IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS EN LA MASA HÍDRICA EN CUENCAS DE LA PROVINCIA DE SANTA FE MEDIANTE SENSORES REMOTOS Y SU RELACIÓN CON EVENTOS ENSO

PEREIRA, Ayelen[1,2]; CORNERO, Cecilia[2]; MATOS, Ana C. O. C.[3]; RAFAELLI, Silvia[4]; MAZZÓN, Rosana[4]; SPAIS, Agustina[4]; PACINO, María C.[2]; BLITZKOW, Denizar[3]

[1] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)/ apereira@fceia.unr.edu.ar

[2] Área de Geodinámica y Geofísica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.

[3] Laboratório de Topografia e Geodesia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) y Centro de Estudo de Geodesia (CENEGEO), São Paulo, Brazil.

[4] Instituto Nacional del Agua, Subgerencia Centro Regional Litoral.

Palabras claves: Almacenamiento de agua; Santa Fe; ENSO.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad y la dinámica del agua constituyen factores determinantes para la gestión del territorio, la producción agropecuaria, la conservación de los ecosistemas y la planificación de obras e infraestructura en la provincia de Santa Fe. La ocurrencia de períodos alternados de excesos y déficits hídricos, asociados a la variabilidad climática y a fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), pone de manifiesto la necesidad de contar con herramientas que permitan caracterizar y monitorear el comportamiento de las principales variables hidrológicas en diferentes escalas espaciales y temporales.

En los últimos años, las misiones gravimétricas satelitales GRACE y GRACE-FO han permitido estimar las variaciones del almacenamiento total de agua continental (*Terrestrial Water Storage*, TWS). Este indicador integra los cambios en la humedad del suelo, las aguas superficiales y la dinámica de las aguas subterráneas y freáticas, con una resolución mensual. De este modo, la gravimetría satelital proporciona datos de gran valor para complementar las redes de monitoreo terrestre, posibilitando una visión integral de los recursos hídricos, especialmente en zonas con escasa densidad o con discontinuidades temporales en los registros in situ.

OBJETIVOS

- Analizar la variabilidad del almacenamiento de agua continental en la provincia de Santa Fe (Figura 1), mediante el procesamiento de información gravimétrica y su comparación con registros hidrológicos para el período 2002–2025, en cuencas seleccionadas.
- Evaluar la relación entre dichas variaciones y los principales eventos ENSO, integrando datos de estaciones terrestres para identificar patrones temporales asociados a los extremos hídricos.

METODOLOGÍA / MATERIALES Y MÉTODOS

Variable		Producto	Resolución
TWS	Total Water Storage	CSR GRACE RL06.3 mascons (1)	mensual/0.5°
MEI	Multivariate ENSO Index	MEI.v2 (2)	bimensual
P	Precipitación	SNIH	mensual
H	Altura hidrométrica	SNIH	mensual
NF	Nivel freático	INA	mensual

Tabla 1. Datos utilizados.

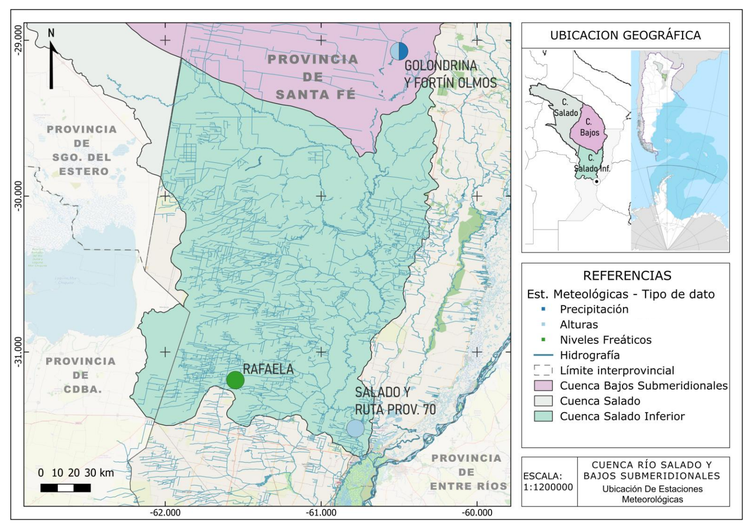


Figura 1. Cuenca hídricas y estaciones analizadas en Santa Fe.

RESULTADOS

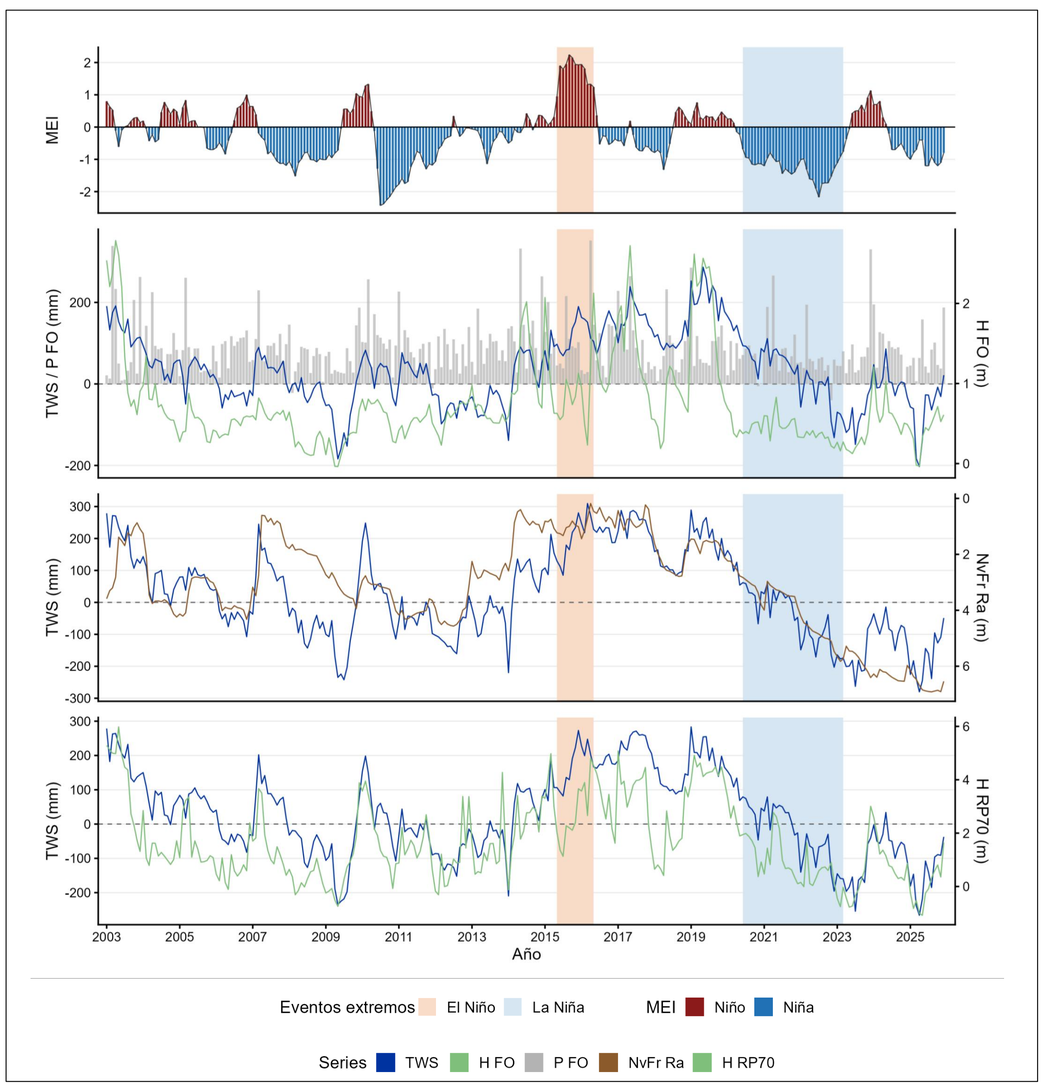


Figura 2. Arriba: Episodios ENSO según índice MEI y eventos más extremos en intensidad/duración entre 2003-2025 (sombreados): período húmedo, 2016-2017 (Niño muy fuerte); y período seco 2019-2023 (Niña fuerte). Debajo: Series temporales mensuales (desestacionalizadas) de TWS, altura hidrométrica estación Fortín Olmos (H FO), precipitación estación Fortín Olmos (P FO), nivel freático estación Rafaela (NvFr Ra), y altura hidrométrica Ruta Prov. N°70 (H RP70).

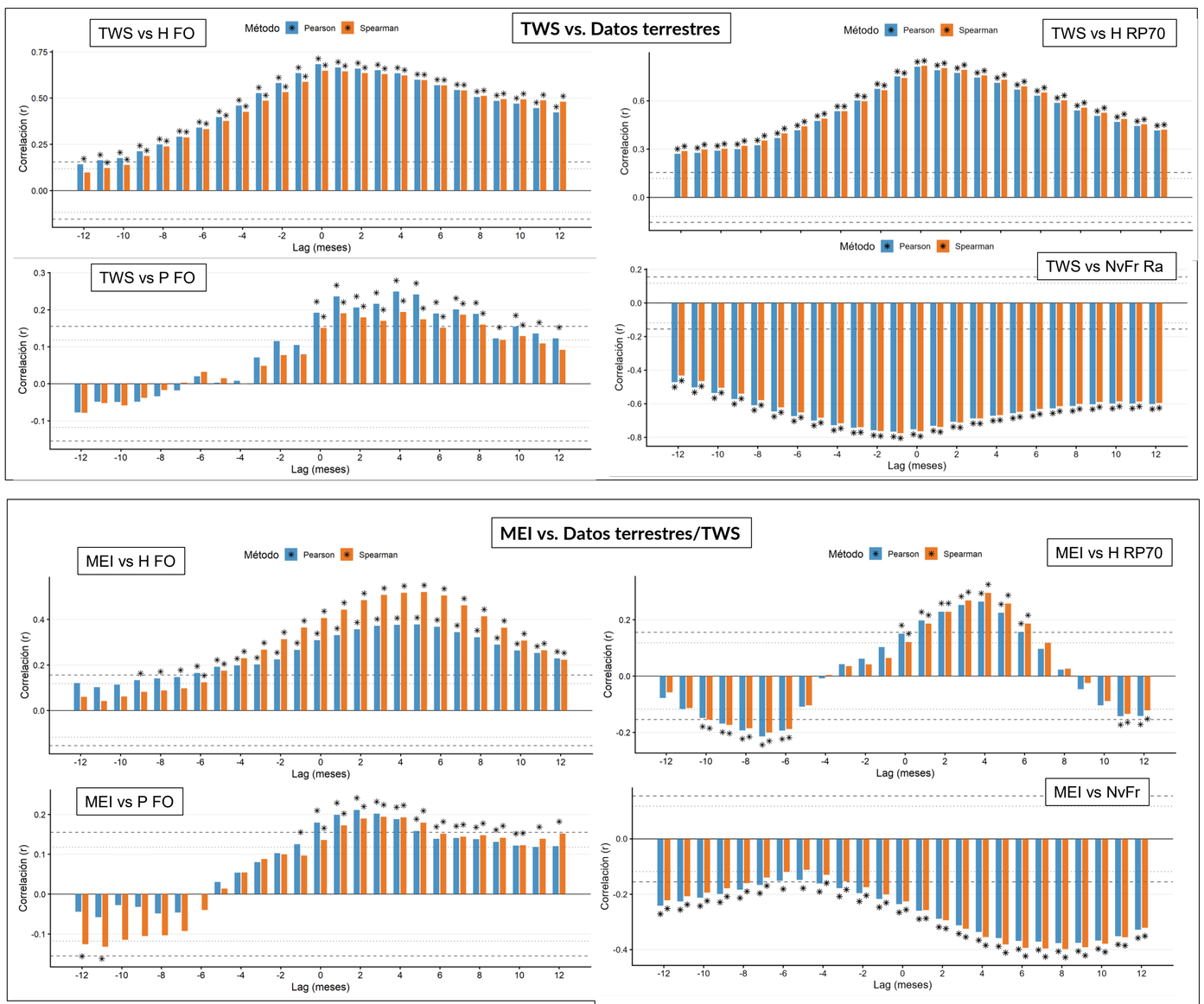


Figura 3. Correlación (Pearson y Spearman) entre MEI, series mensuales desestacionalizadas de TWS y datos terrestres, 2003-2025. Los resultados significativos se indican de acuerdo al *p-value* obtenido (* $p<0.05$; ** $p<0.01$).

CONCLUSIONES

- Las series de TWS y de datos terrestres varían de forma conjunta, con mínimos y máximos coincidentes a lo largo de 2003-2025. En los eventos extremos ENSO, el TWS aumentó durante El Niño 2015-16 y disminuyó durante La Niña 2020-23. Para este último episodio, TWS y H descendieron de forma sostenida, y Nv Fr se profundizó y continuó descendiendo aún después del evento.
- Para la relación MEI vs. variables terrestres, las correlaciones resultaron moderadas ($|r| \approx 0{,}4$-$0{,}6$) para TWS, H y Nv Fr, y bajas ($|r| \leq 0{,}3$) para P. Los máximos se concentran en lags positivos (MEI precede entre ~2 y 8 meses), con más rezago en TWS y Nv Fr, lo que indica una respuesta diferida a la señal ENSO.
- En cuanto a TWS vs. variables terrestres, las correlaciones fueron altas ($|r| \approx 0{,}7$-$0{,}8$) para H y Nv Fr, con máximos en lags cercanos a 0 y una disminución gradual hacia lags mayores, que se mantienen significativos hasta ±12 meses. La relación con P también presentó valores bajos.
- La información obtenida resulta un aporte relevante para profundizar la comprensión de la dinámica hidrológica regional y constituye una base de apoyo para el monitoreo, la evaluación y la gestión integrada de las aguas superficiales y subterráneas provinciales.

REFERENCIAS

1) doi.org/10.1002/2016JB013007
2) https://www.psl.noaa.gov/enso/mei
3) 10.15341/mese(2333-2581)/07-09.09.2023/006

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue co-financiado con los proyectos ASaCTeI SF PEICID-2023-04, ANPyCT PICT-2021-GRF-TI-00538, y UNR 80020240100022UR.