

Obras de mitigación de la erosión costera. Evaluación en la costa bonaerense mediante imágenes satelitales.

Billet C.^(1,2,3), Alonso G.^(1,3), Dragani W.^(1,2,3,4), Bacino G.⁽⁵⁾, Danieli G.^(3,6)

(1) Departamento de Oceanografía - Servicio de Hidrografía Naval (SHN/MINDEF), Buenos Aires, Argentina. (2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290 (C1425FQB), Ciudad de Buenos Aires, Argentina (3) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO/FCEN-UBA), Buenos Aires, Argentina. (4) Laboratorio Internacional de Investigación Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL IFACI/ CNRS-IRD-CONICET-UBA). (5) Instituto de Geología de Costas y Del Cuaternario, (FCEN-UNMdP/CIC), Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina (6) Ezcurra & Schmidt S.A., Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN: Las playas arenosas son vitales para las economías costeras y es frecuente que en ellas se realicen intervenciones para mitigar los efectos de la erosión. Estas intervenciones pueden ser “blandas” como el relleno de playas o “duras” como la construcción de rompeolas y/o escolleras. En este trabajo se presenta una metodología para monitorear y evaluar los resultados de estas intervenciones, utilizando imágenes satelitales. Esta metodología ya fue implementada por los autores para la evaluación de los resultados de un relleno de playa en la ciudad de Mar del Plata. En el presente trabajo, la metodología se aplica a dos casos de estudios: rompeolas desacoplados en el balneario Mar Chiquita y en la playa Los Acañilados de Mar del Plata. Se utilizó la herramienta CoastSat para obtener series temporales de ancho de playa. A partir de las mismas, se calcularon métricas basadas en el estado de la playa previo/posterior y la velocidad de cambio previa/posterior que permiten cuantificar los resultados obtenidos de las intervenciones.

1. Introducción

Las costas arenosas desempeñan un papel crucial en diversas actividades humanas, como la recreación y el turismo (McLachlan y Defeo, 2018). Sin embargo, la erosión en playas de arena es un problema que afecta a numerosas playas del mundo (Defeo et al., 2021). En respuesta, las comunidades costeras inician planes de mitigación destinados a proteger la infraestructura costera existente, los hábitats y las áreas recreativas. Estos planes frecuentemente incluyen soluciones de ingeniería dura, blanda o una combinación de ellas. Esas soluciones requieren un conocimiento previo de la dinámica y variabilidad típica de las playas de interés. Las imágenes de satélite han proporcionado información sobre las líneas costeras en todo el mundo desde 1985 y están disponibles en plataformas públicas (como Google Earth Engine) (Gorelick et al., 2017). CoastSat (Vos et al., 2019a) demostró ser una herramienta eficaz para la analizar las variaciones de la línea de costa en muchos lugares del mundo a diferentes escalas espaciales (Vos et al., 2019b, 2023; Gurruchaga et al., 2023), incluyendo playas bonaerenses (Billet et al., 2023; Billet et al., 2024). En este trabajo se propone una metodología basada en la herramienta CoastSat para el monitoreo y cálculo de métricas que permitan la evaluación de estas intervenciones. La metodología se examina aplicándola en las obras de intervención más importantes de la provincia de Buenos Aires.

Las playas arenosas de la provincia de Buenos Aires no son ajenas a la erosión, considerada un problema ambiental significativo en diferentes municipios de la misma (Bértola et al., 2009; Merlotto y Bértola, 2009; Billet et al., 2023). Como consecuencia, se pueden identificar a lo largo de su costa numerosas intervenciones de mitigación, de diferentes magnitudes. Una de las inversiones “blandas” más relevantes en la historia de la provincia se realizó entre 1998-1999 en el relleno de playas en la ciudad de Mar del Plata. La metodología propuesta en este trabajo probó ser eficaz en el monitoreo y evaluación de esa iniciativa (Billet et al., 2024). En el presente trabajo, se aplica la metodología al monitoreo y evaluación a dos obras de mitigación “duras” en las que se utilizaron rompeolas desvinculados. Los casos de estudio corresponden a la ciudad de Mar del Plata (MdP) (región de playa Los Acañilados entre 2012-2017) y al Balneario Parque Mar Chiquita (MC) (varias etapas en el periodo 2006-2020) (Figura 1a).

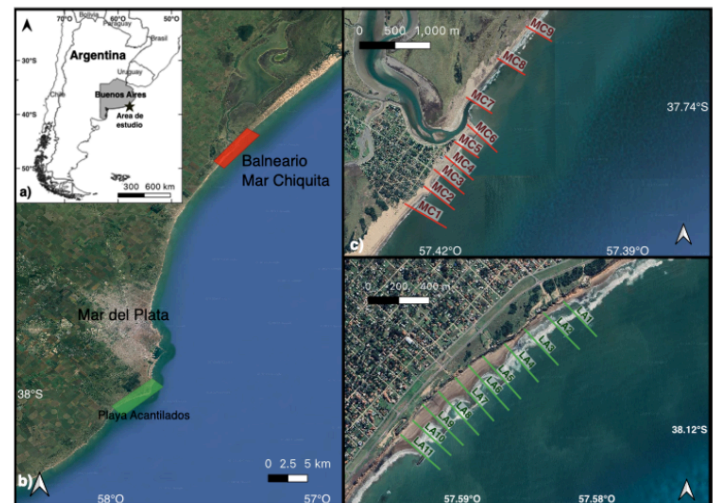


Figura 1. a) Ubicación de la zona de estudio en la provincia de Buenos Aires, Argentina, b) ubicación de los polígonos que abarcan ambos casos de estudio, posición de las transectas utilizadas en el Balneario Mar Chiquita (c) y en Los Acañilados en Mar del Plata (d).

2. Metodología

Se utilizó la herramienta de código abierto CoastSat 2.0 (Vos et al., 2019b) para mapear la posición de la línea de costa utilizando imágenes de satélite Landsat (5 a 9) y Sentinel-2. Las imágenes fueron recortadas y descargadas a través de Google Earth Engine en polígonos específicos de las regiones de interés (Figura 1b). La herramienta permite utilizar transectas normales para, al ubicar su origen en el inicio de la playa, obtener series temporales de AP (Figura 1c para MC y Figura 1d para MdP). Además permite la corrección de las series de AP para que se extiendan al nivel medio del mar y no al nivel instantáneo. Para hacerlo, en este trabajo se utilizaron datos de marea del modelo FES2014 (Carrere et al., 2016) y pendientes calculadas con CoastSat.slope (Vos et al., 2022). Se obtuvieron series temporales mensuales del ancho de playa (AP) para dos áreas de estudio: Mar Chiquita (MC) y Los Acañilados de Mar del Plata (MdP), que fueron

suavizadas utilizando la función LOESS para eliminar la variabilidad de corto plazo (Cleveland, 1979). La Figura 2 presenta las series mensuales (puntos azules), junto con las series suavizadas (línea naranja) para las transectas MC4 (Figura 2a) y LA7 (Figura 2b).

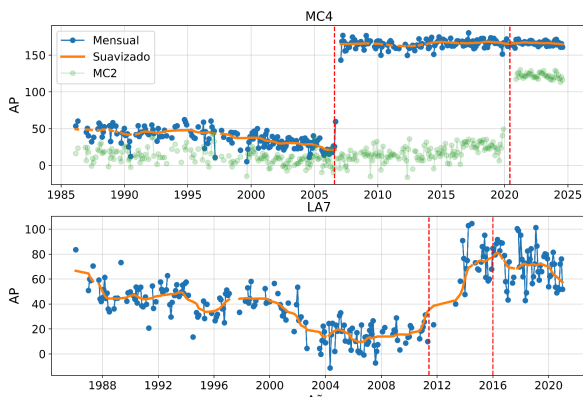


Figura 2. Series mensuales (puntos azules) y series suavizadas (líneas naranja) para la transecta MC4 (a) y LA7 (b). Se incluye la serie mensual de MC3 (puntos verdes en a). Con líneas verticales punteadas rojas se limitan los periodos temporales estudiados.

3. Resultados y Discusión

En MC antes de la primera intervención, todas las transectas mostraron una tendencia erosiva, alcanzando magnitudes máximas al norte de la albufera, superando los -9 m/año (Tabla 1). Durante el período 2008-2020, se observó un cambio en las tendencias, volviéndose positivas y más significativas al sur del rompeolas más meridional. Este resultado se relaciona con el hecho de que la acumulación de sedimentos al sur de cualquier obstáculo se ve favorecida por la dirección del transporte neto de sedimentos hacia el norte en la región (Merlotti y Bértola, 2009). En el último período analizado, la zona volvió a mostrar tendencias erosivas en general, salvo en la transecta MC1, ubicada inmediatamente al sur del último rompeolas construido. En términos generales, las transectas situadas en la zona de intervención mostraron un aumento neto en el ancho de playa, con incrementos que oscilaron entre el 60% (MC1) y el 960% respecto a su valor inicial (MC2) (Tabla 1). La única excepción fue la transecta MC5, ubicada entre rompeolas, que experimentó una reducción del 10% en su ancho respecto a su valor inicial. La mayoría de las transectas retomaron su dinámica erosiva previa a la intervención, con algunos sectores donde la tendencia erosiva aumentó hasta un 150%. MC1 fue la única transecta que mostró un cambio en su dinámica, con una tendencia de crecimiento en el último período. Sin embargo, debido a su proximidad al último rompeolas construido, es posible que este sector aún no haya alcanzado un nuevo equilibrio dinámico post intervención. Por otro lado, la transecta MC9 no mostró un cambio significativo en su dinámica ($Tr=1$), lo que sugiere que la obra no agravó su tendencia erosiva, a diferencia de MC7 y MC8 ubicadas al sur, lo que podría indicar que el impacto negativo esperado al norte se limitó a una distancia de aproximadamente 1300 m (Tabla 1). Se destaca que en el periodo de estudio el sector norte presentó un retroceso en su línea de costa de hasta 100 m (Figura 3).

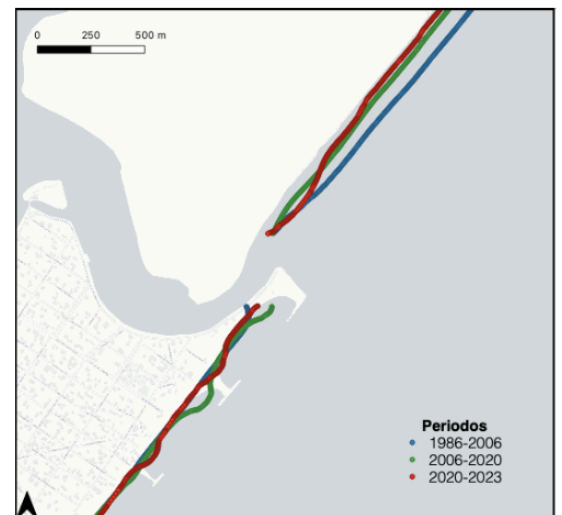


Figura 3. Líneas de costa promedio en Mar Chiquita para cada periodo temporal estudiado.

En MdP, durante el periodo pre intervención, todas las transectas presentaron tendencias erosivas. Durante la intervención, se observó un cambio significativo, pasando de tendencias erosivas a no mostrar tendencias estadísticamente significativas o incluso a tendencias positivas, alcanzando hasta 12.4 m/año en algunos casos, en la zona de intervención (Tabla 1). Al norte de esta las transectas LA1 y LA4 mantuvieron la tendencia erosiva aumentando su magnitud. Esto podría deberse a la interrupción del transporte de sedimentos producida por los espigones para la construcción de los rompeolas. En el periodo post intervención, las tendencias de acumulación se limitaron al sector donde se construyó el último rompeolas (LA7) y el sector norte contiguo a la obra. Este crecimiento puede deberse a

que a fines del periodo anterior se retiraron los espigones que vinculan los rompeolas con la playa, por lo que se favorece la llegada de sedimentos al sector. Por otro lado, la transecta sur (LA11) también presenta crecimiento en este periodo, lo que podría atribuirse también al transporte de sedimentos de sur a norte, que favorece la deposición en esas áreas. En términos generales, las transectas en la zona de intervención (LA5 a LA11) mostraron un aumento neto en el ancho de playa, con incrementos que varían entre un 20% (LA5) y un 650% (LA11) respecto a sus valores iniciales (Tabla 1). El sector norte, contiguo a la obra presentó una pérdida neta de su playa perdiendo entre 205% y 227% respecto a su valor inicial. Sin embargo, el desacople de los rompeolas en el último periodo le otorgan una tendencia de crecimiento que podría reducir la pérdida de playa neta en el sector. Respecto a la dinámica, se observó un cambio positivo, con la tendencia general pasando de erosiva a sin tendencia significativa o incluso a positiva en el sector de la obra. Las excepciones fueron A4 y A5, que mantuvieron su tendencia erosiva, aunque con una disminución en su magnitud de un 30% y un 10%, respectivamente.

	1986-2006			2006-2020			2020-2024			Después/Antes		
	Tendencia	Pendientes (m/año)	Media (m)	Tendencia	Pendientes (m/año)	Media (m)	Tendencia	Pendientes (m/año)	Media (m)	ΔAP (m)	APr	Tr
MC1	Erosion	-2.5	51	Creciente	3.4	56	Creciente	2.1	81	30	1.6	-0.8
MC2	Erosion	-0.8	11	Creciente	1.6	17	Erosion	-1.3	121	110	10.6	1.6
MC3	Erosion	-2.2	38	Creciente	3.2	45	-	-	70	32	1.8	-
MC4	Erosion	-1.8	37	Creciente	0.2	162	Erosion	-0.4	166	129	4.5	0.2
MC5	Erosion	-1.8	60	Creciente	1.3	39	-	-	52	-7	0.9	-
MC6	Erosion	-0.7	99	Creciente	0.7	166	Erosion	-1.7	190	90	1.9	2.5
MC7	Erosion	-2.7	93	-	0.2	79	Erosion	-6.5	52	-41	0.6	2.5
MC8	Erosion	-9.1	163	Creciente	1.4	92	Erosion	-9.8	64	-99	0.4	1.1
MC9	Erosion	-8.3	140	Erosion	-1.1	63	Erosion	-8.6	33	-107	0.2	1.0
	1986-2012			2012-2016			2016-2020			Después/Antes		
	Tendencia	Pendientes (m/año)	Media (m)	Tendencia	Pendientes (m/año)	Media (m)	Tendencia	Pendientes (m/año)	Media (m)	ΔAP (m)	APr	Tr
LA1	Erosion	-2.6	26	Erosion	-3.4	-16	Creciente	1.5	-7	-33	-0.3	-0.6
LA2	Erosion	-3.3	34	-	-	-12	Creciente	1.4	-2	-36	-0.1	-0.4
LA3	Erosion	-3.0	27	-	-	-16	Creciente	1.8	-4	-32	-0.2	-0.6
LA4	Erosion	-2.2	33	Erosion	-9.3	-4	Creciente	3.3	11	-21	0.4	-1.5
LA5	Erosion	-3.5	43	-	-	5	Creciente	2.8	51	8	1.2	-0.8
LA6	Erosion	-3.7	45	Creciente	3.7	20	-	-	44	-0	1.0	-
LA7	Erosion	-3.1	32	-	-	61	Creciente	2.5	51	19	1.6	-0.8
LA8	Erosion	-3.1	31	-	-	38	Erosion	-1.9	42	11	1.3	0.6
LA9	Erosion	-3.2	32	Creciente	12.4	74	Erosion	-3.2	71	39	2.2	1.0
LA10	Erosion	-1.1	15	Creciente	1.5	16	-	-	24	10	1.7	-
LA11	Erosion	-1.0	3	-	-	4	Creciente	1.8	19	16	7.5	-1.7

Tabla 1. Tendencias estadísticamente significativas y medias para cada periodo de cada transecta estudiada. Además se incluye la información de ΔAP , APr y Tr.

4. Conclusiones

La metodología propuesta permite estudiar obras “duras” de mitigación a la erosión costera. En los sectores de playa donde se encuentran los rompeolas, las playas crecieron en su ancho. En Mar Chiquita el crecimiento de la playa se estimó entre un 60% y 960%, mientras que en Mar del Plata fue de entre 20% y un 650%. Sin embargo, al norte de estas, se reportó una mayor erosión debido a la interrupción de la deriva litoral. En Mar Chiquita, la influencia de la obra en la dinámica de playa en sectores aledaños se estimó en 1300 m al norte.

5. Bibliografía

Bértola, G. R., Cortizo, L. C., & Isla, F. I. (2009). Dinámica litoral de la costa de Tres Arroyos y SanCayetano, Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 64(4), 657-671.

Billet, C., Alonso, G., Danieli, G., & Dragani, W. (2024). Evaluation of beach nourishment in Mar del plata, Argentina: An application of the CoastSat toolkit. Coastal Engineering, 193, 104593.

Billet, C., Bacino, G., Alonso, G., & Dragani, W. (2023). Shoreline Temporal Variability Inferred from Satellite Images at Mar del Plata, Argentina. Water, 15(7), 1299.

Carrère, L., Lyard, F., Cancet, M., Guillot, A., Picot, N., & Dupuy, S. (2015, October). FES2014: A new global tidal model. In Ocean Surface Topography Science Team meeting, Reston, USA.

Cleveland, W. S., & Devlin, S. J. (1988). Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. Journal of the American statistical association, 83(403), 596-610.

Defeo, O., McLachlan, A., Armitage, D., Elliott, M., & Pittman, J. (2021). Sandy beach social–ecological systems at risk: regime shifts, collapses, and governance challenges. Frontiers in Ecology and the Environment, 19(10), 564-573.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment, 202, 18-27.

Gurruchaga, P., Lambert, M., Alonso, R., & Solari, S. (2023). SISTEMA DE MONITOREO DE PLAYAS EN BASE A IMÁGENES PARA URUGUAY. In ANALES (p. 114).

McLachlan, A., Defeo, O., & Short, A. D. (2018). Characterising sandy beaches into major types and states: implications for ecologists and managers. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 215, 152-160.

Merlotto, A., & Bértola, G. R. (2009). Evolución de la línea de costa en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. Ciencias marinas, 35(3), 271-286.

Vos, K., Harley, M. D., Splinter, K. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). Sub-annual to multi-decadal shoreline variability from publicly available satellite imagery. Coastal Engineering, 150, 160-174.

Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. Environmental Modelling & Software, 122, 104528.

Vos, K., Deng, W., Harley, M. D., Turner, I. L., & Splinter, K. D. M. (2022). Beach-face slope dataset for Australia. Earth System Science Data, 14(3), 1345-1357.

Vos, K., Harley, M. D., Turner, I. L., & Splinter, K. D. (2023). Pacific shoreline erosion and accretion patterns controlled by El Niño/Southern Oscillation. Nature Geoscience, 16(2), 140-146.