

Briceño-de-Urbaneja, I.; Pérez-Martínez, W.; Valenzuela-Jara, J.; Diaz-Qujada, I. Morfodinámica en la desembocadura del río Mataquito, Chile: un estudio de caso basado en imágenes satelitales y eventos extremos

# Morfodinámica en la desembocadura del río Mataquito, Chile: un estudio de caso basado en imágenes satelitales y eventos extremos

Briceño-de-Urbaneja, Idania <sup>1,2</sup> Pérez-Martínez, Waldo <sup>1,2</sup> Valenzuela-Jara, Joaquin <sup>1</sup>  
Diaz-Qujada, Isidora <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Mayor, Chile

<sup>2</sup> Universitat Politècnica de València, España

ORCID: Briceño-de-Urbaneja 0000-0002-1722-636X Pérez-Martínez 0000-0002-3670-6190

Correspondencia: [idania.briceno@umayor.cl](mailto:idania.briceno@umayor.cl) [waldo.perez@umayor.cl](mailto:waldo.perez@umayor.cl) [Joaquin.Valenzuela@umayor.cl](mailto:Joaquin.Valenzuela@umayor.cl)  
[isidora.Diazq@mayor.cl](mailto:isidora.Diazq@mayor.cl)

## RESUMEN

En la desembocadura del río Mataquito se ha desarrollado una barra costera asociada a la alta disponibilidad de sedimentos producto de la interacción entre el océano y la cuenca hidrográfica. La evolución de esta barra ha estado condicionada por eventos tectónicos e hidrometeorológicos extremos, como el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, sistemas frontales y eventos ENSO de alta intensidad. Aunque la barra presenta ciclos naturales de erosión y reconstrucción, en la última década se ha visto afectada por un aumento de las marejadas y un déficit sedimentario vinculado a la megasequía que afecta a Chile central desde 2010. El objetivo de este estudio es cuantificar las transformaciones morfodinámicas en la desembocadura del río Mataquito entre 1985 y 2024 mediante el análisis de imágenes satelitales Landsat (5 TM, 7 ETM+, 8 y 9 OLI) y Sentinel 2, junto con datos de oleaje provenientes de ERA5 y caudales del río Mataquito. Los resultados muestran un desplazamiento significativo de la barra asociado al terremoto Mw 8,8 de 2010, evento durante el cual esta desapareció temporalmente, evidenciando la capacidad del tsunami para superar la inercia fluvial y favorecer el desarrollo de un canal alargado de ancho variable hacia el norte. Los procesos fluviales, particularmente las avulsiones, explican la erosión costera observada, mientras que los sedimentos se concentran en la llanura de inundación.

**Palabras clave:** Morfodinámica; desembocadura; río Mataquito; ENSO Niño Niña; terremoto-tsunami.



Fecha de recepción: 22 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 22 febrero 2026

# Morfodinámica en la desembocadura del río Mataquito, Chile: un estudio de caso basado en imágenes satelitales y eventos extremos

Briceño-de-Urbaneja, Idania <sup>(1,2)</sup>, Pérez-Martínez, Waldo <sup>(1,2)</sup>, Valenzuela-Jara, Joaquín <sup>(1)</sup>, Díaz-Qujada, Isidora <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad Mayor, Chile.

<sup>(2)</sup> Universitat Politècnica de València, España.

 0000-0002-1722-636X, idania.briceno@umayor.cl ;  0000-0002-3670-6190, waldo.perez@umayor.cl  
joaquin.valenzuela@umayor.cl ; isidora.diazq@mayor.cl

**Resumen:** En la desembocadura del río Mataquito se ha desarrollado una barra costera asociada a la alta disponibilidad de sedimentos producto de la interacción entre el océano y la cuenca hidrográfica. La evolución de esta barra ha estado condicionada por eventos tectónicos e hidrometeorológicos extremos, como el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, sistemas frontales y eventos ENSO de alta intensidad. Aunque la barra presenta ciclos naturales de erosión y reconstrucción, en la última década se ha visto afectada por un aumento de las marejadas y un déficit sedimentario vinculado a la megasequía que afecta a Chile central desde 2010. El objetivo de este estudio es cuantificar las transformaciones morfodinámicas en la desembocadura del río Mataquito entre 1985 y 2024 mediante el análisis de imágenes satelitales Landsat (5 TM, 7 ETM+, 8 y 9 OLI) y Sentinel-2, junto con datos de oleaje provenientes de ERA5 y caudales del río Mataquito. Los resultados muestran un desplazamiento significativo de la barra asociado al terremoto Mw 8,8 de 2010, evento durante el cual esta desapareció temporalmente, evidenciando la capacidad del tsunami para superar la inercia fluvial y favorecer el desarrollo de un canal alargado de ancho variable hacia el norte. Los procesos fluviales, particularmente las avulsiones, explican la erosión costera observada, mientras que los sedimentos se concentran en la llanura de inundación.

**Palabras clave:** Morfodinámica; desembocadura; río Mataquito; ENSO Niño-Niña; terremoto-tsunami.

## ***Morphodynamics at the mouth of Mataquito River, Chile: a case study based on satellite imagery and extreme events***

**Abstract:** *The mouth of the Mataquito River, a coastal sandbar, has developed because of the high availability of sediments produced by the interaction between the ocean and the watershed. The evolution of this sandbar has been conditioned by extreme tectonic and hydrometeorological events, such as the earthquake and tsunami of February 27, 2010, frontal systems, and high-intensity ENSO events. Although the sandbar undergoes natural cycles of erosion and reconstruction, over the past decade it has been affected by increased storm surges and a sediment deficit linked to the megadrought affecting central Chile since 2010. The objective of this study is to quantify morphodynamic transformations at the Mataquito River mouth between 1985 and 2024 through the analysis of satellite imagery from Landsat (5 TM, 7 ETM+, 8 and 9 OLI) and Sentinel-2, together with wave data from ERA5 and discharge data from the Mataquito River. The results show a significant displacement of the sandbar associated with the 2010 Mw 8.8 earthquake, during which the sandbar temporarily disappeared, demonstrating the capacity of the tsunami to overcome fluvial inertia and promote the development of an elongated channel with variable width toward the north. Fluvial processes, particularly avulsions, account for the observed coastal erosion, while sediments are preferentially deposited on the floodplain*

**Keywords:** *Morphodynamics; river mouth; Mataquito River; ENSO El Niño–La Niña; earthquake–tsunami.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las desembocaduras de ríos constituyen sistemas clave para analizar la interacción entre procesos fluviales y marinos, en los cuales el oleaje, las mareas y el forzamiento atmosférico controlan la

redistribución sedimentaria y la estabilidad geomorfológica del sistema (Fagherazzi *et al.*, 2015; Orchard *et al.*, 2025). La morfodinámica de estos ambientes está dominada por procesos de acumulación y redistribución de sedimentos, que

influyen en la migración del canal, el desarrollo de barras arenosas y los procesos de avulsión fluvial (Edmonds *et al.*, 2022). No obstante, esta dinámica puede verse abruptamente modificada por eventos extremos, como fases ENSO, tormentas y terremotos generadores de tsunamis, los cuales inducen cambios significativos en la configuración de las barras costeras (Vos & Harley, 2021).

En el caso de la desembocadura del río Mataquito, estudios previos han documentado alteraciones morfológicas relevantes asociadas a la persistencia de marejadas, a la variabilidad climática y, de forma particularmente significativa, al terremoto y tsunami de 2010, que provocó una subsidencia cosísmica cercana a  $-0,5$  m y la movilización de grandes volúmenes de arena, conduciendo a la desaparición casi total de la barra arenosa (Cienfuegos *et al.*, 2014; Lario *et al.*, 2016). Asimismo, se ha demostrado que la influencia del ENSO incrementa la variabilidad de los caudales, amplificando los picos de crecida y favoreciendo procesos erosivos en las desembocaduras fluviales (Araya Ojeda & Isla, 2016), lo que resalta el rol de la variabilidad climática en la evolución morfodinámica de estos sistemas (Garreaud & Rutland, 2006).

A pesar de estos avances, persisten vacíos en la comprensión de cómo las barras responden espacial y temporalmente a la superposición de forzantes marinos, fluviales y eventos extremos, particularmente en escalas multidecadales.

El objetivo de este estudio es analizar la evolución morfológica de la barra arenosa del río Mataquito considerando el efecto de eventos perturbadores de distinta naturaleza, mediante un análisis multitemporal basado en imágenes satelitales ópticas Landsat 5 TM, 8 y 9 OLI y Sentinel-2.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la comuna de Licantén, en la Región del Maule, Chile. La cuenca del río Mataquito posee una superficie aproximada de  $6.200$  km<sup>2</sup> y se divide en dos subcuencas, correspondientes a los ríos Teno y Lontué, que confluyen para dar origen al río Mataquito. La desembocadura del río se orienta hacia el norte, desarrollándose a lo largo de un tramo de costa rectilíneo con dirección sur-norte (Figura 1). Al sur se encuentra enmarcada por los extensos campos de dunas La Trinchera y Putú, mientras que hacia el norte se emplaza el asentamiento de La Pesca (Cienfuegos *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Imagen izquierda, Ubicación del área de estudio; Imagen derecha, Ubicación relativa internacional.

El clima de la cuenca se caracteriza como templado mediterráneo, con veranos cálidos y secos, y precipitaciones concentradas principalmente durante el invierno. La temperatura media anual es de  $19$  °C; las temperaturas máximas estivales alcanzan los  $30$  °C, mientras que las mínimas invernales se sitúan en torno a los  $7$  °C. La precipitación anual varía entre  $800$  y  $1.000$  mm, dependiendo de la localización dentro de la cuenca, lo que influye directamente en los recursos hídricos regionales y en el entorno ecológico local (DGA, 2020).

### 2.2. Metodología

#### 2.2.1 Adquisición de datos

Se utilizaron un total de 120 imágenes satelitales obtenidas de Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, Landsat 9 y Sentinel-2, corregidas en reflectancia de superficie L2 para la constelación Landsat y L2A (BOA) para las imágenes Sentinel-2. El análisis examina las variaciones de la barra antes y después de eventos extremos, tales como episodios ENSO (fases fuertes de El Niño y La Niña), terremotos seguidos de tsunamis y sistemas frontales, empleando el Índice de Diferencia Normalizada Modificado del Agua (MNDWI), el cual permite una separación más precisa de las superficies de agua (Ecuación 1). El procesamiento del índice se aplicó en la plataforma de Google Earth Engine (GEE).

$$MNDWI = \frac{Green - Swir1}{Green + Swir1} \quad (1)$$

Donde: Green y Swir1 son las imágenes en reflectancia de superficie de las bandas verde e infrarrojo de onda corta 1.

#### 2.2.2 Clima del oleaje y datos de caudales

Se utilizaron datos del conjunto de reanálisis climático global “ERA5” del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), disponible desde la década de 1980 (Hersbach *et*

al., 2020). Se emplearon variables de media mensual de altura significativa de ola, período de ola y dirección del oleaje, precipitación media mensual, debido a que no se dispone de mediciones instrumentales continuas y a que solo existe un acceso limitado a datos observacionales de libre disponibilidad. Los datos de caudales en m<sup>3</sup>-segundo se descargaron de la estación fluviométrica Mataquito en Licantén, DGA 07123001; <https://dga.mop.gob.cl>, desde 1987 hasta 2025, disponibles en el área de estudio.

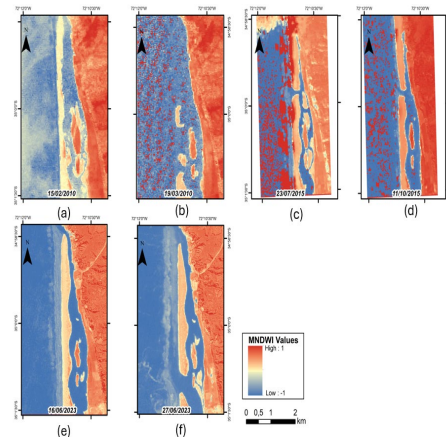
### 2.2.3 Morfodinámica de la barra

La caracterización morfodinámica se asocia tanto a condiciones hidrológicas persistentes como a eventos extremos. Asimismo, se examinan los procesos de transporte y redistribución de los sedimentos superficiales, considerando la influencia de las corrientes marinas y la direccionalidad predominante del oleaje desde el suroeste. Adicionalmente, se evalúa el efecto de la variabilidad climática, en particular del ENSO a través del índice ONI, sobre los cambios en el caudal fluvial y las modificaciones en la configuración de la desembocadura. Finalmente, se incorpora el rol de la tectónica mediante el análisis de la subsidencia cosísmica y la deformación del fondo marino asociadas a eventos sísmicos, y su impacto en la evolución morfodinámica del sistema.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Evolución espacio temporal de la barra

A partir del índice MNDWI se caracterizó la evolución espacio-temporal de la barra arenosa en la desembocadura del río Mataquito durante un período de 40 años, evidenciando desplazamientos del canal que secciona la barra y una marcada variabilidad longitudinal. Los resultados muestran una dinámica sedimentaria diferenciada, con predominio de procesos erosivos en el sector proximal y acreción lateral en el sector distal. Asimismo, se reconocen fases de recuperación y zonas de acumulación vinculadas a fuentes y sumideros sedimentarios asociados a los campos dunares de La Trinchera y Putú, revelando la compleja interacción entre los procesos fluviales y marinos y la presencia de barras internas, coherentes con patrones observados en otros estuarios (Cienfuegos *et al.*, 2014).

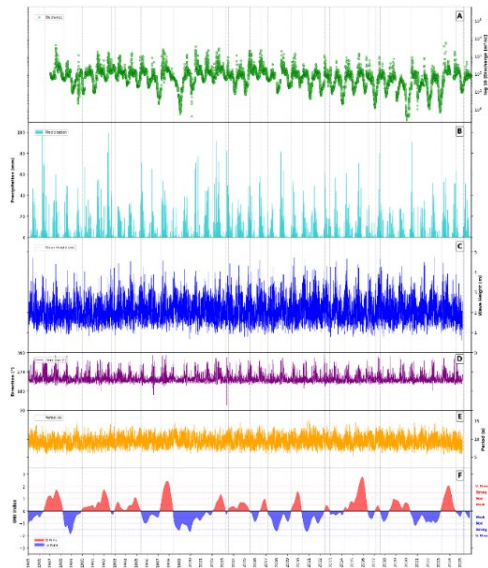


**Figura 2.** Ejemplo de cambios en la desembocadura del río antes y después de un evento extremo. (a) Antes del terremoto; (b) Después del terremoto; (c) Antes del evento meteorológico asociado al ENSO El Niño; (d) después del ENSO; (e) Antes del sistema frontal; (f) Después del sistema frontal.

### 3.2 Clima del oleaje y variaciones de caudal

Los cambios morfológicos cuantificados en la barra arenosa del río Mataquito pueden interpretarse a partir de la interacción entre los forzantes marinos y fluviales. El régimen de oleaje predominante desde el suroeste, con alturas significativas medias cercanas a 1,9 m y una potencia aproximada de 18,5 W/m, se asocia a procesos de remoción y redistribución lateral del sedimento, coherentes con el predominio de fases erosivas identificadas en el sector proximal de la barra. Estos procesos se intensifican durante intervalos caracterizados por oleaje más energético y persistente, en los que el forzante marino adquiere una mayor influencia sobre la morfodinámica del sistema, favoreciendo el desplazamiento del canal y reduciendo la estabilidad lateral de la barra, tal como se ha documentado en otros sistemas estuarinos dominados por oleaje (Aguirre *et al.*, 2017).

En contraste, las fases de acreción lateral, principalmente en el sector distal de la barra, se presentan de manera coincidente con períodos de mayor descarga fluvial, asociados a una mayor disponibilidad de sedimentos en la zona de desembocadura. Sin embargo, la disminución sostenida de los caudales del río Mataquito en las últimas décadas sugiere una reducción progresiva del aporte sedimentario, lo que se traduce en una menor recurrencia de fases de reconstrucción de la barra y en una evolución del sistema hacia configuraciones morfodinámicas dominadas por procesos marinos, en concordancia con el aumento de las marejadas y el déficit sedimentario vinculado a la megasequía en Chile central (Figura 3).



**Figura 3.** (a) Variación del caudal del Río Mataquito 1987-2025; (b) Precipitación promedio mensual; (c) Altura significativa de la ola; (d) dirección del oleaje en °; (e) periodo en segundos; (f) índice ONI

#### 4. CONCLUSIÓN

El monitoreo multitemporal de la barra arenosa de la desembocadura del río Mataquito mediante técnicas de teledetección, y en particular a través del índice MNDWI, ha permitido evidenciar de manera robusta la respuesta morfodinámica espacialmente diferenciada del sistema frente a eventos extremos de diversa naturaleza. Los resultados muestran que los procesos erosivos y el desplazamiento del canal se intensifican principalmente en el sector proximal, mientras que el sector distal presenta una mayor capacidad de reconstrucción lateral. Esta dinámica se explica por la conectividad sedimentaria con los campos dunares adyacentes, que actúan como fuentes y sumideros dinámicos de sedimento, contribuyendo a la amortiguación de perturbaciones asociadas a marejadas, eventos ENSO y disturbios cosísmicos. En conjunto, estos hallazgos destacan la importancia del monitoreo sistemático de barras arenosas para comprender los mecanismos de resiliencia morfodinámica de las desembocaduras fluviales frente a escenarios de creciente variabilidad climática y a la superposición de forzantes extremos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Concurso de Investigación Tecnológica IDeA 2023 (ANID, Código Proyecto IT2310069).

#### 6. REFERENCIAS

Aguirre, C., Rutllant, J. A., & Falvey, M. (2017). Wind waves climatology of the Southeast Pacific Ocean.

*International Journal of Climatology*, 37(12), 4288–4301. <https://doi.org/10.1002/joc.5084>

Araya Ojeda, M., & Isla, F. I. (2016). Variabilidad hidrológica en la región del Biobío: los eventos El Niño en zonas templadas de Chile. In *Rev. Univ. geogr* (Vol. 25 no.1). ISSN 1852-4265

Cienfuegos, R., Villagran, M., Aguilera, J. C., Catalán, P., Castelle, B., & Almar, R. (2014). Video monitoring and field measurements of a rapidly evolving coastal system: The river mouth and sand spit of the Mataquito River in Chile. *Journal of Coastal Research*, 70, 639–644. <https://doi.org/10.2112/SI70-108.1>

DGA. (2020). *Boletines hidrológicos y pronóstico anuales. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas.*

Edmonds, D. A., Chadwick, A. J., Lamb, M. P., Lorenzo-Trueba, J., Murray, A. B., Nardin, W., Salter, G., & Shaw, J. B. (2022). Morphodynamic Modeling of River-Dominated Deltas: A Review and Future Perspectives. In *Treatise on Geomorphology* (pp. 110–140). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00076-6>

Fagherazzi, S., Edmonds, D. A., Nardin, W., Leonardi, N., Canestrelli, A., Falcini, F., Jerolmack, D. J., Mariotti, G., Rowland, J. C., & Slingerland, R. L. (2015). Dynamics of river mouth deposits. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 53, Number 3, pp. 642–672). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/2014RG000451>

Garreaud, René; Rutland, J. (2006). Variabilidad atmosférica de alta frecuencia en el borde oriental del Anticiclón del Pacífico sureste. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 29(1), 5–13.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., & Schepers, D. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.

Lario, J., Zazo, C., & Goy, J. L. (2016). Tectonic and morphosedimentary features of the 2010 Chile earthquake and tsunami in the Arauco Gulf and Mataquito River (Central Chile). *Geomorphology*, 267, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.019>

Vos, K., & Harley, M. (2021). *Large regional variability in coastal erosion caused by ENSO.* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-666160/v1>