



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



25
al
27
2019
Montevideo

II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA
AUGM



Mediciones durante una apertura artificial de la Laguna de Rocha

Manuel Teixeira ^a, Sebastián Solari ^a

^a *Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, UdelAR, Uruguay.*
mteixeira@fing.edu.uy, ssolari@fing.edu.uy

RESUMEN: Se presenta la campaña de medición y los resultados obtenidos durante una apertura artificial de la barra de la Laguna de Rocha. Se incluye un análisis de la evolución del ancho del canal de desembocadura así como resultados de velocidad de agua en el canal. La apertura artificial de la Laguna de Rocha es una práctica común (e.g., para evitar inundaciones y mejorar la pesca en la laguna). Si bien existe un protocolo que regula cuándo abrir la laguna es necesario lograr un mejor entendimiento de la dinámica de la desembocadura, pudiendo cuantificar los procesos físicos involucrados. Hasta el momento de esta campaña no se contaba con ningún set de datos que cuantificara los flujos ni la evolución morfológica del canal. Las mediciones permitieron por primera vez medir corrientes en una apertura y cuantificar los tiempos de duración de una apertura artificial en la Laguna de Rocha. El conocimiento adquirido permitirá poder diseñar futuras campañas con mayor precisión y por lo tanto lograr un registro más completo de una futura apertura, obteniendo datos para la calibración y validación de modelos numéricos de la apertura.

PALABRAS CLAVE: Geomorfología, Ecología, Lagunas costeras, Apertura de barras de arena, Medición de flujo superficial, LSPIV.

1 INTRODUCCIÓN

La Laguna de Rocha está ubicada en la costa atlántica de Uruguay, en el este del país (34° 38' S, 54° 17' W). Es parte de una serie de lagunas salobres caracterizadas por presentar una conexión intermitente con el Océano Atlántico, a través de una barra de arena, la cual se abre por causas naturales o por intervención humana. La Laguna de Rocha ha sido declarada como área natural protegida debido a su alta biodiversidad y alta productividad biológica. Fue declarada también Reserva de la Biósfera por MaB-UNESCO y ha sido incluida como sitio Ramsar.

La Laguna de Rocha, por su conexión intermitente con el océano puede ser clasificada como Laguna Costera con Apertura y Cierre Intermitente (ICOLL por sus siglas en inglés). Esta es la denominación más utilizada internacionalmente para este tipo de cuerpos de agua (McSweeney, 2017). La dinámica de la boca de la laguna y en particular el proceso de apertura, controlan la interacción del sistema con el océano, y por lo tanto regulan los flujos de agua, sustancias y organismos.

Es una práctica usual en este tipo de lagunas la apertura artificial de las mismas, con el objetivo de disminuir el nivel de agua en la laguna ante eventos de inundaciones, así como para mejorar la pesca, eliminar blooms de algas y mejorar la calidad del agua de la laguna. En algunos casos la apertura artificial ha tenido efectos imprevistos y negativos en la calidad del agua y en las especies que viven en la laguna (Conde et. al. 2019). Si bien existe para la Laguna de Rocha un protocolo que regula las condiciones necesarias para permitir la apertura, es deseable lograr un mejor entendimiento de la dinámica de la desembocadura, pudiendo cuantificar los procesos físicos involucrados. En particular interesa conocer los intercambios entre la laguna y el océano,

para lo que hay que saber cómo y cuándo se abre la boca y cómo evoluciona en el tiempo. Entender la apertura es importante para el desarrollo de modelos numéricos que permitan entender el funcionamiento general de la laguna, necesarios para una adecuada gestión ambiental.

El proceso de apertura de la barra ha sido descrito y modelado por varios autores (Gordon, 1990; Strech y Parkinson 2006; Tuan et al. 2008; Wainwright y Baldock, 2015). La apertura artificial comienza con la excavación de un pequeño canal en la barra que conecta a la laguna con el océano (en las aperturas naturales este canal se forma naturalmente por la erosión que produce el agua que empieza a pasar por encima de la barra debido al aumento del nivel de la laguna). Debido a la gran pendiente que existe en este canal inicial se producen grandes velocidades en el agua que fluye a través del mismo, lo que a su vez ocasiona una fuerte erosión en el canal. La erosión continúa hasta que el canal alcanza una forma final estable (en una escala de tiempo de 12 horas a días), en donde el sentido del flujo es tanto hacia el interior de la laguna como hacia el océano. En esta etapa el flujo en el canal está influenciado por la marea.

Conocer la evolución de la forma y dimensiones del canal, y en particular su forma final luego del proceso de apertura es de relevancia para cuantificar el tiempo que demora la laguna en reducir su nivel de agua (esto es de importancia cuando la apertura se produce para reducir la inundación en la zona). Poder predecir la forma final del canal en función de los forzantes externos permite evaluar también si las condiciones existentes previas a la apertura garantizarán una forma final estable, maximizando de esta forma el tiempo en que la laguna permanecerá abierta y conectada al océano.

Si bien son varios los autores que han descrito el proceso de apertura, son escasas los set de datos disponibles. En la Laguna de Rocha no existía hasta el momento mediciones de caudales ni velocidades en la apertura, ni cuantificación de la evolución del ancho, por lo que esta campaña representa el primer conjunto de datos para utilizar en modelos numéricos de la apertura como insumo para su calibración.

2 OBJETIVOS

El objetivo general de esta campaña de medición fue registrar y medir por primera vez el proceso de apertura artificial de la Laguna de Rocha. Como objetivos particulares se tuvo la medición de corrientes y caudales en el canal de desembocadura y la medición de la sección transversal del canal durante el proceso.

3 INSTRUMENTACIÓN

Se contó con un dron DJI Mavic Pro para la grabación de videos y fotografías, un GPS diferencial RTK (Leyca) para relevamientos topográficos, un ADCP (RiverRay de Teledyne) para medición de corrientes y una cámara GoPro montada en un mástil para la grabación de videos más extensos. Además para la medición de niveles se utilizó la regla instalada en la zona previamente y referenciada al cero oficial de Uruguay.

Para poder realizar las transectas con el ADCP sin tener que navegar el canal (una vez que la conexión de la laguna con el océano esté abierta) se instaló en la zona donde se abrió el canal un cable de acero unido a dos mástiles dispuestos a ambas márgenes, de forma que el cable atravesara una sección transversal del canal y así ayudar a pasar el ADCP de una margen a la otra.

A partir de videos realizados con dron se obtuvo valores de corrientes utilizando velocimetría de imágenes (PIV) de gran escala. Esta es una técnica no intrusiva en la que se mide la velocidad del flujo a partir de la velocidad de partículas contenidas en el fluido (Raffel et al. 1998). Este



método de medición ha sido usado ampliamente en experimentos de laboratorio pero es usado también a gran escala para determinar la velocidad de flujo en ríos (Patalano et al. 2017, Muste et al. 2010). Para el procesamiento se utilizó el algoritmo PIVlab (Thielicke y Stamhuis 2014) y para la rectificación de las imágenes el software RIVeR (Patalano et al 2017).

4 CRONOLOGÍA Y MEDICIONES

Al momento de la apertura la laguna llevaba más de siete meses cerrada (desde el 25 de diciembre de 2017). El nivel de agua en la laguna había alcanzado la cota +1.56 m referida al cero oficial. Las últimas lluvias habían hecho crecer más de 20 cm el nivel de la laguna en los últimos dos días previos a la apertura. Se decidió abrir la barra el día 11 de julio de 2018, teniendo en cuenta además el pronóstico de viento norte, considerado favorable a que se dé la apertura.

La barra es abierta mediante una máquina retroexcavadora que realiza una pequeña brecha en la barra conectando la laguna con el océano. La arena removida es dispuesta a los costados del canal. La excavación se inicia desde la laguna y la brecha inicial tiene 5 m de ancho en las secciones más próximas a la laguna. En secciones próximas al océano el ancho es de 3 m. La brecha se comienza a las 9:50 horas del día 11 de Julio y se termina de conectar a la laguna con el océano a las 12.17 horas del mismo día.

Durante la conexión de la laguna con el océano y las primera horas de abierto el canal se hicieron 4 vuelos con dron tomando fotos y vídeos. Se midió con ADCP utilizando el sistema de cables metálicos pero debido a la poca profundidad de agua en el canal (30 cm aproximadamente) el ADCP sólo era capaz de medir profundidad del fondo y no velocidad. Por lo que en esta primera etapa del canal no se pudo obtener datos de corrientes mediante ADCP. Se hicieron registros de vídeo con la cámara GoPro.

Las mediciones del primer día terminaron a las 17 horas. El tirante en el canal de desembocadura se mantenía en un nivel que impedía registrar corrientes con el ADCP. Se dejó instalado el sistema de cables de acero del ADCP y el mástil de la cámara GoPro.

Al día siguiente se constató que el ancho del canal había aumentado significativamente. El aumento del canal había ocasionado que la corriente arrastrara el mástil donde se colocaría a la cámara GoPro y también a uno de uno de los mástiles del extremo del sistema de cable de acero para realizar las transectas del ADCP.

Por lo tanto, las mediciones del segundo día consistieron en la toma de fotos y vídeos con el dron y medición con GPS.

5 DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL CANAL

A partir del momento en que se conecta la laguna con el mar comienza a darse un flujo no estacionario en el canal recién formado. Ver figura 1.

Durante el día de apertura se observó la variación del canal hasta las 17 horas. Hasta ese momento se había observado un aumento de 1.1 m en el ancho del canal en una sección próxima a la laguna y un aumento de 3.4 m en una sección próxima al océano. Si bien no se registró en el



Figura 1: a) Se observa el fondo del canal. b) Vista del canal hacia el oceano, se observan resaltos. c) Vista del canal hacia la laguna, se observan resaltos. d) Vista del canal hacia el oceano

primer día datos de corrientes, se observó un aumento en la velocidad del canal. La profundidad y las características supercríticas del flujo antes descritas se mantenían.

Las observaciones continuaron en la mañana del día siguiente. Se constató un gran cambio con respecto a las condiciones del día anterior. El canal había evolucionado pasando de tener un ancho del entorno de los 5 m a tener 100 m de ancho. La abertura se desarrolló hacia la margen izquierda del canal inicial. El flujo se mantenía en la dirección desde la laguna hacia el océano a altas velocidades. Para este momento sí se realizaron mediciones de corriente que se presentan más adelante.

Se volvió a observar el canal de desembocadura el día 16 de julio a las 12:00 horas, a los 6 días de abierta la laguna. Se constató que las dimensiones del canal no habían variado significativamente con respecto al día siguiente a la apertura. En este caso, la corriente en el canal de desembocadura era en sentido contrario a la observada hasta el momento, el flujo iba desde el océano hacia la laguna. Esto parece indicar que el proceso de ensanchamiento del canal había finalizado.

6 RESULTADOS

6.1 Variación del ancho del canal

Se georreferenciaron las fotos aéreas tomadas en los distintos vuelos realizados con dron. A partir de estas fotos se obtuvo la variación de las dimensiones del canal de desembocadura. En la figura 2 se presentan los cuatro valores del ancho de una misma sección en el canal, ubicada aproximadamente en el medio del canal. Se tienen dos valores del día de la apertura, un valor del día siguiente a la apertura y otro a los 6 días de abierta la laguna.

En la figura 3 se presentan algunas de las fotos aéreas georreferenciadas a partir de las cuales se obtuvo los valores de ancho del canal.

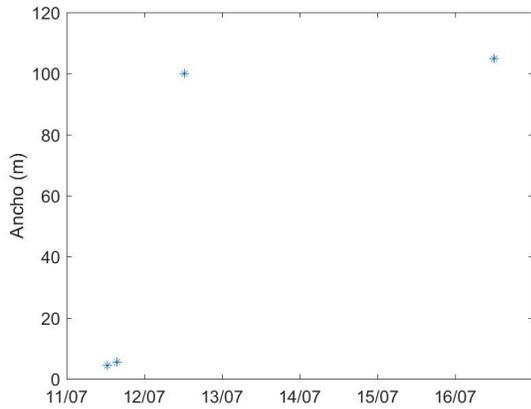


Figura 2: Variación del ancho del canal

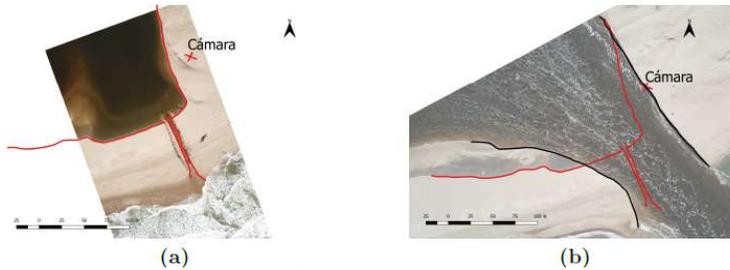


Figura 3: Fotos aéreas georreferenciadas. Se observa el aumento del ancho del canal. En rojo se muestra las dimensiones iniciales. a) Recién abierta la barra. b) 24 horas después de la apertura

6.2 Medición de corrientes con PIV

Se procesó un vídeo del día siguiente a la apertura a las 12.20 horas. Se alcanzan velocidades cercanas a los 4 m/s. Se aprecia que las mayores velocidades se dan próximos a la margen izquierda del canal. Hacia esta zona es que se desarrolló el canal erosionando la margen izquierda, erosionando muy poco de la margen derecha. Ver figura 4.

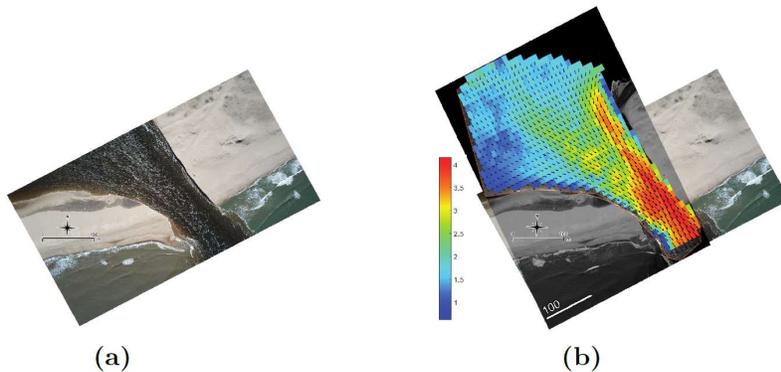


Figura 4: Campo de velocidades en el canal de desembocadura al siguiente a la apertura obtenido con PIV. El océano se encuentra hacia la parte inferior de las imágenes y la laguna hacia la parte superior. a) Imagen aérea correspondiente al período de tiempo en que se calculan las velocidades. b) Campo de velocidad superficial obtenido, unidades en m/s

7 CONCLUSIONES

Las mediciones permitieron por primera vez medir corrientes en una apertura y cuantificar los tiempos de duración de una apertura artificial en la Laguna de Rocha. El conocimiento adquirido permitirá poder diseñar futuras campañas con mayor precisión y por lo tanto lograr un registro más completo de una futura apertura.

En particular se concluye que el esfuerzo de transportar y levantar el mástil para la GoPro hacen que este sistema sea poco práctico y que no se tenga en cuenta para futuras campañas. A esto se agrega además la calidad superior de las grabaciones que se obtienen con dron.

Conociendo los tiempos de evolución del canal de desembocadura y la evolución de su ancho se puede prever y mejorar la ubicación de los elementos que fueron arrastrados por la corriente (como el sistema de cable de acero para el ADCP y el mástil para al GoPro).

Otra conclusión es que el ADCP no es útil para medir la primera etapa de la evolución del canal de desembocadura debido a la poca profundidad del tirante de agua en el canal (el ADCP precisa un tirante de aproximadamente 1 m). Esto hace pensar para futuras campañas en la utilización de otros instrumentos que sí permitan la medición de corrientes para tirantes bajos. Por ejemplo la utilización de un ADV, instrumento que mide la velocidad en un punto y no en toda la columna de agua como el ADCP, u otro tipo de ADCP sí permita la medición a pocas profundidades.

8 REFERENCIAS

- Conde D, Solari S, de Álava D, Rodríguez-Gallego L, Verrastro N, Chreties C, Lagos X, Piñeiro G, Teixeira L, Seijo L, Vitancurt J, Caymaris J, Panario D (2019). Ecological and social basis for the development of a sand barrier breaching model in Laguna de Rocha, Uruguay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 219: 300-316.
- Gordon, A. D. (1990). Coastal lagoon entrance dynamics. *Proceedings of the 22nd International Coastal Engineering Conference* (pp 2880-2893).
- McSweeney, S. L., Kennedy, D. M., Rutherford, I. D., y Stout, J. C. (2017). Intermittently Closed/Open Lakes and Lagoons: Their global distribution and boundary conditions. *Geomorphology*, 292 (January):142-152
- Muste, M., Fujita, I., y Hauet, A. (2010). Large-scale particle image velocimetry for measurements. *Water Resources Research*, 46(4):1-14.
- Patalano, A., García, C. M., y Rodríguez, A. (2017). Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). *Computers and Geosciences*, 109(June): 323-330.
- Raffel, M., Willert, C.E y Kompenhans, J. (1998). *Particle Image Velocimetry*. Springer, Gottingen, Alemania.
- Stretch, D. y Parkinson, M. (2006). The Breaching of Sand Barriers At Perched, Temporary Open/Closed Estuaries | a Model Study. *Coastal Engineering Journal*, 48(01): 13-30.
- Tuan, T. Q., Stive, M. J., Verhagen, H. J., y Visser, P. J. (2008). Processbased modeling of the overflow-induced growth of erosional channels. *Coastal Engineering*, 55(6): 468-483.
- Wainwright, D. J. y Baldock, T. E. (2015). Measurement and modelling of an artificial coastal lagoon breach. *Coastal Engineering* 101, 1-16.