



.UBAfiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA



CTID 2024
1º CONGRESO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E
INNOVACIÓN PARA LA DEFENSA NACIONAL

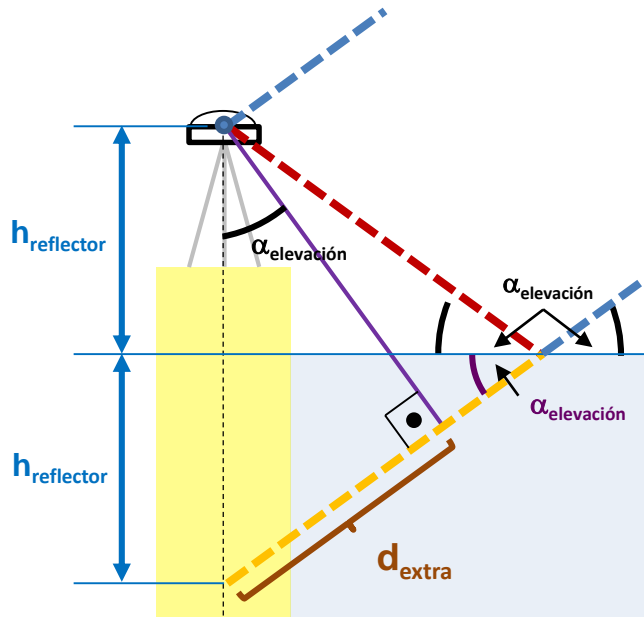
Análisis de las diferencias entre la variación de la altura del agua obtenida mediante reflectometría GNSS con un teléfono celular, con la obtenida a través de un mareógrafo de presión tradicional

Fernando Oreiro^{1,2}, Mónica Fiore³

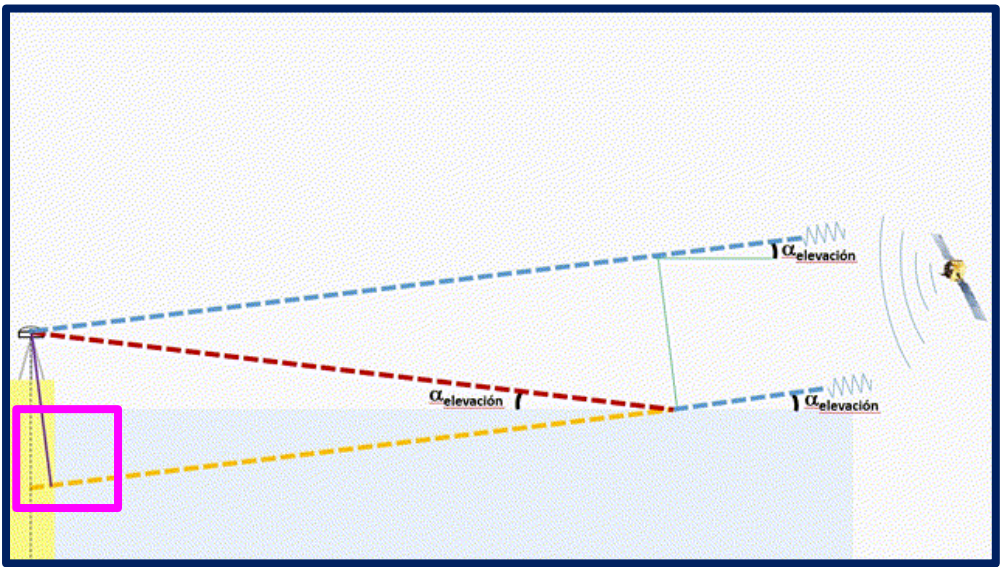
¹ Servicio de Hidrografía Naval, Departamento Oceanografía, Sección Mareas.

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Agrimensura.

³ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas.



$d_{extra} = 2 h_{reflector} \times \text{sen}(\alpha_{elevation})$



$Interferencia[seno(\alpha)] = A(\alpha) * seno \left[2\pi \frac{2 h_{reflector}}{Longitud\ de\ onda} seno(\alpha) + \phi \right]$

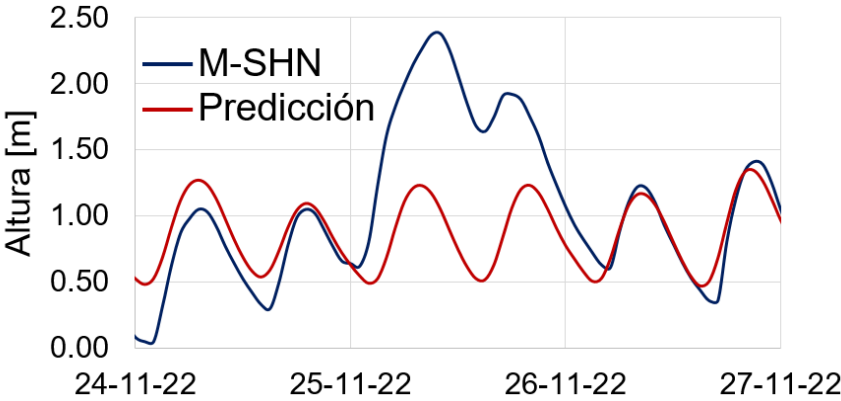
SNR

frecuencia

Realizar un análisis comparativo de las alturas del agua obtenidas con un teléfono celular convencional mediante reflectometría GNSS y las alturas registradas por un mareógrafo de presión tradicional del Servicio de Hidrografía Naval.

ZONA DE ESTUDIO

CLUB DE PESCADORES
CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES



La ubicación donde se realizaron las mediciones presenta una marea astronómica con una amplitud media de 0.58 m, con frecuentes ondas de tormenta que pueden llegar a superar los 3 m de amplitud.

El teléfono celular utilizado para la obtención del SNR es el BGH Joy Smart AXS II D.



Año de Fabricación	2015
Procesador	MT6582 Quad – 1.3 Ghz
Almacenamiento interno	16 GB
Memoria RAM	2 GB
Constelaciones	GPS, GLONASS, BEIDOU
Sistema Operativo	Android 4.4.2

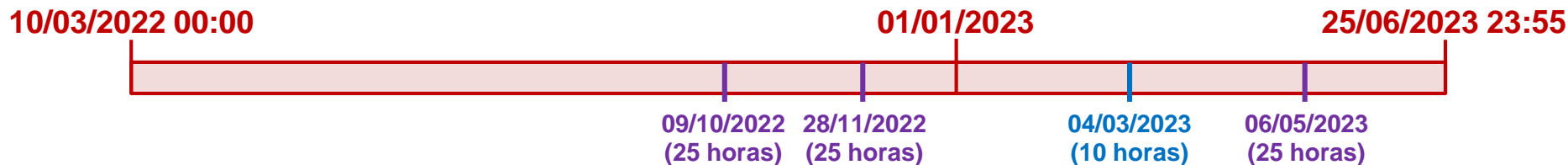
El teléfono celular se instaló dentro de una caja plástica hermética sobre la torre meteorológica.

La alimentación eléctrica se realizó a través de un transformador de 12V a 5V con conexión USB ubicado dentro de la caja, que recibe alimentación de una batería de 12V conectada a la red eléctrica continua.

La batería permite extender las mediciones durante aproximadamente un día cuando se corta la energía eléctrica de red.



PERIODO DE COMPARACIÓN (473 días)



- **3 episodios** durante los cuales no se obtuvieron observaciones, de aproximadamente un día de duración, ocurridos entre los reinicios automáticos del teléfono celular.
- **un período mayor a 3 horas** que presentaba escasa cantidad de reflexiones, lo que no permitió obtener alturas del agua.

Debido al método de procesamiento aplicado, la información de altura del agua obtenida 60 minutos antes y después de cada período sin observaciones se eliminó. De esta forma, de los 473 días que conforman el período de análisis, el sistema estuvo en funcionamiento el **99.1%** del tiempo.

El teléfono celular almacenó datos cada **1 segundo** para los satélites de las constelaciones GPS, GLONASS y BEIDOU.

Se almacenaron los datos necesarios para el cálculo de la altura del reflector (fecha, hora, satélite y SNR), junto con los datos adicionales latitud, longitud, altura, ángulo de elevación y azimut.

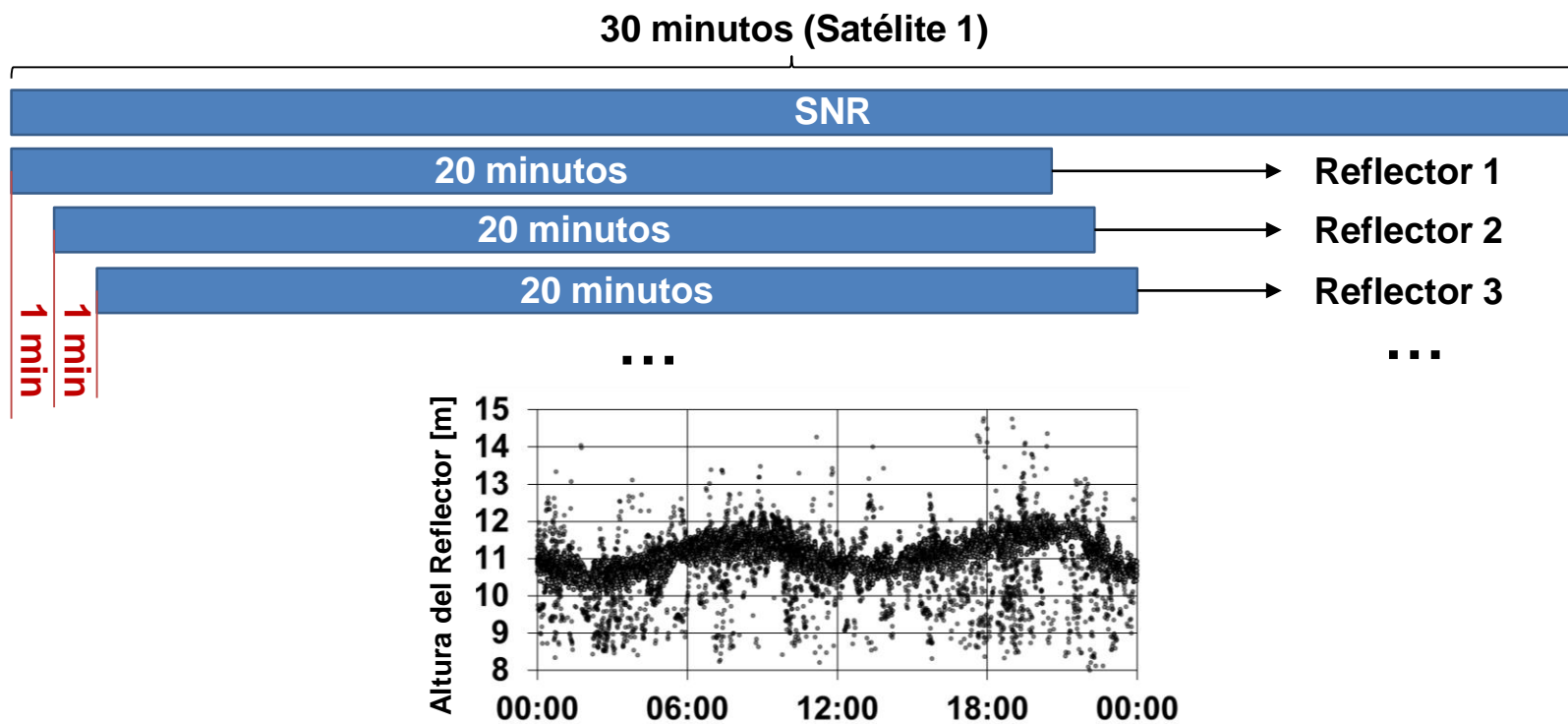
Cuando se completa una hora de observaciones, la aplicación del teléfono comprime automáticamente el archivo y lo sube a una carpeta compartida en internet para poder acceder a la información en forma remota.



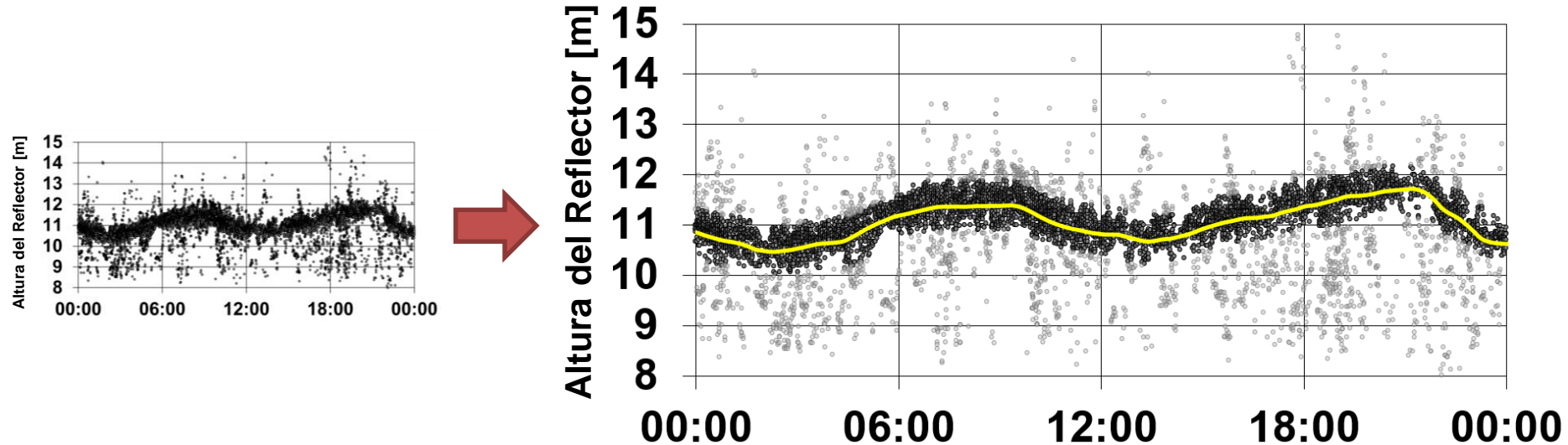
Se aplica la metodología de cálculo para obtener la variación de la altura del agua propuesta por Oreiro y Fiore (2024):

- Obtener la elevación y azimut de los satélites utilizando las efemérides de cada constelación.
- Filtrar los datos de los satélites que no devuelven reflexiones de la superficie del agua.
- Aplicar la corrección atmosférica propuesta por Bennett (1982).
- Calcular las reflexiones para cada satélite utilizando el observable SNR con el periodograma de Lomb-Scargle.

Oreiro y Fiore (2024) obtuvieron que los resultados más precisos para el cálculo de las reflexiones se obtienen separando las observaciones de cada satélite en bloques de datos cada 20 minutos, con una diferencia de tiempo entre bloques de 1 minuto.



Se ajusta una curva a las regiones de máxima densidad de reflexiones utilizando el método de suavizado Locally Weighted Scatterplot Smoothing (LOWESS). Siguiendo la recomendación de los autores, para LOWESS se utiliza un intervalo de 70 minutos, y se aplica recursivamente el método de ajuste filtrando reflexiones que se alejan de la zona de máxima densidad.



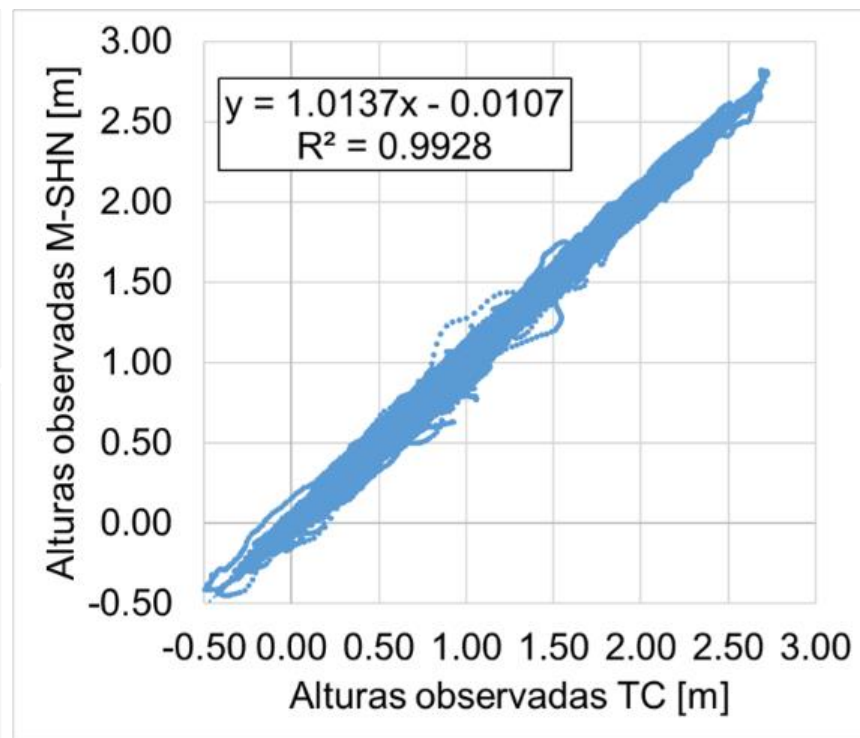
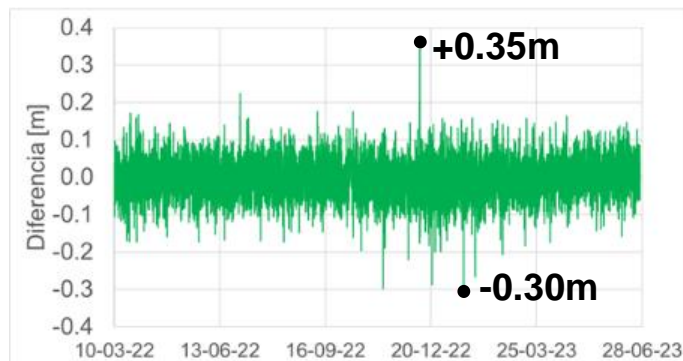
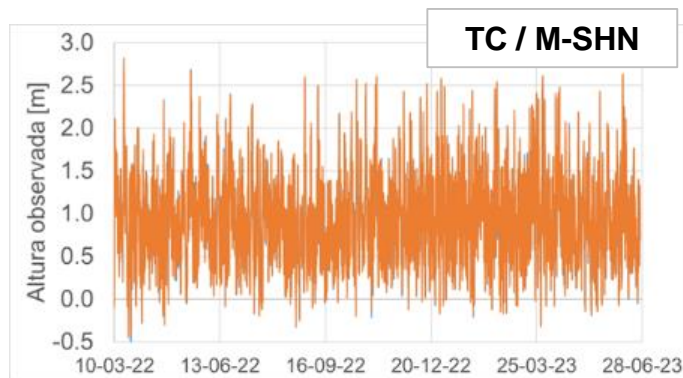
La comparación entra las alturas del agua obtenidas con el Teléfono Celular (TC) y el mareógrafo de presión (M-SHN) se realiza en diferentes etapas.

- (1) Se calcula la constante para referir las alturas obtenidas con el TC al Plano de Reducción de Sondajes (PRS), haciendo coincidir el promedio de las alturas observadas del TC con el promedio de las alturas observadas por M-SHN (corrección atmosférica + ubicación del centro de fase de la antena).



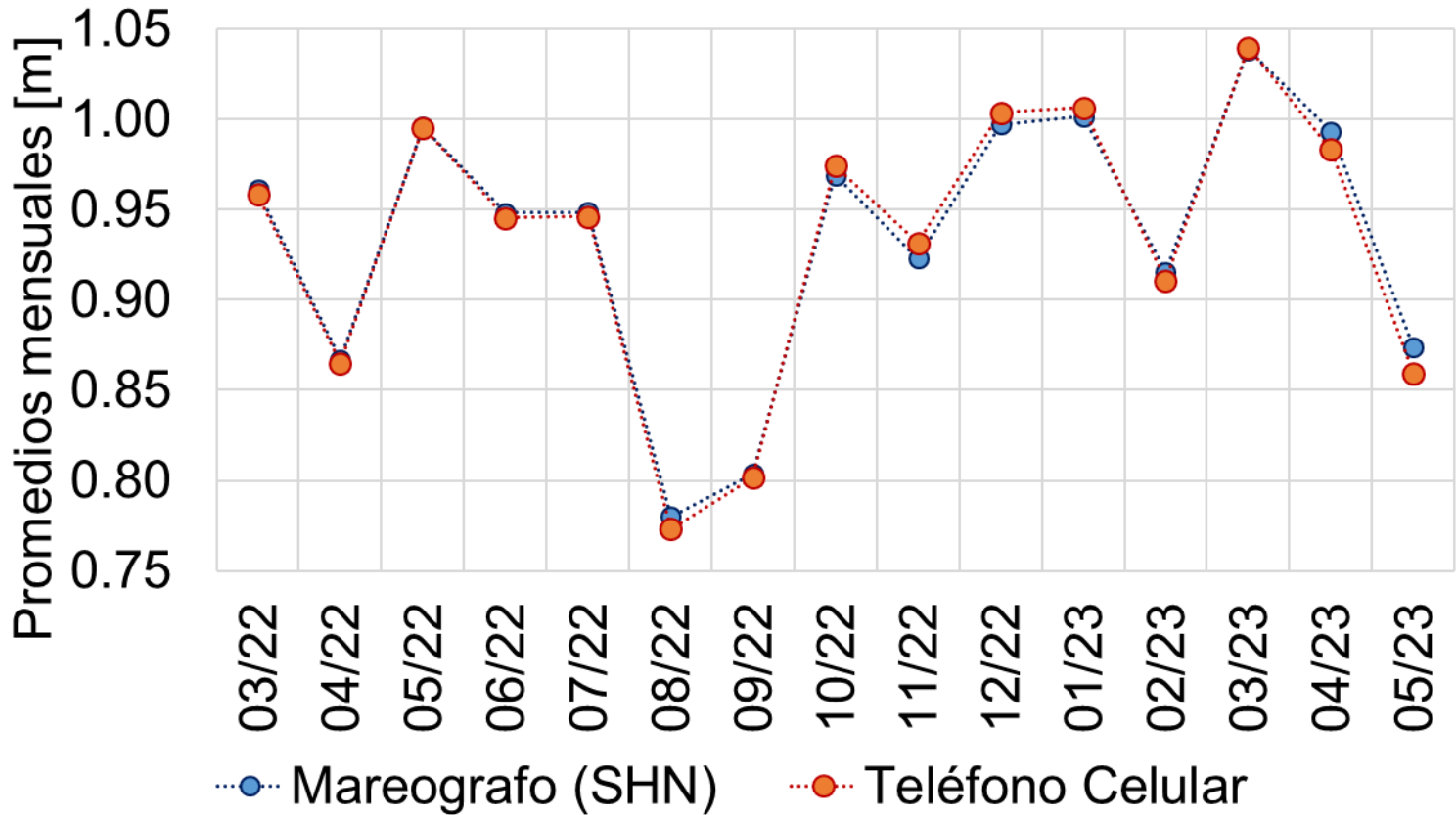
12.20m

- (2) Se comparan las series de altura del agua obtenidas y se calculan las diferencias.
- (3) Se comparan los niveles medios mensuales.
- (4) Se calculan y se comparan los eventos de Ondas de Tormenta (ODT) positivos observados por cada instrumento.
- (5) Se analiza el comportamiento de las diferencias máximas y mínimas entre las series en función de la altura del agua observada.



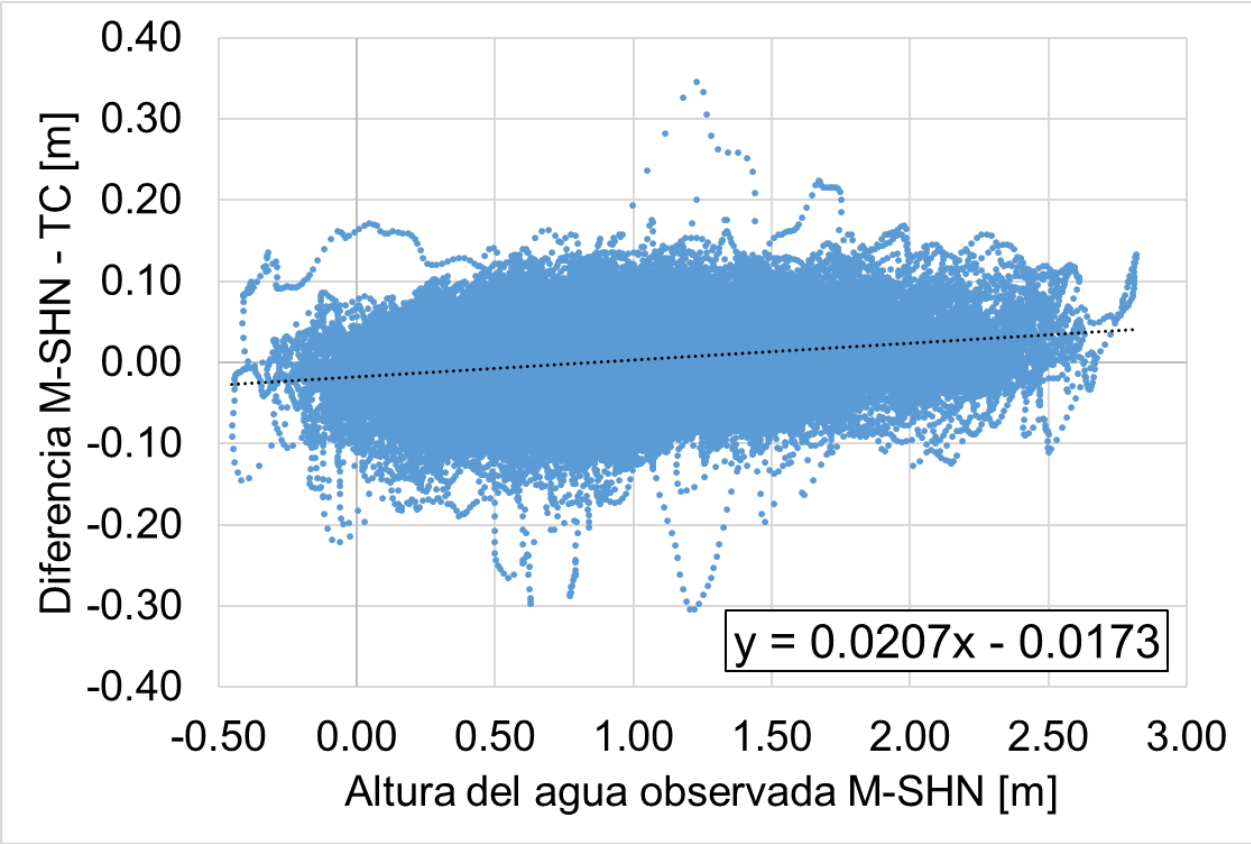
El desvío estándar de las diferencias entre las series es de **0.043 m**.

El **97.5%** de las diferencias obtenidas se ubican entre **± 0.10 m**.





Diferencias (M-SHN – TC) entre eventos de ODT positiva identificados					
	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Duración	Altura máx. obs.	Prom. de alturas obs.
Promedio	-8 min	-13 min	6 min	0.028 m	0.016 m
Mínimo	-215 min	-360 min	-245 min	-0.052 m	-0.157 m
Máximo	65 min	235 min	365 min	0.117 m	0.276 m
Desv. Est.	35 min	68 min	80 min	0.037 m	0.047 m



- La serie de altura del agua obtenida con el teléfono celular de bajo costo representa adecuadamente a la altura del agua frente a la costa de la Ciudad de Buenos Aires para el período analizado.
- La comparación realizada con las alturas observadas del mareógrafo del SHN mostraron un desvío estándar de las diferencias inferior a 0.043 m, ubicando al 97.5% de estas diferencias por debajo de ± 0.10 m.
- Las fechas en donde se produjeron las diferencias mayores a ± 0.20 m pueden identificarse, correspondiendo las mismas a 8 eventos puntuales.
- El coeficiente de determinación de 0.993 obtenido entre las series, y la pendiente de la recta de regresión cercana a 1 también indican un buen ajuste entre las alturas observadas por M-SHN y las calculadas por TC.
- El desvío estándar obtenido de la serie de altura del agua utilizando el TC se ubica por debajo de la tolerancia establecida por la Organización Hidrográfica Internacional para levantamientos hidrográficos con ecosondas monohaz (OHI, 2005).

- El desvío estándar de las diferencias de los niveles medios mensuales entre las series M-SHN y TC fue inferior a 0.007 m, representando menos del 10% de la diferencia promedio entre meses consecutivos encontrada en la zona de estudio.
- Más del 95% de los eventos de ODT fueron identificados correctamente por el TC, con promedios de las diferencias en la duración de los eventos de 6 minutos y de las alturas máximas y promedio observadas inferiores a 0.03 m.
- El análisis de las diferencias entre las series en función de la altura del agua observada en M-SHN mostró una leve tendencia positiva. Esta tendencia puede estar asociada al método de medición o al ajuste utilizado para obtener la variación de altura del agua a partir del SNR. Se continuará trabajando para ajustar estas diferencias y reducir las diferencias entre las series.
- Los resultados encontrados sugieren que la medición de la altura del agua a través de un TC mediante la metodología GNSS-IR puede utilizarse no solo como un complemento para los mareógrafos tradicionales, sino que, en casos particulares en donde la instalación y mantenimiento de estos equipos puede resultar compleja o costosa, pueden utilizarse como el sensor principal.



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

¿PREGUNTAS?

foreiro@hidro.gov.ar
foreiro@fi.uba.ar