

## Propuesta de estudio de la morfología determinada por el oleaje en playas fluviales.

### “La Concordia” en el río Uruguay, un caso práctico.

#### *Morphology determined by waves in fluvial beaches.*

#### *“La Concordia” in the Uruguay River, a case study.*

J.J. Muñoz-Perez<sup>1</sup>, S. Solari<sup>2</sup>, L. Teixeira<sup>2</sup>, R. Alonso<sup>2</sup> y M.G. Neves<sup>3</sup>

1 Universidad de Cádiz, CASEM, Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real (España); [juanjose.munoz@uca.es](mailto:juanjose.munoz@uca.es)

2 Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la Republica, Montevideo (Uruguay); [luistei@fing.edu.uy](mailto:luistei@fing.edu.uy); [ssolari@fing.edu.uy](mailto:ssolari@fing.edu.uy); [ralonso@fing.edu.uy](mailto:ralonso@fing.edu.uy)

3 Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal); [gneves@lnec.pt](mailto:gneves@lnec.pt)

**Resumen:** Tanto el perfil como la forma en planta de las playas fluviales vienen establecidos por numerosos factores entre los que cabría destacar las características del sedimento y la dirección y módulo de la velocidad de la corriente en el río. Sin embargo, en ciertos casos, lejos incluso de su estuario o desembocadura, esta morfología puede estar determinada principalmente por la incidencia del oleaje pese a no tratarse de un entorno marítimo.

Se presenta aquí una metodología cualitativa que nos permitirá reconocer los aspectos que influyen en la existencia de este tipo de morfologías. Para ello, se estudiará un caso particular, el de la playa de La Concordia ubicada en la margen izquierda del río Uruguay a 70 km de su desembocadura en el estuario del Río de la Plata. Asimismo se analizará la forma en planta y se verificará que la misma está determinada por la acción del oleaje.

**Palabras clave:** playas fluviales, refracción, difracción, oleaje

**Abstract:** *Sediment characteristics and the direction and magnitude of the velocity of the current in the river, amongst other factors, usually established the profile and the plan shape of fluvial beaches. However, in some cases, even far from its estuary or river mouth, this morphology can be determined by the incidence of the waves despite not being a marine environment. In this paper a qualitative methodology will be presented which will allow us to recognize the aspects that influence the existence of such morphologies. For this purpose a case study will be analyzed: the beach of La Concordia located on the left bank of the Uruguay River, 70 km upstream from its mouth at the estuary of Rio de la Plata. Furthermore, plan shape will be analyzed and its determination by wave action will be proved.*

**Key words:** *fluvial beaches, wave refraction-diffraction.*

## INTRODUCCIÓN

Definiremos como playas fluviales aquellas que se encuentran en las riberas de los ríos pero que no son estuarinas (para una revisión de estas últimas ver por ejemplo Jackson et al., 2002). Es decir, aquellas cuya ubicación está lo suficientemente lejos de su desembocadura en la mar como para que no se vean afectadas ni por el oleaje tipo *swell* o mar de fondo ni por una posible carrera de marea. En la bibliografía, los autores no han encontrado demasiadas referencias a esta tipología de playas salvo propaganda turística y algunos temas relacionados con la erosión de las riberas (v.g. Locke, 2013).

El objetivo de este artículo es mostrar que estas playas fluviales pueden, en ciertas ocasiones, ver su morfología determinada por el oleaje. Asimismo, se comentan algunos criterios para identificar las

circunstancias que permiten esta influencia, así como algunas posibles metodologías de estudio y su aplicación parcial al caso particular de la playa de “La Concordia” en el río Uruguay.

## ÁREA DE ESTUDIO

El río Uruguay tiene una longitud aproximada de unos 1800 km, con una superficie de cuenca de unos 370.000 km<sup>2</sup>, un caudal medio de 4600 m<sup>3</sup>/s y un máximo de 37700 m<sup>3</sup>/s registrado en 1992. Su pendiente cerca de la zona de estudio es de unos 3-4 cm/km.

La playa de “La Concordia” se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Uruguay, a unos 70 km río arriba de su desembocadura en el estuario del Río de la Plata (Fig. 1). El perfil de la playa es sumamente tendido y esa especie de planicie es aprovechada ininterrumpidamente como solárium por los turistas al

ser el efecto de la marea casi despreciable (Fig. 2). La arena tiene una granulometría de entre 0,15 y 0,20 mm, similar a la de otras playas de la zona como la de Conchillas, justo en la desembocadura del Uruguay, en el estuario del Río de la Plata.



FIGURA 1. Ubicación de la playa "La Concordia" en la margen izquierda del río Uruguay, a 70 Km del estuario del Río de la Plata. Se aprecian los Fetch de Poniente y SSW de 9 y 27 Km respectivamente.



FIGURA 2. Turistas aprovechando la escasa pendiente del perfil inferior de la playa. Se aprecia la curva de la costa inducida por la difracción del espigón ubicado al fondo.

## METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el estudio de este tipo de playas fluviales se basa en la utilizada de manera general para las playas abiertas, adaptándola de manera sencilla a las características de las riberas de río. Cabría destacar entre estas características: la ausencia de marea, la velocidad elevada en ocasiones de una corriente casi unidireccional, la inferior altura de ola, la elevación estacional del nivel de agua en época de lluvias y, finalmente, una pendiente suave del

perfil cerca de la orilla que aumenta de manera brusca al llegar al cauce del río.

En primer lugar, para un estudio cualitativo y generalista, sin apenas gastos, se realiza una búsqueda histórica de documentación que incluirá planos y fotos aéreas que nos permitan observar la evolución (acreción o erosión) de la línea de costa con el tiempo, de la morfología en planta de las playas e incluso de la dirección de los frentes de ola y la distancia entre ellos o longitud de onda.

Posteriormente, cuando se disponga de presupuesto, se programan diferentes campañas de seguimiento:

- Batimetrías semestrales (antes y después de la temporada de lluvias) durante al menos dos años y luego anualmente

- Topografías de periodicidad mensual durante un año y después coincidiendo en tiempo con las batimetrías. Para solaparlas con las batimetrías, se realizarán hasta la cota -1.0 con respecto al nivel mínimo de referencia para incluir parte de la playa sumergida y, de ese modo, comprobar y corregir posibles errores (ver Muñoz-Perez et al., 2001a). Para establecer la distancia mínima entre perfiles que garantice el mínimo coste pero sin pérdida de información, puede utilizarse el criterio desarrollado por Muñoz-Perez et al. (2012).

- Granulometrías con la misma periodicidad que las topografías. Para decidir cómo y dónde tomar las muestras, y la metodología a seguir durante el tamizado (número y tamaño de tamices, tiempo de secado y cribado, etc.) ver Roman-Sierra et al. (2013).

- Establecer así distintas series temporales de datos que permitan utilizar métodos estadísticos de análisis (como las EOF's, ver v.g. Muñoz-Perez, 2001b) para detectar las causas que determinan su máxima varianza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dada la escasa extensión permitida de este artículo, presentaremos únicamente dos fotos aéreas tomadas de la base de Google Earth. La Fig. 3 muestra la zona en estudio en 2003 mientras que la Fig. 4 es de 2012.



FIGURA 3. Margen izquierda del río Uruguay, zona de La Concordia, donde se aprecian 3 playas con forma de espiral encajadas entre 4 espigones así como frentes de onda procedentes de poniente.

En la foto, debido a la turbidez, no se pueden distinguir fondos de diferente profundidad por el cambio de color. Sin embargo, sí pueden apreciarse esos cambios en la profundidad gracias a los frentes de onda identificados con las líneas blancas. La mayor cercanía entre los mismos indica una menor longitud de onda inducida por el incremento de rozamiento debido a la disminución de la profundidad. Midiendo esa distancia entre frentes y aplicando sencillas fórmulas del modelo de onda de Airy, podemos establecer tanto el periodo de la ola como la profundidad. Por otra parte, mediante métodos de predicción de oleaje, podemos estimar la altura de ola en función de la velocidad y dirección del viento, del *Fetch* (entre 9 y 27 km), y de la duración de la tormenta.

En la Fig. 4 sí que se aprecian las distintas tonalidades de azul (más oscuro cuanto más profundo).



FIGURA 4. Ídem que la Fig. 3 pero en 2012. El cambio de color azul claro al oscuro coincide con la transición de la pendiente suave de la orilla al cauce. Se aprecian también los frentes de onda provenientes del sur y el cambio de dirección por refracción.

En la foto de 2012, con menos turbidez, el cambio de color nos permite distinguir la línea de transición brusca de la playa sumergida cerca de la orilla (pendiente suave) a la profundidad mayor del cauce. Por otra parte, también se nota el fenómeno de la refracción del oleaje, el cambio de dirección de los frentes de onda debido a ese cambio de profundidad. Y cómo la orilla se pone paralela a esos frentes de onda refractados mediante el transporte longitudinal de sedimento inducido por la incidencia oblicua del oleaje.

En la Fig. 5, una carta náutica, puede comprobarse como las isobatas del río se ajustan a lo que hemos deducido de la observación de la dirección del oleaje: la suave pendiente de la playa sumergida hasta la cota -1.0 y la rápida transición hasta los 6-8 m del cauce.

Tanto en la Fig. 3 como en la Fig. 4, se identifican 3 playas encajadas entre 4 espigones con forma de espiral o *half-heart*. Se observa una nueva variación de la dirección del oleaje, una curvatura producida por la difracción en el morro de cada dique. Aplicando la

formulación de Gonzalez (1995), se ha comprobado su validez también para playas fluviales.

Puesto que la carrera de marea es inapreciable y no hay grandes variaciones del nivel del río fuera de la época de lluvias, la comparación entre fotografías aéreas para estimar el retroceso y/o avance de la línea de costa es relativamente sencilla, presentándose los resultados en una comunicación posterior.

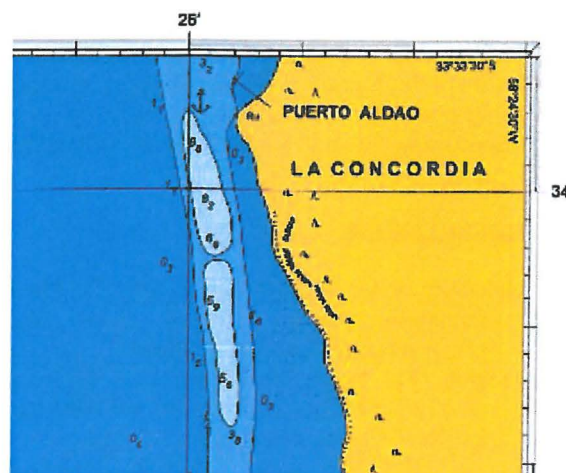


FIGURA 5. Carta náutica de la zona donde se aprecia la suave pendiente de la playa sumergida hasta la isobata 1.0 y la brusca variación de la profundidad hasta los 6-9 metros del cauce.

Finalmente, al no haberse comenzado todavía el seguimiento de estas playas, no se dispone de datos de campo y el análisis de la variabilidad de sus series temporales debe postergarse por algún tiempo. Entre los resultados interesantes que se prevé averiguar, cabe destacar la hipotética influencia de la corriente fluvial y del ascenso del nivel del río durante las avenidas tanto en la forma en planta como en el perfil de la playa y la granulometría. La obtención de esos datos permitirá la comparación de los perfiles de playa fluvial con los de estuario y mar abierto.

## CONCLUSIONES

Se han presentado unos ejemplos de playas fluviales, ubicadas lejos del estuario, cuya morfología viene determinada por el oleaje generado localmente pese a tratarse de unos *Fetch* relativamente pequeños (de entre 9 a 27 km).

La metodología presentada, a base de la interpretación de frentes de onda en fotos aéreas, permite no sólo una evaluación cualitativa y general de la morfología de estas playas sino una estimación de los principales parámetros del oleaje generador mediante el uso de sencillas formulaciones físico-matemáticas. Se ha demostrado por tanto, al menos para el caso de la playa "la Concordia" que es perfectamente fiable la aplicación de algunos de los

métodos de la ingeniería de costas a las playas fluviales alejadas de las desembocaduras.

Es imprescindible la realización de campañas de campo realizadas periódicamente que permitan la validación de otras metodologías así como la comparación entre los comportamientos de las playas fluviales con las estuarinas y las de mar abierto.

#### AGRADECIMIENTOS

Juan José Muñoz agradece a la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado y al Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental por financiar su viaje y estancia respectivamente en la Universidad de la República de Uruguay.

#### REFERENCIAS

- González, E.M. (1995): Morfología de Playas en Equilibrio: Planta y Perfil. *Tesis Doctoral*, Universidad de Cantabria. Santander.
- Jackson, N.L., Nordstrom, K.F., Eliot I. y Masselink G., (2002): Low energy marine and estuarine beaches: a review. *Geomorphology*, 48, 147-162.
- Locke, D.B. (2013): Sandy River Bank Erosion, Avon, Maine (USA) – 2nd Update. En: Maine Geological Survey, Department of Agriculture (April report), 7p.
- Muñoz-Perez, J.J., Medina, R. y Tejedor B. (2001a): Evolution of longshore beach contour lines determined by E.O.F. method. *Scientia Marina*, 65 (4), 393-402
- Muñoz-Perez, J.J., Medina, R. y Tejedor L. (2001b): Las funciones empíricas ortogonales y los cambios en el perfil de playa a corto, medio y largo plazo. *Física de la Tierra*, 139-166
- Muñoz-Perez, J.J., Payo A., Roman-Sierra J., Navarro, M. y Moreno L. (2012): Optimization of beach profile spacing: an applicable tool for coastal monitoring. *Scientia Marina*, 76(4), 791-798
- Roman-Sierra J., Muñoz-Perez J.J. y Navarro-Pons M. (2013): Influence of sieving time on the efficiency and accuracy of grain-size analysis of beach and dune sands. *Sedimentology*, 60(6), 1357-1558
- Teixeira L., Piedra-Cueva I. y Solari S. (2012): The influence of fluvial and maritime processes in shaping the eastern coast of the upper Río de la Plata estuary. En: *River Flow 2012*, San José, Costa Rica, 8p
- Teixeira L. y Solari S. (2013): Estudio de la evolución de las playas Municipal y de Prefectura en Conchillas. Informe, 18p.