Capacidad del Ranking de Playas para discriminar la vulnerabilidad geomorfológica: un análisis multivariado de playas arenosas y asociadas a acantilados

Ability of a Beach Ranking system to discriminate geomorphological vulnerability: a multivariate analysis of sandy beaches and those associated with cliffs

Ana Faggi
Universidad de Flores, Argentina
ana.faggidelenz@uflouniversidad.edu.ar
0000-0002-0594-4495

Resumen

La erosión costera constituye uno de los principales procesos de degradación de los sistemas litorales, intensificado por el aumento del nivel del mar, la mayor frecuencia de tormentas y las modificaciones antrópicas del transporte sedimentario. Entre los factores que condicionan la respuesta de una playa frente a estos procesos, la geomorfología desempeña un papel fundamental al determinar la capacidad del sistema para disipar la energía del oleaje y mantener un equilibrio dinámico. En este trabajo se evaluó la hipótesis de que las playas asociadas a acantilados presentan una mayor vulnerabilidad frente a la erosión que las playas arenosas debido a la ausencia de bermas y reservas sedimentarias con el objetivo de evaluar si algunos indicadores integrados del Ranking de Playas permiten discriminar diferencias en la vulnerabilidad geomorfológica entre ambos grupos de playas. El objetivo es analizar la utilidad del índice como herramienta de evaluación multivariada para la gestión costera.

Se analizaron diez playas de poblado y rurales incluidas en el Ranking de Playas de 2026, las cuales se agruparon en dos categorías geomorfológicas (cinco arenosas y cinco asociadas a acantilados). Se consideraron cinco indicadores de vulnerabilidad: respuesta frente a tormentas, estabilidad, cambios morfológicos, disipación del oleaje e índice integrado de vulnerabilidad. Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA), el cual mostró que los dos primeros componentes explicaron el 85,23 % de la variabilidad total. La capacidad de disipación del oleaje fue la variable que más contribuyó a la diferenciación entre grupos. Los resultados apoyan la hipótesis de que la presencia de bermas

arenosas constituye un mecanismo natural de amortiguación de la energía del oleaje y aumenta la resiliencia geomorfológica frente a la erosión costera. Los resultados respaldan el empleo del Ranking de Playas como una herramienta de apoyo para la evaluación comparativa de playas y para la identificación de factores que condicionan su vulnerabilidad.

Palabras clave: erosión costera; vulnerabilidad; playas arenosas; acantilados; PCA

Summary

Coastal erosion is one of the main degradation processes of coastal systems, intensified by sea-level rise, increased frequency of storms and anthropogenic modifications of sedimentary transport. Among the factors that condition the response of a beach to these processes, geomorphology plays a fundamental role in determining the ability of the system to dissipate wave energy and maintain a dynamic balance. In this work, the hypothesis that beaches associated with cliffs present a greater vulnerability to erosion than sandy beaches due to the absence of berms and sedimentary reserves was evaluated with the aim of evaluating whether some integrated indicators of the Beach Ranking allow discriminating differences in geomorphological vulnerability between both groups of beaches in order to analyze the usefulness of the index as a multivariate evaluation tool for the coastal management.

Ten populated and rural beaches included in the 2026 Beach Ranking were analyzed, which were grouped into two geomorphological categories (five sandy and five associated with cliffs). Five vulnerability indicators were considered: storm response, stability, morphological changes, wave dissipation, and integrated vulnerability index. A Principal Component Analysis (PCA) was applied, which showed that the first two components explained 85.23 % of the total variability. The wave dissipation capacity was the variable that contributed most to the differentiation between groups. The results support the hypothesis that the presence of sandy berms constitutes a natural mechanism of buffering of wave energy and increases geomorphological resilience to coastal erosion. The results support the use of the Beach Ranking as a support tool for the comparative evaluation of beaches and for the identification of factors that condition their vulnerability.

Keywords: erosion; vulnerability; sandy beaches; cliffs; PCA

Recibido: 23/08/2026

Aceptado: 05/11/2026

DOI: 10.63790/qjq5xv98

Huellas se encuentra bajo la licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.



1. Introducción

La erosión costera representa uno de los principales desafíos para la gestión sostenible de las zonas litorales. En numerosas regiones del mundo, la combinación entre el aumento del nivel del mar, los cambios en el régimen de tormentas y la reducción del aporte sedimentario está acelerando el retroceso de la línea de costa y modificando la dinámica natural de las playas.

Las playas constituyen sistemas altamente dinámicos cuya estabilidad depende del equilibrio entre la energía incidente del oleaje y la disponibilidad de sedimentos (Pang et al., 2023). En playas arenosas, las bermas y las barras litorales actúan como reservorios sedimentarios capaces de absorber parte de la energía de las olas durante eventos extremos y posteriormente reconstruir el perfil de playa mediante procesos naturales de acreción. En contraste, las playas desarrolladas al pie de acantilados presentan una configuración geomorfológica diferente. La limitada disponibilidad de arena reduce la capacidad de disipar la energía del oleaje, lo cual favorece la reflexión de las ondas contra el frente rocoso y aumenta los procesos de socavación basal. Como consecuencia, estas costas suelen experimentar mayores tasas de retroceso cuando la acción del oleaje se intensifica (Sherwood et al. ,2022).

Diversos estudios han señalado que la capacidad de disipación del oleaje constituye uno de los principales mecanismos de resiliencia física de los sistemas costeros (Castelle & Masselink (2022). Sin embargo, existen pocos trabajos que evalúen cuantitativamente esta hipótesis mediante indicadores integrados de vulnerabilidad. En los últimos años se han desarrollado diversos índices destinados a evaluar la calidad ambiental y la vulnerabilidad de las playas mediante enfoques multidimensionales. Entre ellos, el Ranking de Playas (de Oliveira et al., 2024) constituye una metodología que integra indicadores físicos, ambientales, ecológicos y de gestión para caracterizar de manera sintética el estado de los sistemas costeros. A diferencia de los enfoques tradicionales basados en variables individuales, el Ranking de Playas combina múltiples dimensiones del funcionamiento de las playas, permitiendo comparar distintos ambientes mediante una estructura de indicadores estandarizados. Su principal fortaleza radica en que reconoce el carácter complejo de los ecosistemas costeros. Variables como la estabilidad morfodinámica, la respuesta frente a tormentas, la capacidad de disipación del oleaje y los cambios geomorfológicos no actúan de forma independiente, sino que representan procesos interrelacionados que determinan la resiliencia de una playa frente a la erosión. Por ello, la utilización de indicadores integrados resulta particularmente apropiada para analizar diferencias funcionales entre playas con características geomorfológicas contrastantes.

Si bien el Ranking ha sido propuesto como una herramienta para la evaluación integral de playas y como apoyo a la gestión costera, aún existe escasa evidencia acerca de su capacidad para discriminar patrones asociados a la geomorfología litoral. En particular, no se ha explorado suficientemente si la

combinación de indicadores que componen el índice permite diferenciar playas arenosas de playas asociadas a acantilados y reflejar los procesos físicos que condicionan su vulnerabilidad frente a la erosión. En este contexto, el presente estudio utiliza los indicadores del Ranking como base para un análisis multivariado con el propósito de evaluar si esta metodología es capaz de identificar diferencias geomorfológicas entre ambos tipos de playa.

La hipótesis plantea que las playas asociadas a acantilados presentan una mayor vulnerabilidad física debido a la ausencia de bermas y reservas sedimentarias, lo que limita la disipación de la energía del oleaje y favorece procesos de socavación y retroceso del frente costero.

El objetivo de este trabajo fue evaluar si algunos indicadores integrados del Ranking de Playas permiten discriminar diferencias en la vulnerabilidad geomorfológica entre playas arenosas y playas asociadas a acantilados y analizar la utilidad del índice como herramienta de evaluación multivariada para la gestión costera.

2. Metodología

Se analizaron los datos de diez playas de poblado y rurales incluidas en el Ranking de Playas 2026, agrupadas en dos categorías geomorfológicas.

Tabla 1

Playas arenosas y asociadas a acantilados (Ranking de Playas 2026)

Grupo 1: Playas arenosas		Car (Cariló), Boa (Botavara), Vaa (Valeria), Saa (San Cayetano) y Mca (Mar Chiquita)
Grupo 2: Playas asociadas a acantilados		Cet (Centinela del Mar), Mat (Mar del Sud), Hit (Hijos del Mar), Cat (Caleta) y Alt (Alfar)

La descripción de las playas y los valores adjudicados a cada una de las variables pueden consultarse en https://rankingmejoresplayas.com/es/inicio-2026/.

Se emplearon cinco indicadores de la dimensión Protección (Tabla 2):

Tabla 1

Indicadores de Protección del Ranking de Playas

Indicador	**Definición**
Amortiguación de tormentas	Evalúa la capacidad de la playa para defenderse y resistir los temporales e incluye elementos aéreos de la playa
Estabilidad de la línea de costa	Se refiere a la posición de la línea de costa a lo largo del tiempo
Cambios inducidos	Evalúa los cambios humanos en la playa y sus alrededores
Disipación de la energía de olas	Identifica la presencia de elementos (ej. Dunas, Marismas) que absorben energía de olas
Vulnerabilidad	Evalúa la ocurrencia y la frecuencia de eventos (ej. huracanes), la tasa de erosión y del aumento del nivel del mar, que pueden generar impactos en un sitio

Nota. Oliveira & Botero (2025)

Los datos fueron estandarizados mediante puntuaciones antes del análisis multivariado. Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para visualizar la estructura de los datos y determinar qué variables explicaban la mayor parte de la variabilidad.

3. Resultados

Se observa que los valores de todos los indicadores son mayores en las playas arenosas (Tabla 3).

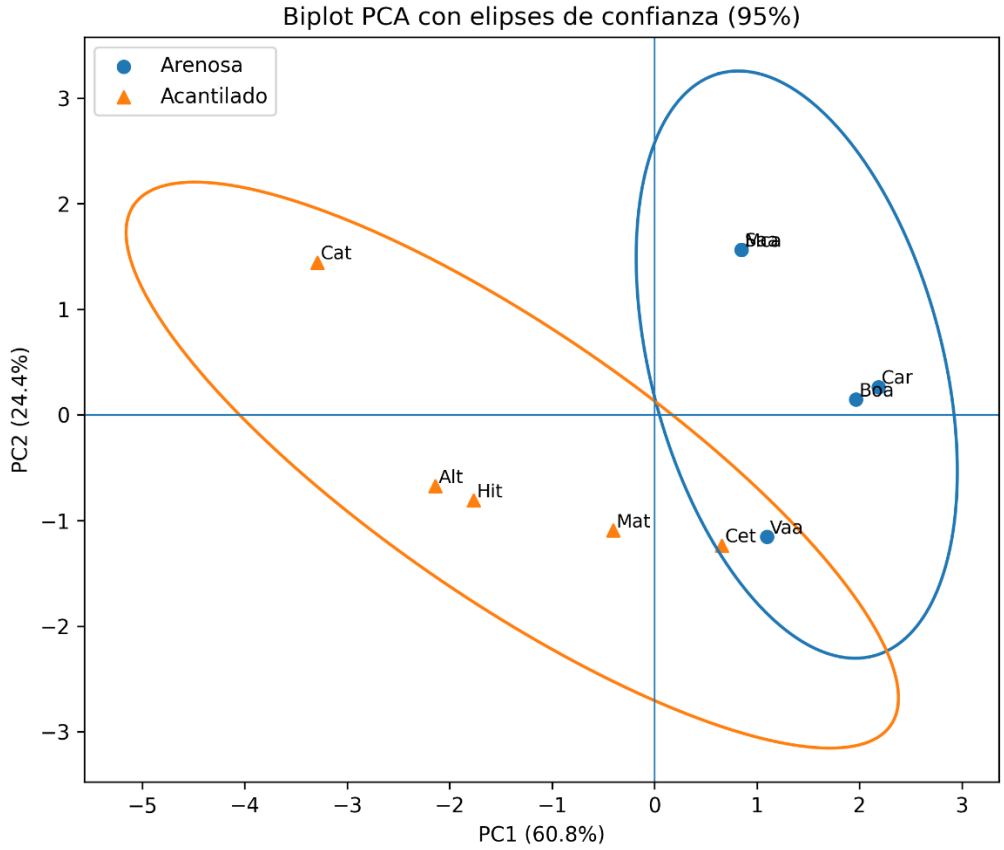
Tabla 3

Valores de los indicadores de Protección según Ranking de Playas 2026

Abreviatura	Tormentas	Estabilidad	Cambios	Disipacion	Vulnerabilida
Playas arenosas					
Car	0,8	0,867	0,933	0,667	0,733
Boa	0,76	0,87	0,93	0,67	0,73
Vaa	0,68	0,8	0,93	0,67	0,6
Saa	0,7	0,67	0,87	0,67	0,8
Mca	0,7	0,67	0,87	0,67	0,8
Promedio	**0,728**	**0,7754**	**0,9066**	**0,6694**	**0,7326**
Playas asociadas a acantilados					
Cet	0,64	0,8	0,93	0,6	0,6
Mat	0,6	0,73	0,93	0,4	0,6
Hit	0,533	0,667	0,667	0,53	0,6
Cat	0,5	0,4	0,733	0,2	0,733
Alt	0,5	0,8	0,667	0,3	0,667
Promedio	**0,5546**	**0,6794**	**0,7854**	**0,406**	**0,64**

Figura 1

Análisis de componentes principales que muestra una separación evidente entre ambos grupos geomorfológicos de playas



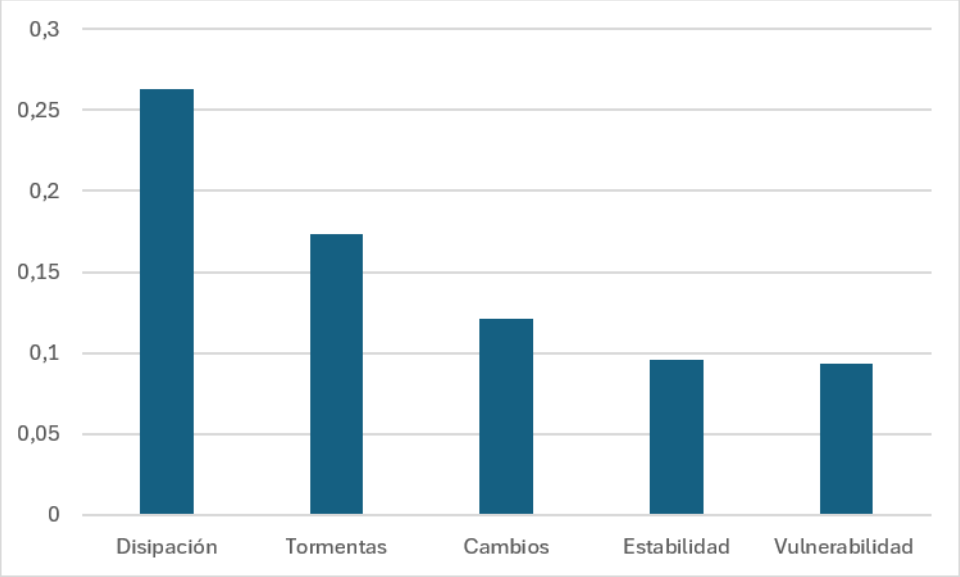
El PCA mostró una estructura claramente dominada por los dos primeros componentes principales PC1 y PC2. El primer componente explicó el 60,81 % de la variabilidad total, mientras que el segundo explicó el 24,42 %, los cuales acumulan conjuntamente el 85,23 % de la información contenida en la matriz. Las mayores cargas del PC1 correspondieron a las variables: disipación del oleaje, respuesta frente a tormentas, cambios inducidos y estabilidad. Esto indica que el primer componente representa un gradiente de resiliencia geomorfológica frente a la erosión. El segundo componente estuvo dominado principalmente por el índice integrado de vulnerabilidad. La representación gráfica mediante el biplot (Figura 1) mostró una segregación evidente: las playas arenosas se concentraron hacia valores positivos del PC1, asociándose con mayores niveles de estabilidad y capacidad de disipación del oleaje. Las playas asociadas a acantilados se ubicaron preferentemente hacia valores negativos del primer componente, indicando una menor resiliencia física frente a procesos erosivos. Las elipses de

confianza del 95 % mostraron escasa superposición entre ambos grupos, evidenciando la existencia de patrones multivariados diferentes.

La diferencia entre grupos está dominada por la variable disipación (Figura 2)

Figura 2

Diferencias en los promedios de las variables entre playas arenosas y de acantilado



4. Discusión

Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis planteada y ponen de manifiesto la importancia de la geomorfología costera como factor controlador de la vulnerabilidad frente a la erosión. La variable con mayor capacidad discriminante fue la disipación del oleaje, lo cual resulta coherente con los principios clásicos de la dinámica litoral, respaldados por Grossmann et al. (2026), quienes muestran que la disipación de energía en la zona de rompiente es un mecanismo clave en la evolución del perfil de playa y el transporte de sedimentos. En playas arenosas, la presencia de bermas permite que gran parte de la energía incidente sea absorbida mediante procesos de infiltración, transporte sedimentario y deformación del perfil de playa. Esta capacidad constituye un mecanismo natural de amortiguación frente a tormentas y favorece la recuperación morfológica posterior. Por el contrario, en las playas desarrolladas al pie de acantilados la ausencia de reservas sedimentarias reduce considerablemente dicha capacidad de amortiguación. El oleaje impacta directamente sobre el frente rocoso y parte de su energía es reflejada, generando

turbulencias que incrementan la erosión basal y aceleran el retroceso del acantilado. La hipótesis de una mayor vulnerabilidad de las playas de acantilado sigue lo discutido por Pang et al. (2023), quienes destacan la interacción entre oleaje, disponibilidad sedimentaria y morfología costera como determinantes de la erosión.

La clara separación observada en el PCA indica que estos procesos físicos se reflejan en los indicadores del Ranking de Playas (de Oliveira et al., 2024), permitiendo discriminar ambos tipos de playas mediante técnicas estadísticas multivariadas. Esta segregación puede discutirse a la luz del gradiente morfodinámico propuesto por Castelle y Masselink (2022), donde la disipación del oleaje y la disponibilidad de sedimentos controlan el comportamiento de las playas.

No obstante, el PCA también mostró cierta proximidad de algunas playas de acantilado como Centinela del Mar (Figura 3) al grupo de playas arenosas. Esta situación probablemente responda a condiciones locales tales como la presencia de pequeñas playas de bolsillo, plataformas de abrasión, orientación respecto del oleaje dominante o aportes sedimentarios ocasionales. También al hecho de que se trata de una playa rural poco visitada en un área de reserva de conservación provincial donde está totalmente prohibido circular con cualquier tipo de vehículo sobre la playa. Estos resultados sugieren que la vulnerabilidad costera no depende exclusivamente de la existencia de un acantilado, sino de la interacción entre múltiples otros factores.

Figura 3

Centinela del Mar



Asimismo, los resultados demuestran que el uso de indicadores multidimensionales como los incorporados en el Ranking de Playas constituye una herramienta adecuada para sintetizar procesos complejos de vulnerabilidad física y facilitar la comparación entre distintos ambientes costeros. Más allá de las diferencias observadas entre playas arenosas y playas asociadas a acantilados, los resultados obtenidos permiten reflexionar sobre la capacidad analítica de la metodología del Ranking de Playas. Este índice integra múltiples indicadores que representan procesos físicos, ambientales y de gestión, permitiendo sintetizar en una única matriz fenómenos costeros que, de otro modo, deberían analizarse de manera independiente. La clara separación observada en el PCA indica que los indicadores seleccionados por el Ranking capturan un patrón ecológico y geomorfológico consistente. En particular, la diferenciación entre playas arenosas y playas de acantilado no fue producto de una única variable, sino del comportamiento conjunto de indicadores relacionados con la respuesta frente a tormentas, la estabilidad morfodinámica, los cambios en el perfil de playa y la capacidad de disipación del oleaje. Esto demuestra que la estructura multidimensional del índice conserva información relevante sobre el funcionamiento físico de los sistemas costeros.

El hecho de que un análisis exploratorio (PCA) identifique un gradiente principal asociado a la resiliencia geomorfológica entre ambos tipos de playas constituye una evidencia independiente de que los indicadores incluidos en el Ranking poseen capacidad discriminante. En otras palabras, la metodología no solo permite ordenar playas mediante una puntuación integrada, sino que también conserva suficiente información para detectar patrones ecológicos y geomorfológicos mediante técnicas estadísticas multivariadas.

5. Conclusiones

La capacidad de disipación del oleaje emergió como el principal factor responsable de la diferenciación entre ambos tipos de playa, apoyando la hipótesis de que la presencia de bermas arenosas incrementa la resiliencia frente a la erosión costera. En consecuencia, las playas asociadas a acantilados presentan una mayor susceptibilidad geomorfológica frente a procesos erosivos, lo que debería ser considerado prioritariamente en programas de manejo costero, planificación territorial y adaptación al cambio climático. Desde el punto de vista de la gestión costera, los resultados indican que las playas asociadas a acantilados requieren estrategias específicas de conservación orientadas a minimizar las intervenciones que alteren el transporte sedimentario y a preservar los procesos naturales de disipación de energía.

Los resultados respaldan el empleo del Ranking como una herramienta de apoyo para la evaluación comparativa de playas y para la identificación de factores que condicionan su vulnerabilidad. Representan, además una validación funcional de la metodología del Ranking para el conjunto de playas analizado,

aunque futuras aplicaciones sobre un número mayor de playas y en distintas regiones permitirán evaluar con mayor profundidad la generalidad de este enfoque.

6. Referencias

Castelle, B., & Masselink, G. (2022). Morphodynamics of wave-dominated beaches. *Cambridge Prisms: Coastal Futures.* 2023;1:e1. 10.1017/cft.2022.2

de Oliveira, E. B., Newton, A., & Botero, C. M. (2024). Development of a management-based ranking of beaches. *Anthropocene Coasts*, *7*, 6 https://doi.org/10.1007/s44218-024-00040-2

de Oliveira, E. B., & Botero, C. M. (2025). *Reporte de evaluación del Ranking Mejores Playas*. Centro Internacional de Formación en Gestión y Certificación de Playas. https://rankingmejoresplayas.com/

Grossmann, F., Streßer, M., Raubenheimer, B., & Elgar, S. (2026). Radar estimates of surfzone dissipation drive a morphological evolution model. *Geophysical Research Letters, 53*(2), e2025GL119305 https://doi.org/10.1029/2025GL119305.

Pang, T., Wang, X., Nawaz, R. A., Keefe, G., & Adekanmbi T. (2023). Coastal erosion and climate change: A review on coastal-change process and modeling. *Ambio*, *52*, 2034-2052 https://doi.org/10.1007/s13280-023-01901-9

Sherwood, C. R., van Dongeren, A., Doyle, J., Hegermiller, C., Hsu, T. J., Kalra, T., Olabarrieta, M., Penko, A., Rafati, Y., Roelvink, D., van der Lugt, M., Veeramony, J., & Warner, J. C. (2022). Modeling the morphodynamics of coastal responses to extreme events: What shape are we in? *Annual Review of Marine Science*, *14*, 457-492. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032221-090215