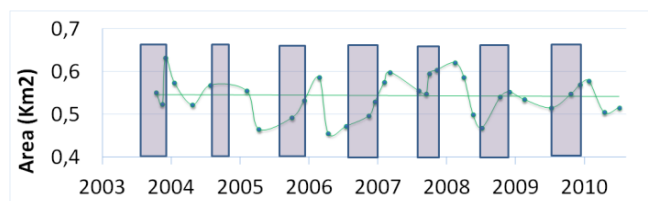


FIGURA 4. Cambios en el área del sector Norte durante el segundo periodo (2003-2010). Los rectángulos sombreados en color azul muestran la duración de la época de lluvia según los datos registrados en la presa de Diama.

Respecto al sector Sur en el segundo periodo, la tendencia es erosiva con una pérdida de superficie de $0,146 \text{ Km}^2$ al año.

Finalmente el tercer periodo comienza cuando en octubre de 2010 aparece en el centro del canal una isla que modifica las condiciones hidráulicas en la zona y favorece el crecimiento en área del sector Norte en forma de ganchos.

El sector Sur apenas recibe sedimentos provenientes de la deriva litoral. El oleaje incidente en la cara más externa lo va erosionando, lo que lo hace propenso a sufrir fenómenos de overwash que lo debilitan y lo fracturan aumentando notablemente la erosión de este sector.

En este periodo el crecimiento del sector Norte del canal crece a razón de $0,219 \text{ Km}^2$ al año, mientras que la zona sur se erosiona $0,365 \text{ Km}^2$ (Tabla I).

Fecha	Sector Norte (Km ² /año)	Sector Sur (Km ² /año)
Octubre 2003	Erosión	Erosión
2003/2010	Variabilidad estacional	- 0,146
2010/2014	+ 0,219	-0,365

TABLA I. Cambio en las áreas del sector Norte y del sector Sur de la Langue de la Barbarie para cada uno de los periodos.

CONCLUSIONES

El canal artificial realizado en la Langue de Barbarie en octubre de 2003 ha dado lugar a un cambio drástico en las condiciones hidrodinámicas de la zona.

Durante la época de lluvias la barrera hidráulica que produce el río perturba la deriva litoral reduciendo el transporte de sedimentos al sector sur.

Desde de la época de lluvias del año 2003 hasta octubre del 2010 la nueva desembocadura era relativamente estable. El sector Norte presentaba una variación estacional de su superficie, aumentando en épocas de lluvia y disminuyendo en época seca. Mientras que el sector Sur se erosionaba a razón de - 0,146 Km² al año.

En octubre de 2010 aparece en el centro del canal una isla que modifica nuevamente las condiciones hidrodinámicas. Este hecho favorece a acumulación de sedimentos en la zona norte y reduce aún más la llegada de sedimentos por parte de la deriva litoral al sector Sur.

El oleaje incidente en el sector Sur de la Langue de Barbarie aumenta la erosión, haciéndola vulnerable a sufrir procesos de overwash durante las épocas de temporal, que la debilitan y la fracturan aumentando su tasa de erosión.

Durante el último periodo (de noviembre de 2010 hasta noviembre de 2014) el sector Norte de la desembocadura aumenta su superficie a razón de 0,219 Km² al año. Pese a que el sector Sur siempre muestra tendencia erosiva, durante este periodo se vuelve más acusada, alcanzando valores de 0,365 Km² al año.

REFERENCIAS

- Barousseau, J.P.; Bâ, M.; Descamps, C.; Diop, E.H.S., Giresse, P. and Saos, J.-L. (1995): Coastal evolution in Senegal and Mauritania at 103, 102 and 101 year scales: Natural and human records. *Quaternary International* 29-30, 61-73.
- Boak, E. y Turner, I. (2005): Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research* 21 (4) 688 – 703.
- Dong, D., Ziwei L., Zhaoqin L. and Yang Y. (2014): Automated techniques for quantification of coastline change rates using Landsat Imagery along Caofeidian, China. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 17.
- Kane, C., Humbert, J., & Kane, A. (2013): Responding to climate variability: The opening of an artificial mouth on the Senegal River. *Regional Environmental Change*, 13(1), 125-136.
- Klemas, V. (2011): Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques. *Journal of Coastal Research*, 27(3), 418–427. ISSN 0749-0208.
- Sall, M. (1982): Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal Occidental. *Thèse de Doctorat d'État, Université Louis Pasteur, Strasbourg*, 604 p.
- Shearman, P., Bryan, J., and Walsh, J.P., (2013): Trends in deltaic change over three decades in the Asia-Pacific region. *Journal of Coastal Research*, 29(5), 1169–1183.
- Yates, M.L.; Le Cozannet, G.; Garcin, M.; Salai, E., y Walker (2013): Multidecadal atoll shoreline change on Manihi and Manuae, French Polynesia. *Journal of Coastal Research* 29, vol. 4, 870–882.