



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons](#)  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 internacional

Monitoreo por teledetección de la variación del almacenamiento de agua superficial en cuencas hidrográficas

Fabio Alejandro Montealegre Medina, Fernanda Julia Gaspari

AUGM DOMUS, (10), e004, artículos, 2023

ISSN 1852-2181 | <https://doi.org/10.24215/18522181e004>

<https://revistas.unlp.edu.ar/domus>

Asociación Grupo Montevideo | Universidad Nacional de La Plata

La Plata | Buenos Aires | Argentina

# MONITOREO POR TELEDETECCIÓN DE LA VARIACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

MONITORING BY REMOTE SENSING OF THE VARIATION  
OF SURFACE WATER STORAGE IN HYDROGRAPHIC BASINS

## Fabio Alejandro Montealegre Medina

[fabio.montealegre@agro.unlp.edu.ar](mailto:fabio.montealegre@agro.unlp.edu.ar)

<https://orcid.org/0000-0002-6242-3813>

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena

Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC)

## Fernanda Julia Gaspari

<https://orcid.org/0000-0002-0676-9107>

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena



## RESUMEN

La disponibilidad de imágenes satelitales en plataformas web permitió disponer de bases de datos geoespaciales para estimar balances hídricos espacio temporales en una cuenca hidrográfica, colaborando en la gestión sostenible de los recursos hídricos y el territorio. El objetivo fue aplicar técnicas de monitoreo por teledetección para definir la variación del almacenamiento de agua superficial, en la temporada húmeda del año 2017, de la subregión A1, al noroeste del Río Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. El período evaluado fue entre enero y abril, debido a que se registraron emergencias de inundación, corroborada por datos pluviales del Servicio Meteorológico Nacional. Para el procesamiento se utilizaron datos de precipitación del sensor IMERG, evapotranspiración del sensor MODIS, datos de escorrentía y almacenamiento de agua superficial del sistema GLDAS 2.2. El análisis se realizó a nivel de subcuenca, debido a la variabilidad espacial de los datos. En la subcuenca 5 se indicó la menor precipitación (750 mm) y la máxima evapotranspiración (275 mm), mientras tanto en el centro de la cuenca A1 se manifestaron 835 mm de lluvia. El escurrimiento superficial mostró el máximo en la subcuenca 1 (68 mm), mientras que, en el resto de la A1, los valores se mantuvieron uniformes. Se concluye que la teledetección es una metodología óptima para la descripción del balance hídrico y aplicar técnicas de monitoreo por teledetección permite precisar la variación del almacenamiento de agua superficial, en una zona de gran extensión, representando, además, en forma fehaciente distribución de la evapotranspiración y el escurrimiento superficial.

**PALABRAS CLAVE** | balance de agua, cuenca de llanura, teledetección

2

## ABSTRACT

The availability of satellite images on web platforms allowed for the creation of geospatial databases to estimate spatiotemporal water balances in a hydrological basin, contributing to the sustainable management of water resources and territory. The objective was to apply remote sensing monitoring techniques to define the variation of surface water storage during the 2017 wet season in subregion A1, northwest of the Salado River, Buenos Aires Province, Argentina. The period evaluated was between January and April, due to recorded flood emergencies, corroborated by National Meteorological Service rainfall data. For processing, precipitation data from the IMERG sensor, evapotranspiration data from the MODIS sensor, runoff data, and surface water storage data from the GLDAS 2.2 system were used. The analysis was carried out at the sub-basin level, due to the spatial variability of the data. In sub-basin 5, the lowest precipitation (750 mm) and the maximum evapotranspiration (275 mm) were indicated, while 835 mm of rainfall were recorded in the center of the A1 basin. Surface runoff showed the maximum in sub-basin 1 (68 mm), while values remained uniform in the rest of A1. It is concluded that remote sensing is an optimal methodology for describing water balance, and applying remote sensing monitoring techniques allows for the precise determination of the variation of surface water storage in a large area, representing the distribution of evapotranspiration and surface runoff reliably.

**KEYWORDS** | water balance, lowland basin, remote sensing

## INTRODUCCIÓN

Las observaciones espaciales tienen el potencial de mejorar significativamente la comprensión de los procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas y la variabilidad climática, geodinámica, socio-económica, considerando la posibilidad de generación de balances hidrológicos (Pereira et al., 2018). Además, permiten calcular índices agroclimáticos, que indiquen la disponibilidad regional de agua en el suelo, en forma espacial y temporal, según los valores utilizados en el cómputo.

Fernández-Long et al. (2012) mencionan que el balance hidrológico es un modelo simplificado de estimación de la reserva de agua, en la zona de exploración radicular, o sea en la zona insaturada del suelo. A partir del mismo, es posible cuantificar la disponibilidad de agua durante el ciclo de un cultivo y el agua consumida por la planta.

Tang et al., (2010) estudiaron el almacenamiento de agua terrestre (TWS, *Terrestrial Water Storage*, por su sigla en inglés) y lo definen como el agua almacenada sobre y debajo de la superficie terrestre, que incluye nieve, hielo, humedad del suelo, agua subterránea y agua superficial. Los cambios detectados en las anomalías de TWS, derivados de las teleobservaciones del Sistema Satelital GRACE (disponible en <https://www.jpl.nasa.gov/missions/>), representan una medida integrada verticalmente de las variaciones en la acumulación de agua (expresada en centímetros). Ospina Montes (2016) expresa que TWS es controlado principalmente por la humedad del suelo y el agua subterránea, indicando los cambios totales de la columna integrada de agua terrestre almacenada desde el espacio. Estas anomalías entre el TWS y cambios en agua almacenada, determinados con modelos terrestres, ayuda a desasociar los componentes e identificar áreas inundadas (Thomas et al., 2020). Una vez definidas estas acumulaciones de agua superficial, a nivel geoespacial, se pueden monitorear con teledetección, y establecer sus cambios a escala espaciotemporal, integrándolo con análisis de eventos pluviales, como así también elaborar balances hídricos.

En particular, Cellone et al. (2023) realizaron balances de agua en el suelo diarios en la planicie costera del Río de la Plata, para evaluar los cambios, es decir, excedentes, déficits y reserva de agua en el suelo, para el período 2008-2014, por medio de un análisis conjunto de balances hídricos e imágenes satelitales. A su vez, generaron una

metodología con teledetección, aplicable a diferentes áreas de llanura de similares características. Los resultados logrados mostraron que la respuesta, en relación con la presencia de anegamientos en áreas de llanura, está condicionada en gran medida, por la previa existencia de excedentes hídricos y por las condiciones de saturación del suelo al momento de producirse la precipitación.

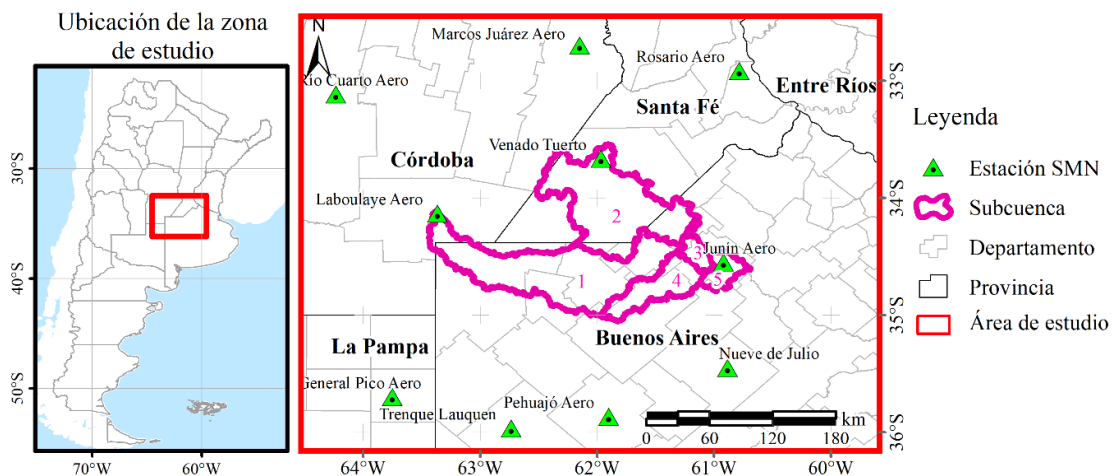
Dillon et al. (2017) mencionan que, en los últimos meses del año 2016, en el norte bonaerense, Argentina, un nuevo ciclo climático húmedo, provocó serios anegamientos e inundaciones, que obligaron a las autoridades provinciales a declarar la emergencia agropecuaria en la región, la cual se extendió hasta los primeros meses de 2017. Se corrobora con un informe de la Comisión de Emergencia de la Confederaciones Rurales Argentina, que menciona que al igual que en el 2016, cuando apenas comenzaba la cosecha gruesa, la naturaleza volvió a hacer estragos (CRA, 2017), con tormentas que se centraron con mayor intensidad sobre los partidos de Junín / General Villegas, en la provincia de Buenos Aires, y este de la provincia de La Pampa, generando un sector de la Argentina que, en forma reiterada, es afectado gravemente por inundaciones. En ese momento, en la provincia de Buenos Aires hubo seis millones de hectáreas afectadas, de las cuales el 25% de dicha superficie, estuvo gravemente impactadas por inundaciones, presentando pérdidas irre recuperables de los cultivos e infraestructura. Además, el nivel de las aguas alcanzó a varios cascos urbanos y áreas semiurbanas.

Considerando estos hechos, y lo enunciado sobre las inundaciones de abril del año 2017 por Dillon et al. (2017), se ha trabajado en forma objetiva en esta temporada húmeda de la subregión A1 de la Cuenca del Río Salado en la provincia de Buenos Aires, que integra a la localidad de Junín, considerando esta zona como área de estudio, para plantear el objetivo del trabajo, que es aplicar técnicas de monitoreo por teledetección, para definir la variación del almacenamiento de agua superficial en cuencas hidrográficas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se desarrolló para la subregión A1 de la cuenca del Río Salado, en la región Pampa húmeda bonaerense, específicamente en la Pampa Deprimida. Es una región de

llanuras con un relieve muy suave, casi horizontal, cubierta de depresiones locales, donde las precipitaciones que llegan a la superficie se almacenan formando encharcamientos poco profundos y bañados, según describe el Plan Maestro del Río Salado (PMRS) (Gomez et al., 2017; MOSP, 1999). La superficie que ocupa es de 17742,85 km<sup>2</sup>, divididas en cinco subcuencas (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de subregión A1 con sus subcuencas y estaciones meteorológicas.  
Fuente: SMN

Para el análisis climático fue consultado al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) sobre datos pluviales mensuales, en las estaciones meteorológicas, a nivel regional, de: General Pico Aero, Junín Aero, Laboulaye Aero, Marcos Juárez Aero, Nueve de Julio, Pehuajó Aero, Río Cuarto Aero, Rosario Aero, Trenque Lauquen y Venado Tuerto Aero (Figura 1), para el período comprendido entre 1960 y 2019. Luego de un procesamiento geoespacial de dichos datos, se identificó que las estaciones de Junín, Laboulaye y Venado Tuerto, dentro de los límites de la subregión A1 (Figura 1), representan en forma coherente la distribución pluvial del área en estudio. En la Tabla 1 se muestra la precipitación mensual para el año 2017, en estas tres estaciones, y se visualiza el gran aumento de lluvias en el periodo entre enero y abril, alcanzando el 55,3 % del total anual, que manifiestan al cuatrimestre húmedo y su efecto en las inundaciones mencionadas por Dillon et al. (2017).

Precipitación mensual por estación meteorológica (mm)				
Mes	Junín	Laboulaye	Venado Tuerto	Promedio mensual para A1 (mm)
Enero	148,9	179,2	158,0	162,0
Febrero	54,0	112,7	100,5	89,1
Marzo	94,9	186,6	145,8	142,4
Abril	359,0	187,0	195,0	247,0
Mayo	98,8	59,8	99,7	86,1
Junio	12,2	23,9	19,1	18,4
Julio	29,5	16,3	19,0	21,6
Agosto	71,0	14,8	38,3	41,4
Septiembre	138,2	89,3	107,0	111,5
Octubre	104,7	41,1	63,0	69,6
Noviembre	29,4	58,0	40,5	42,6
Diciembre	68,0	121,9	190,7	126,9
<b>Total anual (mm)</b>	<b>1208,6</b>	<b>1090,6</b>	<b>1176,6</b>	<b>1158,6</b>

**Tabla 1.** Datos de precipitación mensual del año 2017. Fuente: SMN

El balance hídrico en la A1 se determinó con la base de datos del SMN de las 3 estaciones, utilizando el Modelo matemático HidroBio, desarrollado por los Cámara Artigas et al. (2012), que aplica el método de Thornthwaite-Matter (1957) (Ecuación 1) como un complemento autoejecutable del programa Microsoft Excel.

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = P - E - R \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $\Delta S / \Delta t$  representa el cambio en el almacenamiento de agua terrestre  $\Delta S$ , durante un período de tiempo determinado  $\Delta t$ ; P es la precipitación mensual (mm / mes); E es la evapotranspiración (mm / mes) y R es el flujo de la corriente o escorrentía (*Runoff*, en inglés).

A nivel geoespacial, utilizando la herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con apoyo en el software libre QGIS®, se implementaron técnicas de teledetección, para el procesamiento cartográfico de las variables de flujo hidrológico P, E y R del método de equilibrio hídrico, con datos provenientes de imágenes satelitales, producto de sensores remotos de la Plataforma Web Giovanni, la interfase web de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) que provee información de varios satélites para todas las zonas del mundo.

Los datos ya están procesados y pueden ser descargados en una escala requerida (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Los productos satelitales utilizados (en milímetros mensuales) están disponibles en:

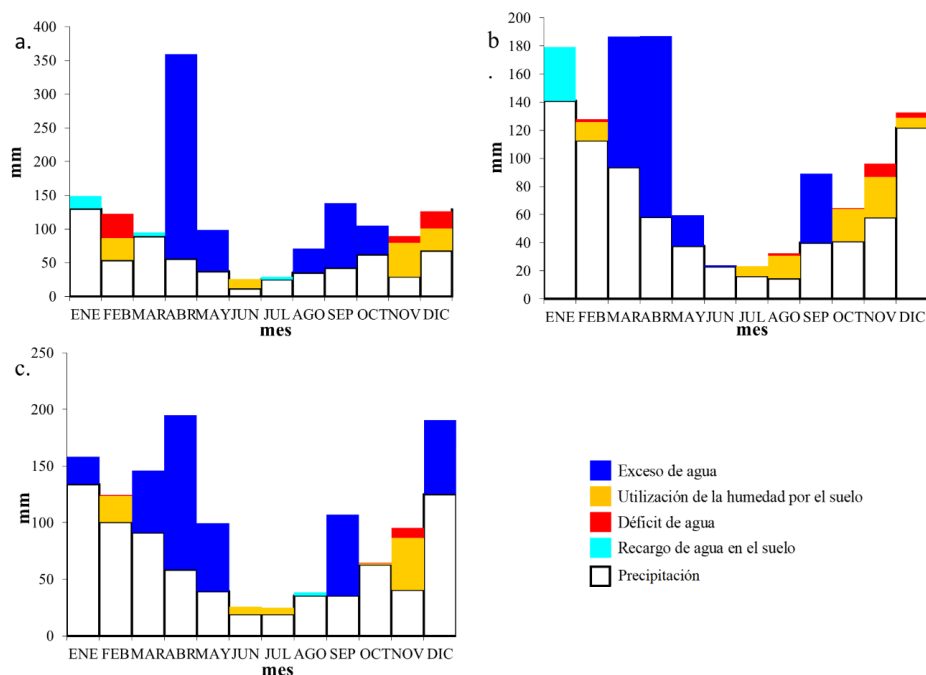
- Programa Integrated Multi-satellite Retrievals para GPM (IMERG) versión 6, obtenidos de la plataforma Giovanni de la NASA, que provee información de precipitación acumulada (P) (Huffman et al., 2019).
- Respecto a la evapotranspiración (E), se utilizaron los productos MODIS (MOD16A2) a bordo del satélite EOS-Terra (Earth Observation SystemTerra) (Running et al., 2017).
- La información de escorrentía (R) se obtuvo del Global Land Data Assimilation (GLDAS) versión 2.2 (Li et al., 2020).
- El almacenamiento de agua terrestre (TWS), que expresa el almacenamiento de agua terrestre, se calculó por medio de la diferencia del día final e inicial de cada mes, obteniendo así la ganancia de agua en milímetros en cada periodo.

El intervalo de tiempo considerado en este trabajo fue mensual (Tang et al., 2010), para la temporada húmeda (enero a abril) del año 2017 de la subregión A1.

7

## RESULTADOS

En la Figura 2 se presentan los diagramas del balance hídrico del año 2017, como resultado del Modelo HidroBio, corroborando los excesos de agua en toda la región para el periodo húmedo estudiado (Tabla 2). Se visualizan excesos de agua, comparables en proporción, en los meses de abril y septiembre para las tres localidades, contribuyendo a posibles inundaciones a nivel regional, especialmente en el primer semestre del año, siendo Junín la más afectada puntualmente en el mes de abril. En contraparte, en el segundo semestre se encuentra mayor absorción de agua en el suelo, cercano al mes de noviembre, que, aunado a datos de déficit de agua en este periodo, indicarían una posible escasez hídrica edáfica. Se visualiza, además, que el momento de recarga es en el mes de enero en Junín y Laboulaye.



**Figura 2.** Diagrama de balance hídrico. Año 2017 (Thorntwaite y Mather, 1957).  
Localidad: a. Junín; b. Laboulaye; c. Venado Tuerto. Fuente: HidroBio (Cámara Artigas et al., 2012).

En la Tabla 2 se expone el balance hídrico del año 2017, en las tres localidades en la subregión A1, como resultado de la aplicación del modelo HidroBio, donde se representa la relación entre los excesos hídricos producidos en el mes de abril y la evapotranspiración, la cual disminuye de forma considerable, sin pérdidas potenciales acumuladas, generando un aumento de agua almacenada en el suelo, mostrando cambios del agua edáfica almacenada, generando excedentes de humedad, y un incremento en la escorrentía superficial en las tres localidades.

	Mes	T	P	ETP	P - ETP	ppa	ST	ΔST	ETR	Dh	S	R
<b>Junín</b>	<b>Enero</b>	23,5	148,9	130,5	18,4	-83,0	85,4	18,4	130,5	0,0	0,0	6,4
	<b>Febrero</b>	23,5	54,0	122,8	-68,8	-151,8	53,0	-32,4	86,4	-36,4	0,0	3,2
	<b>Marzo</b>	20,6	94,9	89,3	5,6	0,0	58,6	5,6	89,3	0,0	0,0	1,6
	<b>Abril</b>	16,7	359,0	56,1	302,9	0,0	150,0	91,4	56,1	0,0	211,5	106,5
<b>Laboulaye</b>	<b>Enero</b>	24,6	179,2	141,0	38,2	-22,0	129,2	38,2	141,0	0,0	0,0	1,0
	<b>Febrero</b>	24,1	112,7	127,8	-15,1	-37,1	116,0	-13,2	125,9	-1,9	0,0	0,5
	<b>Marzo</b>	21,3	186,6	93,7	92,9	0,0	150,0	34,0	93,7	0,0	58,9	29,7
	<b>Abril</b>	17,3	187,0	58,4	128,6	0,0	150,0	0,0	58,4	0,0	128,6	79,2
<b>Venado Tuerto</b>	<b>Enero</b>	23,9	158,0	134,1	23,9	0,0	150,0	0,0	134,1	0,0	23,9	18,8
	<b>Febrero</b>	23,7	100,5	124,4	-23,9	-23,9	127,0	-23,0	123,5	-0,9	0,0	9,4
	<b>Marzo</b>	20,9	145,8	91,1	54,7	0,0	150,0	23,0	91,1	0,0	31,7	20,5
	<b>Abril</b>	17,2	195,0	58,5	136,5	0,0	150,0	0,0	58,5	0,0	136,5	78,5

**Tabla 2.** Balance hídrico por localidad, en período húmedo, por Modelo HidroBio (año 2017)

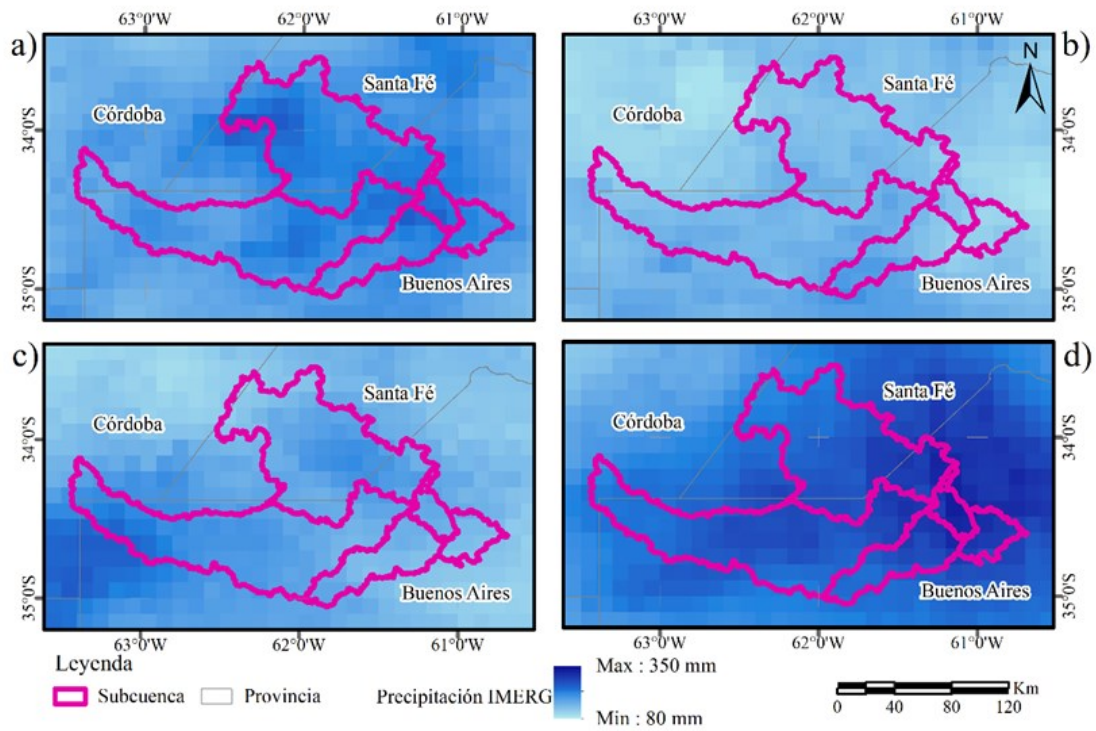


Donde T: temperatura media mensual; P: precipitación media mensual (en mm); ETP: evapotranspiración potencial (en mm); P-ETP: pérdidas o adiciones potenciales de humedad en el suelo; ppa: pérdidas potenciales acumuladas; ST: agua almacenada en el suelo; ETR: evapotranspiración real; Dh: déficit de humedad; S: excedente de humedad; R: escorrentía total;  $\Delta$ ST: cambios del agua almacenada en el suelo.

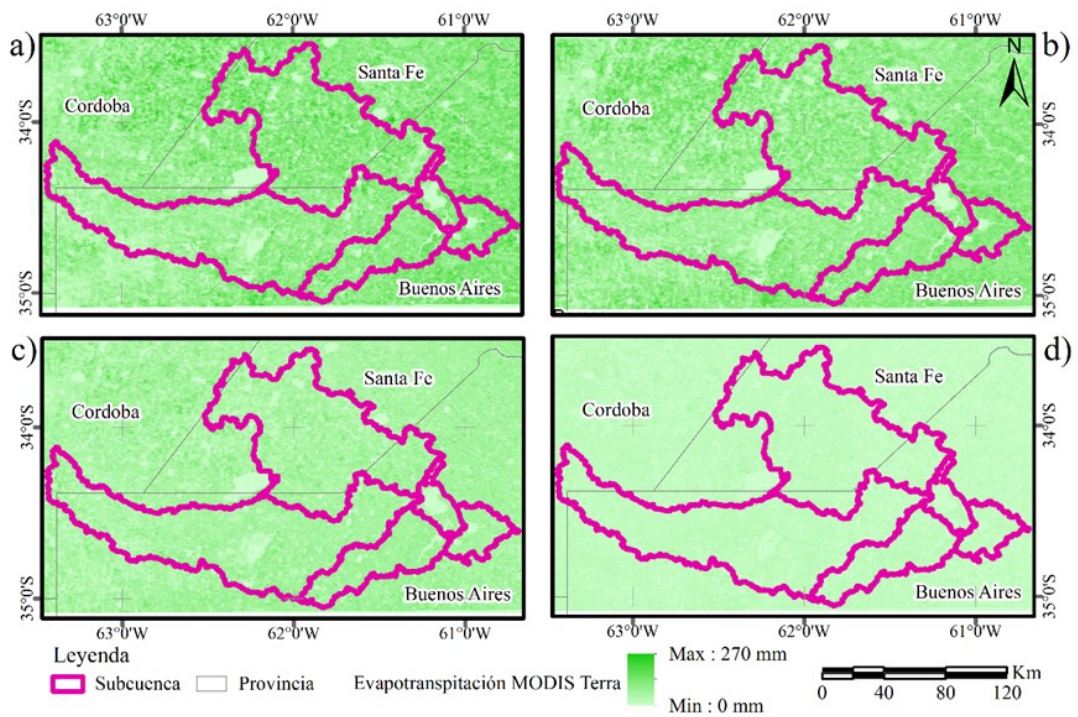
El resultado del procesamiento geoespacial de cada variable para definir el cambio en el almacenamiento de agua terrestre, para el periodo húmedo del año 2017, se muestra en forma secuencial con información satelital, indicando la distribución de la precipitación, evapotranspiración y escorrentía (Figuras 3, 4, 5 y 6, respectivamente), presentado de forma acumulada mensual. En coincidencia, se muestra la distribución de la precipitación acumulada mensual (P) (Figura 3), donde se perciben los valores más altos en el mes de abril, coincidiendo con los datos del SMN, indicando datos superiores a 300 mm, en especial en la subcuenca 3. Opuestamente, los valores más bajos de precipitación se presentaron en febrero.

La distribución geoespacial de la evapotranspiración acumulada mensual expresó otra respuesta, la cual fue reduciéndose desde enero hacia abril en forma homogénea y constante, debido a la reducción de temperatura en la transición de verano a otoño (Figura 4) y cambios fisiológicos de la cobertura vegetal.

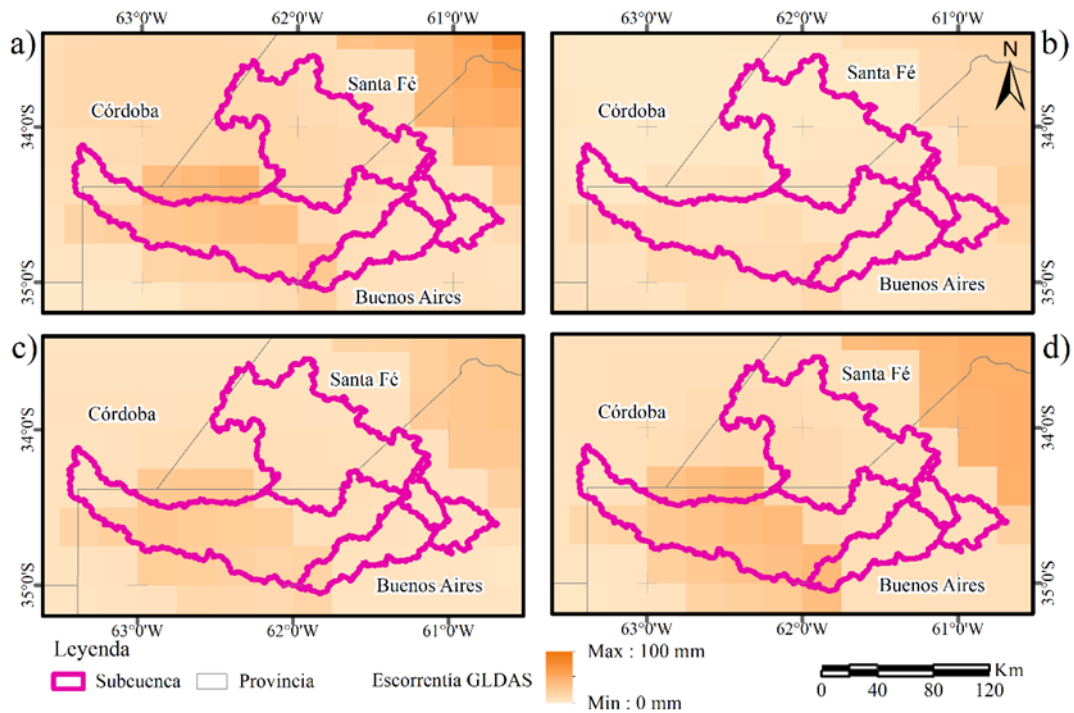
En la Figura 5 se representa la escorrentía acumulada detectada por el sistema GLDAS, que expresa valores mínimos en los meses de febrero y marzo, hasta el inicio de las lluvias en abril. Es importante mencionar que la subcuenca 1 se muestra como el área donde predomina el escurrimiento superficial, debido a su geomorfología.



**Figura 3.** Precipitación acumulada mensual, 2017 (mm) a) enero, b) febrero, c) marzo, d) abril



**Figura 4.** Evapotranspiración acumulada mensual, 2017(mm) a) enero, b) febrero, c) marzo, d) abril



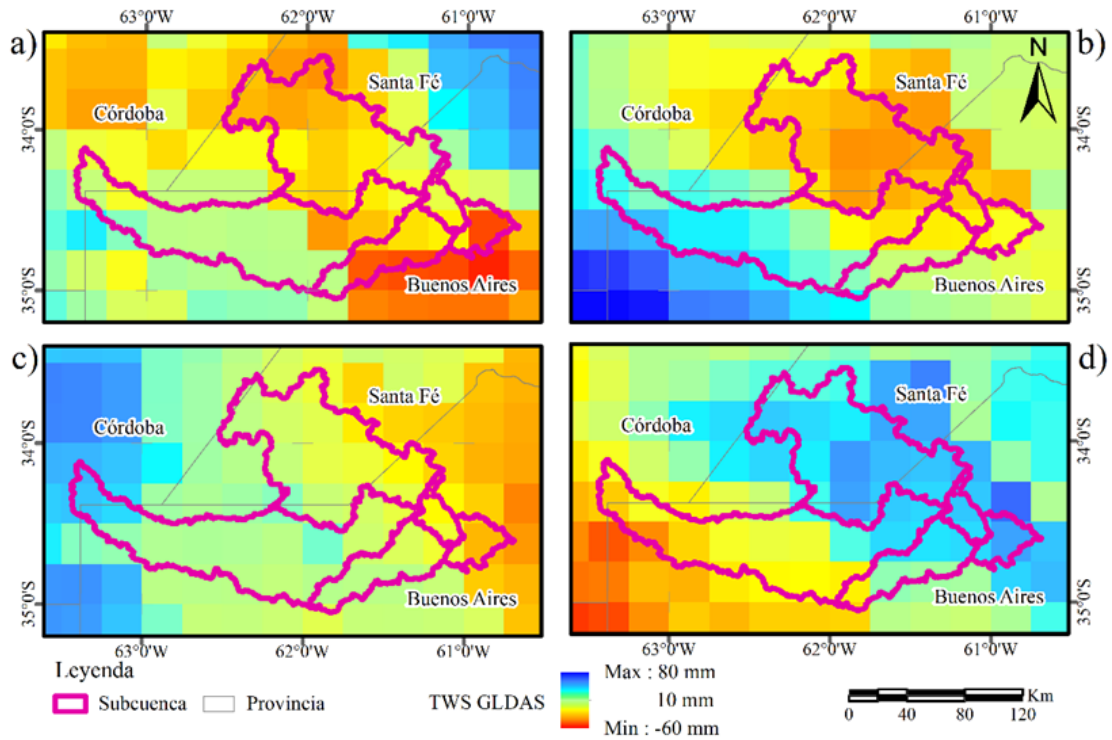
**Figura 5.** Escorrentía acumulada mensual, 2017 (mm) a) enero, b) febrero, c) marzo, d) abril

En la Figura 6 se visualiza que la mayor ganancia hídrica (TWS) es en el mes de abril en la zona este de la subregión A1, representada con colores celeste-azul, mientras que las pérdidas se intensifican en el primer bimestre, indicadas con colores naranja-rojo. Los resultados del análisis geoespacial logrados en el periodo húmedo del año 2017 (Figura 7), expresan el cambio acumulado en el almacenamiento de agua terrestre (P-E-R), siendo en el noroeste de la subregión A1 y subcuena 5, donde se identificó la menor P acumulada, y la máxima se manifestó con 835 mm, en la subcuena 3.

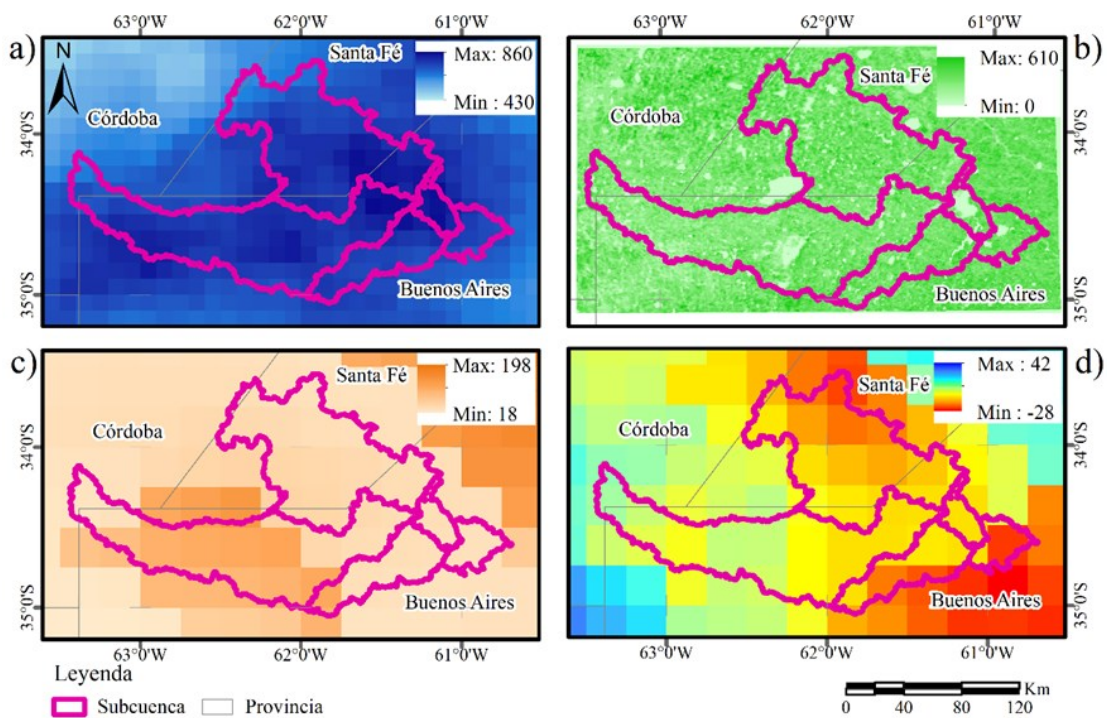
La E fue máxima en la subcuena 5 (275 mm), exponiendo los valores más bajos en áreas de lagunas temporales y de bajos o anegamientos, cercanas a planicies de inundación.

El R satelital mostró el máximo en la subcuena 1 (68 mm), mientras que en el resto de la subregión los valores se mantuvieron uniformes.

En relación con el TWS, se obtuvieron valores negativos, debido a que los tres primeros meses se generaron pérdidas, también representadas en el balance de agua del suelo, y aunque hubo una fuerte precipitación en abril, esta no fue suficiente para cubrir las necesidades hídricas edáficas de todo el periodo considerado.

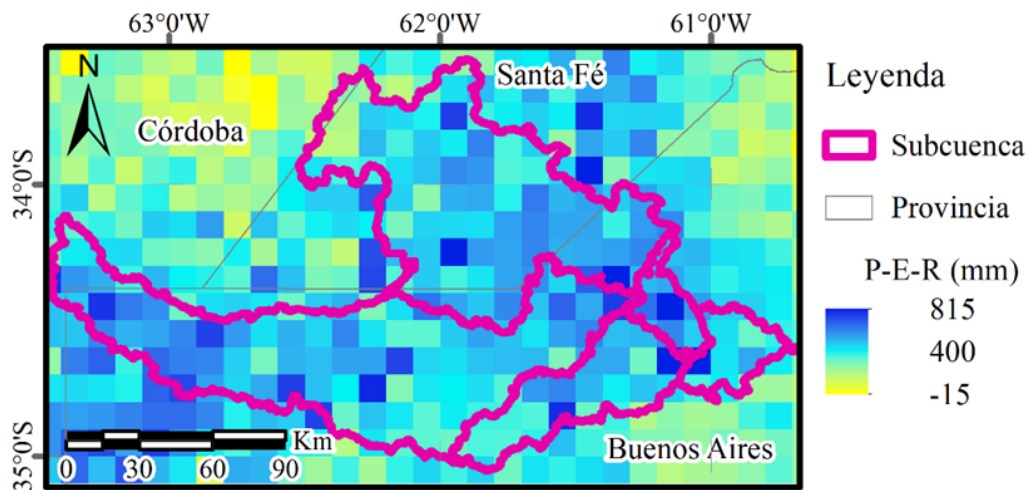


**Figura 6.** TWS mensual, 2017 (mm) a) enero, b) febrero, c) marzo, d) abril



**Figura 7.** Zonificación en valores acumulados (mm) de cada variable del balance hídrico en el periodo húmedo (enero a abril) 2017. a) Precipitación (P), b) Evapotranspiración (E), c) Escorrentía (R), d) Almacenamiento de agua terrestre (TWS)

En la Figura 8 se representa el balance hídrico (P-E-R) a nivel geoespacial para el periodo estudiado, identificando la variabilidad de la disponibilidad hídrica representativa de áreas de llanura, obteniendo valores positivos de disponibilidad hídrica entre el 59 y 72 %, siendo el máximo en la subcuenca 3 y el mínimo en la 5, coincidiendo los identificados anteriormente.



**Figura 8.** Balance hídrico geoespacial para el período enero-abril, 2017 (mm) en la subregión A1

El balance hídrico a nivel volumétrico (millones de metros cúbicos =  $Mm^3$ ) definido por teledetección, reflejó la mayor ganancia en la subcuenca 1 ( $37440,4 Mm^3$ ) debido a su extensa ocupación en la subregión A1, y en contraparte la subcuenca 3 ( $358,2 Mm^3$ ), al ser la más pequeña, generó una menor ganancia hídrica superficial. Las subcuencas 2 y 5 alcanzaron valores semejantes, de  $3204,6$  y  $3551,4 Mm^3$ , respectivamente; y la 4 obtuvo  $904,1 Mm^3$ .

El procedimiento geoespacial aplicado contribuyó en caracterizar cuantitativamente a cada uno de los componentes hídricos del balance en la subregión A1, lo cual permitió observar el comportamiento mensual de la acumulación de agua superficial del periodo húmedo del año 2017.

## DISCUSIÓN

El procesamiento geoespacial del balance hídrico en la subregión A1 otorgó un lineamiento de la diversidad espacial de las variables hidrológicas intervinientes, utilizando productos satelitales de acceso libre y datos de campo.

Por ello, es importante vincular e integrar información meteorológica (precipitación), bases de datos y tecnologías de teledetección espacial, que proporcionan imágenes satelitales, a intervalos regulares, combinadas con parcelas de control, mediante un proceso de validación y ajuste, posibilita hacer efectivo el seguimiento del balance hídrico en extensas áreas agrícolas, como menciona Méndez-Jocik et al. (2021) y/o en cuencas hidrográficas.

Asimismo, el presente trabajo demostró que a través de la combinación de datos superficiales con observaciones desde el espacio se puede obtener información sin precedentes, la cual ofrece una cobertura geográfica global, un buen muestreo espacio-temporal y un monitoreo continuo en el tiempo, como lo expresa Pereira et al. (2018), incluidos cambios del uso del suelo y dinámica de distribución del agua superficial.

Se coincide también, con Dillon et al (2017), en que la generación de cartografía, generada a partir del uso de las geotecnologías, permite construir escenarios, a efectos de que puedan confrontarse con los generados en períodos previos y así, generar, de manera prospectiva, alternativas que permitan adelantar la ocurrencia de los eventos y diseñar planes de mitigación y acción ante la emergencia. Además, como expresa Méndez-Jocik et al. (2021), la integración de información meteorológica, bases de datos en línea y secuencias temporales de imágenes multiespectrales de los sensores espaciales Sentinel 2A y Landsat 8, y otras bases de datos en línea, permite la estimación y la realización del balance hídrico combinado.

Como menciona Rivas (2014), la teledetección es una herramienta útil en estudios hidrológicos y ambientales, debido a que de la combinación de la información espectral se pueden extraer datos de la superficie a muy bajo costo de alta fiabilidad.

## CONCLUSIONES

La utilización de productos de sensores remotos, en zonas de gran extensión, como es el caso de la subregión A1, proporciona una mejora en la identificación espacial de las variaciones temporales y anomalías en parámetros hídricos que intervienen en el balance hídrico y en la descripción de la acumulación de agua superficial terrestre.

La zonificación lograda con teledetección, integrada con los datos capturados en estaciones meteorológicas de la región, en el espacio y en el tiempo, facilitó el entendimiento de la dinámica hídrica, cuyos resultados alcanzados pueden formar parte de un programa de apoyo en emergencias hídricas, por medio de proyectos interinstitucionales. La disponibilidad de imágenes satelitales en plataformas web de acceso libre, permite el acceso a bases de datos geoespaciales a nivel temporal, en una cuenca hidrográfica, colaborando en la gestión sostenible de los recursos hídricos y el territorio.

Se concluye que la metodología aplicada para la definición espacio temporal del balance hídrico con teledetección es óptima para la aplicación en cuencas hidrográficas de gran extensión, representando en forma fehaciente el almacenamiento de agua terrestre y la distribución de la evapotranspiración y el escurrimiento superficial.

## AGRADECIMIENTOS

Las bases de datos climáticas fueron otorgadas por el Centro de Información Meteorológica (CIM) del Servicio Meteorológico Nacional, registradas bajo el Expediente N° 180.923.

Se agradece al Grupo de Trabajo Estudios Tropicales y Cooperación al Desarrollo. Grupo de Investigación Cuaternario y Geomorfología, PAI RNM-273. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla, España, por su colaboración con el modelo HidroBio.

El Proyecto "Sistema Soporte de las Decisiones frente a eventos extremos para la gestión de la Cuenca Alta del Río Salado de la Provincia de Buenos Aires. Estudio

de Impacto Ambiental y Social (EIAyS)", otorgado por el Fondo de Innovación Tecnológica Sectorial de Medio Ambiente y Cambio Climático (FONARSEC) del MINCyT, Convocatoria 2013 (ANPCyT) permitió la financiación de las recorridas a campo.

## REFERENCIAS

Cámara Artigas, R., Martínez Batlle, J. R. y Díaz del Olmo F. (2012). Metodología y aplicaciones de los balances hídrico y bioclimático y su aplicación al estudio ecodinámico de las formaciones vegetales. Geografía Física – República Dominicana. <https://www.geografiafisica.org/2012/09/17/plantilla-para-el-calculo-del-balance-hidrico-y-el-diagrama-bioclimatico/>

Cellone, F. A., Borzi, G. E. y Carol, E. S. (2023). Balances hídricos y teledetección aplicados al estudio de inundaciones en la planicie costera del Río de la Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (84). <https://revistachilenadederecho.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/18625>

Confederaciones Rurales Argentina (CRA) (2017). Inundaciones: informe de la Comisión de Emergencia de CRA. <http://www.cra.org.ar/nota/19758-inundaciones-informe-de-la-comision-de-emergencia-de-cra/>

Dillon, B., Pombo, D. G., Celeste, M., Uncal, M., Diharce, M. C., Escuredo, D. L., Palazzo, L., Pablo, J. y María, J. (2017). Las áreas inundadas y anegadas en el noreste de la provincia de La Pampa. Programa Proyectos Orientado de Interés Regional (POIRe). Resolución 231/2017. Consejo Superior de la Universidad Nacional de La Pampa.

Fernández-Long, M. E., Spescha, L., Barnatán, I. y Murphy, G. M. (2012). Modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA). *Agronomía y Ambiente*, 32(1-2), 31-47. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/4>



Gómez, M. E., Gaspari, F. J., Perdomo, R. A., Simontacchi, L. E., Montealegre Medina, F. A., Rodríguez Vagaria, A. M., Tavarone, M. F. y Senisterra, G. E. (2017). Modelos digitales de elevación: correcciones altimétricas para uso hidrológico en áreas de llanura. *Acta Geológica Lilloana*, 29(1), 39-51.  
<https://www.lillo.org.ar/index.php/publicaciones/acta-geologica-lilloana/v29n1/a03>

Huffman, G. J., Stocker, E.F., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J. y Tan, J. (2019). GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V06 (GPM\_3IMERGDF). [Data set]. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).  
<https://doi.org/10.5067/GPM/IMERGDF/DAY/06>

Méndez-Jocik, A., Núñez-Pérez, A. D. J. y González-Robaina, F. (2021). Remote Sensing Application to Water Resources Management. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(1). <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1369>

Li, B., Beaudoin, H. y Rodell, M. (2020). GLDAS Catchment Land Surface Model L4 daily 0.25 x 0.25 degree GRACE-DA1 V2.2. [Data set]. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).  
<https://doi.org/10.5067/TXBMLX370XX8>

Ospina Montes, D. L. (2016). Análisis de la información proveniente del satélite GRACE para el monitoreo de la acumulación de agua subterránea: caso ejemplo provincia hidrogeológica de los Llanos Orientales. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58052>

Pereira, A., Cornero, C., Amherdt, S. y Pacino, M. C. (2018). Análisis multitemporal del almacenamiento de agua continental en la Cuenca del Plata mediante gravimetría satelital. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

Plan Maestro Integral de la cuenca del río Salado. (1999). MOSP.  
<http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/hidraulica/informacion/planmaestro.php>

Rivas, R. (2014). Aspectos ambientales de la Hidrología. FCH, UNCPBA.

<http://cursosihlla.bdh.org.ar/>

Running, S., Mu, Q. y Zhao, M. (2017). MOD16A2 MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006. [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006>

Tang, Q., Gao, H., Yeh, P., Oki, T., Su, F. y Lettenmaier, D. P. (2010). Dynamics of terrestrial water storage change from satellite and surface observations and modeling. *Journal of Hydrometeorology*, 11(1), 156-170.

<https://doi.org/10.1175/2009JHM1152.1>

Thomas, B., Famiglietti, J., Reager, J. T., Rodell, M. y Bolten, J. (2020). Sinopsis del Satélite GRACE y sus datos y aplicaciones. ARSET (Applied Remote Sensing Training).

Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. (1957). Instruction and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. *Climate Crewel Institute of Technology*, 10(3), 183-311.