



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



RECUPERACIÓN DE NIVELES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA A PARTIR DE ALTIMETRÍA SATELITAL

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Recuperación de niveles de la superficie del agua a partir de altimetría satelital.

Lien Rodríguez López, Longel Durán Llacer, Patricio Fuentes,

Luc Bourrel, Frederic Frappart, José Luis Arumí y Roberto Urrutia.

Febrero 2025.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería,
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile.

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl

Este documento debe citarse como:

Rodríguez, L., Durán, I., Fuentes, P., Bourrel, L., Frappart, F., Arumí, J.L., Urrutia, R., Recuperación de niveles de la superficie del agua a partir de altimetría satelital. Serie Comunicacional CRHIAM, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (ANID/FONDAP/1523A0001). ISSN 0718-6460 (versión impresa), ISSN 0719-3009 (versión online), No. 87, 22pp.

Disponible en: <https://www.crhiam.cl/publicaciones/series-comunicacionales/>



Universidad de Concepción

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

RECUPERACIÓN DE NIVELES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA A PARTIR DE ALTIMETRÍA SATELITAL

Lien Rodríguez López / Jongel Durán Llacer / Patricio Fuentes / Luc Bourrel
Frederic Frappart / José Luis Arumí / Roberto Urrutia

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Lien Rodríguez López

Ingeniera Informática.
Máster en Bioinformática y Biología Computacional.
Doctora en Ciencias Ambientales.
Profesora Asistente e Investigadora
Facultad de Ingeniería,
Universidad San Sebastián, Chile.
Colaboradora CRHIAM.



Jongel Durán Llacer

Geógrafo.
Diplomado en Geografía, Medio Ambiente
y Ordenamiento Territorial,
Universidad de La Habana, Cuba.
Doctor en Ciencias Ambientales
Universidad de Concepción.



Patricio Fuentes

Ingeniero Civil.
Magíster en Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
Universidad San Sebastián, Chile.



Luc Bourrel

Hidrólogo.
Senior Scientist at IRD
GET (Géoscience Environnement Toulouse), UMR 5563
Université de Toulouse,
CNRS, IRD, UPS, CNES, OMP.



Frederic Frappart

PhD in Geophysics and Remote Sensing,
University of Toulouse, France
Major on Engineering
Senior Scientist at INRAE (equivalent Professor)
ISPA. UMR INRAE/Bordeaux Sciences Agro.



José Luis Arumí

Ingeniero Civil.
Doctor of Philosophy.
Major on Engineering.
Profesor Titular Facultad de Ingeniería Agrícola
Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM



Roberto Urrutia

Biólogo.
Doctor en Ciencias Ambientales
Universidad de Concepción, Chile.
Profesor Titular Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM

RESUMEN

La recuperación de los niveles de la superficie del agua a partir de la altimetría por satélite es una técnica avanzada que permite medir de forma precisa y continua, desde el espacio, las variaciones en la altura de masas de agua como lagos, ríos y océanos. Para lograr este procedimiento se utilizan equipos llamados altímetros, montados en diversas misiones satelitales. Esta metodología ofrece una alternativa eficaz para el seguimiento de zonas acuáticas, especialmente en áreas de difícil acceso o donde no existen estaciones de medición terrestres. La altimetría por satélite proporciona información crucial para los estudios hidrológicos, la gestión de los recursos hídricos y el análisis climático, contribuyendo a una mejor comprensión y gestión de los sistemas acuáticos a escala mundial.



INTRODUCCIÓN

La altimetría por satélite es una tecnología desarrollada en la década de 1960, que ha revolucionado el estudio de la variabilidad espaciotemporal del nivel de los océanos y otras masas de agua como lagos y ríos (Kaula William, 1970). Fue desarrollada para mapear la variación de la topografía los océanos, alcanzado errores iniciales de hasta 100 m (Benveniste, 2011). Sin embargo, con el avance de la tecnología, las mediciones altimétricas han demostrado su capacidad de estimar el nivel en grandes cuerpos de agua, comenzando a completar las series temporales existentes o complementar la información faltante dentro de las bases de datos (Biancamaria *et al.*, 2017; Pham-Duc *et al.*, 2022). Esta técnica utiliza radares activos en satélites para medir la altura instantánea de la superficie terrestre y acuática con una exactitud a nivel de centímetros. A diferencia de los sistemas de medición pasivos, que dependen de radiación externa, los sistemas de radar activos utilizan su propia fuente de radiación, lo que les permite funcionar independientemente de la luz y las condiciones meteorológicas (Carabajal & Boy, 2021).

La capacidad de la altimetría por satélite para proporcionar datos precisos y coherentes ha permitido su aplicación en diversos campos, como el monitoreo del nivel de los océanos, lagos y ríos (Biancamaria *et al.*, 2017; Pham-Duc *et al.*, 2022). Esta técnica complementa y, en algunos casos, sustituye a las redes tradicionales de medición, especialmente en zonas remotas, de difícil acceso o donde las estaciones hidrométricas terrestres son poco fiables o ineficaces (Fuentes-Aguilera *et al.*, 2024). Con un marco de referencia global y la capacidad de realizar mediciones sin intervención humana directa, la altimetría por satélite proporciona una herramienta sostenible y eficaz para la gestión de los recursos hídricos. Este enfoque permite un seguimiento continuo y preciso de los niveles de agua, contribuyendo a la investigación científica, la gestión medioambiental y la planificación a largo plazo de los recursos hídricos (Zhang *et al.*, 2022).

¿QUÉ ES UN ALTÍMETRO?

Un altímetro es un instrumento diseñado para medir la altitud de un objeto o punto con respecto a un nivel de referencia dado, como el nivel del mar. Existen varios tipos de altímetros, cada uno basado en principios de funcionamiento diferentes:

- **Altimetro barométrico:** Utiliza la presión atmosférica para calcular la altitud. A medida que asciende en la atmósfera, la presión disminuye, y este cambio se utiliza para determinar la altitud. Son usados habitualmente en aviación y alpinismo.
- **Altimetro de radar:** Emplea ondas de radio para medir la distancia entre el altímetro y el suelo o la superficie del agua. Se utiliza mucho en aviones y satélites para medir altitudes con gran precisión, independientemente de las condiciones meteorológicas o de luz.
- **Altimetro GPS:** Utiliza las señales del satélite GPS para calcular la altitud. Aunque no es tan preciso como los altímetros barométricos o de radar en distancias cortas, proporciona una buena estimación de la altitud y es habitual en los dispositivos de navegación modernos.
- **Altimetro láser:** Funciona enviando pulsos láser al suelo y midiendo el tiempo que tardan en reflejarse de vuelta al instrumento. Este tipo de altímetro es muy preciso y se utiliza en aplicaciones específicas como los levantamientos topográficos y en algunos dispositivos aeronáuticos.

En el contexto de la altimetría por satélite, los altímetros de radar son los más comunes. Estos instrumentos van a bordo de los satélites y miden la distancia entre él y la superficie terrestre o acuática. Los datos obtenidos se utilizan para controlar el nivel de los océanos, lagos y ríos, estudiar los cambios topográficos y realizar investigaciones científicas relacionadas con el clima y el medio ambiente.

LA ALTIMETRÍA HOY: MEDICIÓN DE LA ELEVACIÓN DE LA SUPERFICIE

Las mediciones de altimetría por radar desde el espacio se han realizado de forma continua desde la década de 1990, con series sucesivas de satélites que garantizan el registro ininterrumpido de datos (Zhang *et al.*, 2022). Las series pioneras incluyen ERS-1, ERS-2 de la *European Space Agency* (ESA) y TOPEX/Poseidón de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Posteriormente, las series SARAL, junto con Jason-1, 2 y 3, continuaron el legado de mediciones altimétricas. Durante el mismo periodo, también se lanzaron otros satélites de altimetría como GFO, HY-2A y, especialmente, CryoSat-2, lo que aumentó la amplitud de los datos disponibles. Una nueva era en altimetría comenzó con la serie Sentinel-3, que introdujo una órbita novedosa y comenzó su misión en febrero de 2016 con el lanzamiento del primer satélite, Sentinel-3A.

Esta serie está diseñada para prolongarse en el futuro, proporcionando avances continuos en la medición de la elevación de la superficie y contribuyendo a una amplia gama de aplicaciones científicas y prácticas. Otra misión de gran relevancia es SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*), lanzada en diciembre de 2022. El objetivo de esta misión es observar la variación de la topografía de los océanos y los cambios en cuerpos de agua continentales en el tiempo (Cretaux *et al.*, 2023). En la Figura 1 se muestra una línea de tiempo de las misiones satelitales pasadas, en órbita y las que serán lanzadas dentro de los próximos años.

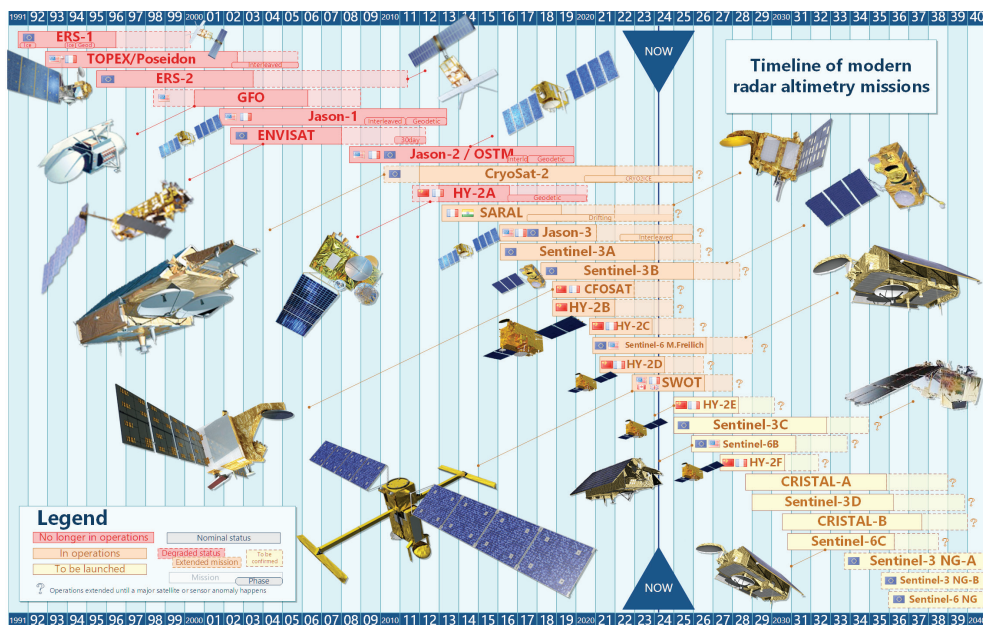


Figura 1.

Línea de Tiempo de las Misiones Satelitales Actuales. Fuente: Aviso+ (2022). <https://doi.org/10.24400/527896/A02-2022.001> versión 2024/05.

TÉCNICAS ALTIMÉTRICAS Y SENSORES

Todas las misiones altimétricas realizan mediciones en el *nadir* (eje vertical bajo el satélite). Debido a ello, las observaciones presentan una extensión espacial muy reducida, lo que constituye la principal limitación de estas misiones. Hoy en día se utilizan dos técnicas: la altimetría convencional en las misiones TOPEX/Poseidon, la serie Jason, SARAL o ENVISAT, denominada LRM (*Low Resolution Mode*, modo de baja resolución), y la altimetría SAR (*Synthetic Aperture Radar*, radar de apertura sintética), también denominada *Delay-Doppler Altimetry* (altimetría con efecto Doppler), que se utiliza en Cryosat2 y la serie Sentinel3.

En estas dos técnicas se utiliza una onda de radar emitida por el satélite directamente hacia la Tierra, que se refleja en la superficie (el agua es el mejor espejo posible, sobre todo cuando está en calma). Se mide el tiempo que tarda la onda en ir y venir entre el satélite y la superficie. Conociendo la velocidad de propagación de esta onda (la velocidad de la luz), se deduce la distancia entre el satélite y la superficie. Este principio es similar al de la reflexión de las ondas sonoras. Cuando se grita hacia un objeto capaz de reflejar el sonido de la voz, como un cañón o una gruta, se escucha el eco de la voz. Si se conoce la velocidad del sonido en el aire, es posible calcular la distancia teniendo en cuenta el tiempo que tarda el sonido en ir y venir. Por esta analogía, también se habla del eco del radar.

Además, por medio de diversos instrumentos a bordo de los satélites (Ej. DORIS, GPS, reflectores láser, entre otros), la altitud y la posición de éste pueden conocerse con gran precisión. Realizando la sustracción correspondiente, además de las correcciones necesarias por el paso por las diferentes capas de la atmósfera, se deduce la altura de la superficie con respecto a una referencia, y se observan las variaciones de esta altura a medida que el satélite pasa sucesivamente sobre el mismo punto.

La referencia utilizada en los datos básicos es un elipsoide, una forma geométrica similar a una esfera con los polos achatados, no muy diferente de la de la Tierra. Sin embargo, en hidrología se utiliza con más frecuencia el geoide, una superficie de igual gravedad (equipotencial del campo gravitatorio) que se asemeja más a la forma real de la Tierra, deformada por los relieves. En general, se proporciona una superficie de referencia (geoide) junto con los datos altimétricos, aunque existen otras fuentes que proporcionan un geoide más preciso. El uso de esta referencia permite obtener la altitud de la superficie del agua y, por tanto, la pendiente, una variable crucial en hidrología.



COBERTURA ESPACIOTEMPORAL DE LAS MEDICIONES

La altimetría actual no es una técnica de elaboración de imágenes: el satélite explora lo que se encuentra directamente bajo él. Además, la órbita de un satélite altimétrico se selecciona tratando de alcanzar el equilibrio entre el muestreo espacial y el muestreo temporal: si un satélite pasa con frecuencia por encima de un mismo punto (muestreo temporal elevado), cubrirá menos territorio que con un periodo más prolongado (muestreo temporal más limitado). En la Figura 2 se aprecia las órbitas de las misiones Sentinel-3A (Figura 2a) y CryoSat-2 (Figura 2b). Es posible notar la densidad en el paso de los respectivos satélites y la cobertura mundial en ambos casos. Cada misión presenta una órbita diferente, con densidad variables a lo largo del planeta.

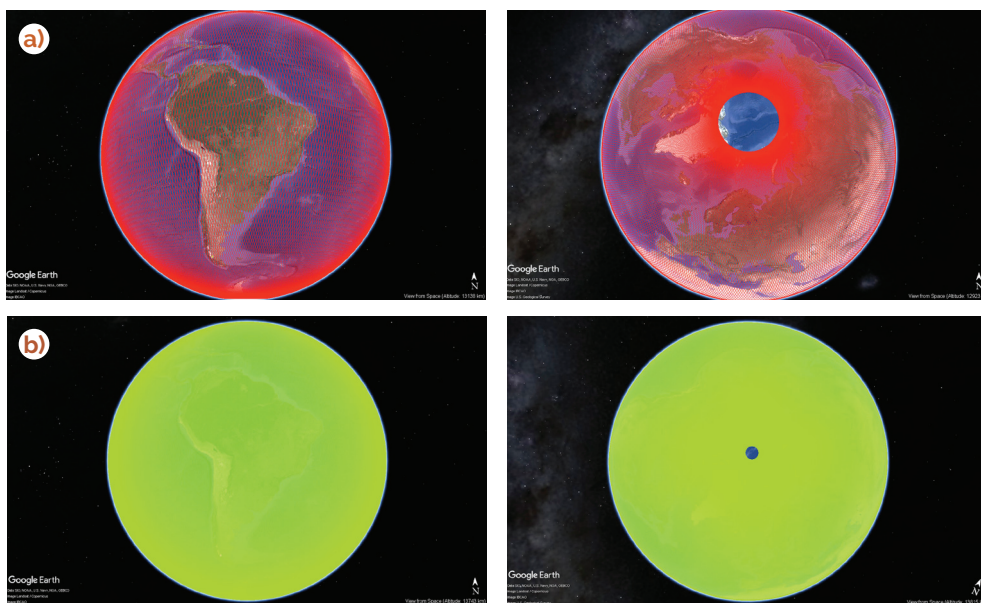


Figura 2.

Órbitas satelitales de las misiones a) Sentinel-3A y b) CryoSat-2.

Fuente: Google Earth.

DATOS DISPONIBLES

En altimetría clásica aplicada a la hidrología, existen dos grandes categorías de datos:

- Datos de tipo *Geophysical Data Records* (GDR) y *Sensor Geophysical Data Records* (SGDR), que contienen todos los elementos necesarios para calcular una altura de agua cada 1 s y $1/20^\circ$ s a lo largo del rastro de cada satélite. Actualmente, estos datos se encuentran en formato NetCDF, autodescrito y estandarizado (lo que aún no es el caso de todos los datos de la década de 1990). Existen variantes con algoritmos recientes, que pueden revestir mayor interés para la hidrología. Estos datos son completos, pero complejos de utilizar.
- Datos de alturas de agua precalculados, en determinados cursos de agua y lagos, a menudo suministrados en formato de texto o CSV. Son más sencillos de utilizar, pero no se calculan en todas partes. Estas bases de datos, que son de acceso libre y gratuitas, tienen como objetivo realizar un inventario de las alturas de agua por satélite del máximo de cursos de agua posibles para brindar a los diversos usuarios (como gobiernos, institutos de investigación, oficinas de proyectos, etc.) la posibilidad de realizar un seguimiento de los recursos hidráulicos.

MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN DEL NIVEL Y VOLUMEN DEL AGUA PARA EL LAGO RANCO

El lago Ranco es uno de los lagos más grandes de Chile y se ubica en la Región de Los Ríos. Posee un área aproximada de 442 km² y un perímetro de 154 km (Figura 3). La zona presenta un clima templado húmedo con características mediterráneas (Aranda *et al.*, 2021). En este cuerpo de agua continental se desarrollan una gran cantidad de actividades económicas, entre las que destacan la agricultura, el turismo y la silvicultura (Torres-Álvarez *et al.*, 2011).

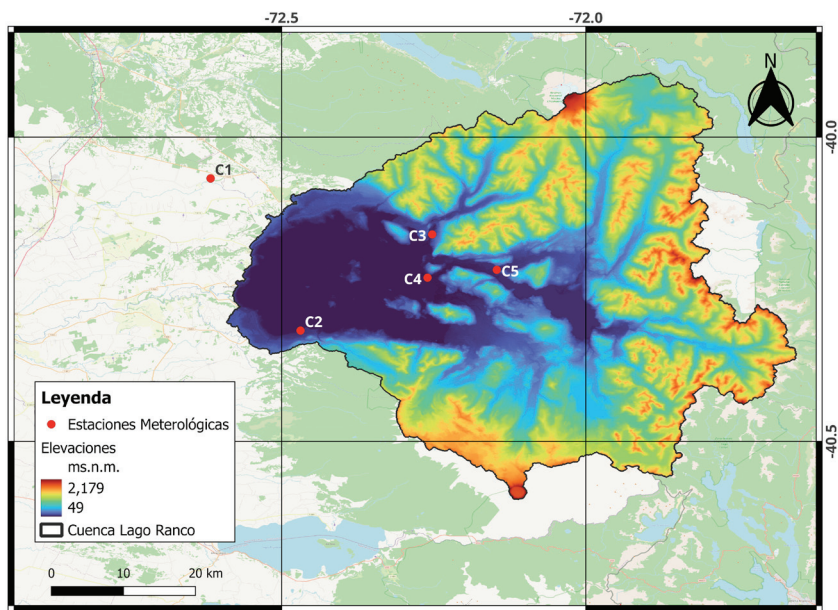


Figura 3.

Cuenca de lago Ranco y ubicación de estaciones meteorológicas.
Fuente: Elaboración propia.

La Dirección General de Aguas (DGA) ha registrado de manera mensual los niveles de este lago entre 2017 y 2023, con algunas interrupciones en el registro. Estos datos fueron obtenidos de la estación Lago Ranco (código BNA 10307005-8), denominada como C2 en la Figura 2. Con el fin de complementar la información registrada por la DGA, se propone el uso de la altimetría satelital. En este caso se utiliza la información de la misión satelital Sentinel-3A. Esta misión fue lanzada el 16 de febrero de 2016 y posee una órbita a 814,5 km de altitud (Donlon *et al.*, 2012). La información satelital proviene de los *Geophysical Data Records* (GDR) disponible en CNES/ISRO y la ESA.

Estos datos son procesados por medio del software ALTiS (*Altimetric Time Series*), que permite el procesamiento de la información satelital y la vi-

sualización de los niveles de los cuerpos de agua evaluados (Frappart *et al.*, 2021). Los resultados del procesamiento de datos de la misión Sentinel-3A y el registro de la Dirección General de Aguas se aprecian en la Figura 4.

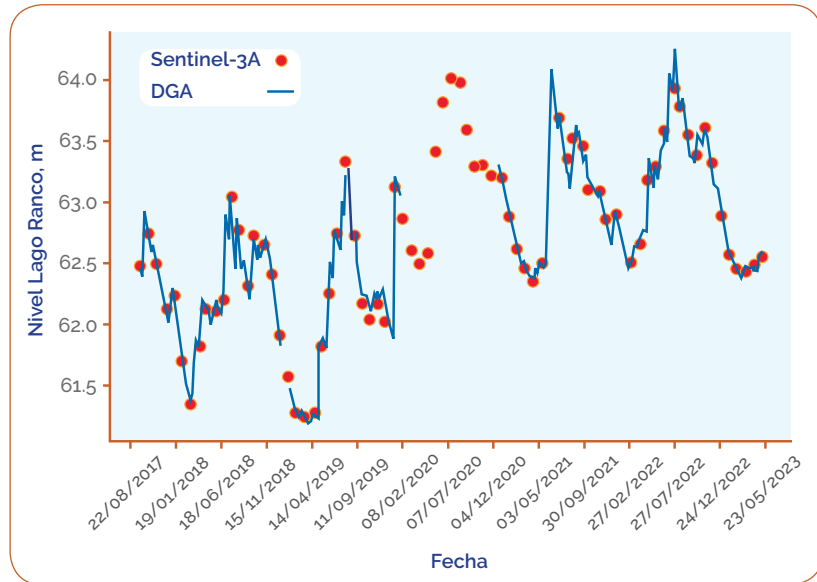


Figura 4.

Comparación de nivel de lago obtenidos por altimetría satelital (puntos rojos) y registrados por la DGA (línea azul). Fuente: DGA.

Los niveles obtenidos fueron comparados con los registros *in situ* por medio de diversas funciones objetivos, con el fin de evaluar el desempeño de la altimetría satelital en la estimación de los niveles del Lago Ranco. Para ello se utilizó la eficiencia de Kling-Gupta (KGE), que se centra en evaluar la correlación, desviación y variabilidad de los datos estimados (Gupta *et al.*, 2009). Se considera un buen ajuste si $KGE \geq 0.6$. Adicionalmente, se utilizará la raíz del error cuadrático medio (RMSE), como criterio multifunción, centrado en los datos simulados (Medina & Muñoz, 2020). Si el valor de RMSE es menor a la mitad de la desviación estándar de

los datos observados, se considera un buen ajuste (Singh *et al.*, 2015). A través de este procedimiento se obtiene un valor de KGE de 0.90 y un RMSE de 0.04 m (con una desviación estándar de 0.64 m), por lo que la altimetría satelital otorga datos con un buen nivel de ajuste con respecto a lo registrado por las estaciones de monitoreo *in situ*. Una vez validado el modelo, y contando con información topo-batimétrica del lago Ranco, es posible la estimación de su volumen, combinándola con los datos de nivel, obteniendo los resultados de la Figura 5.

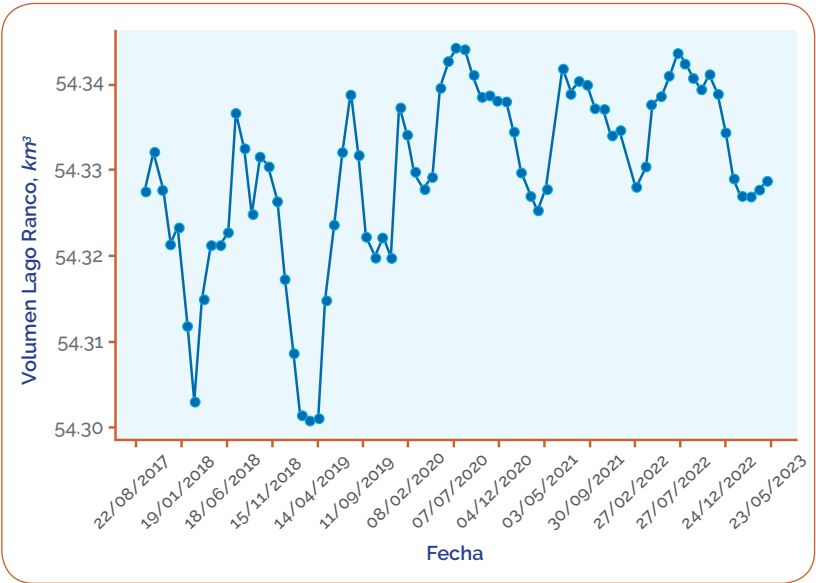


Figura 5.

Variación del volumen del lago Ranco estimado a partir de datos de altimetría satelital. Fuente: DGA.

CONCLUSIONES

La altimetría satelital se consolida como una herramienta crucial para la determinación precisa de los niveles de la superficie del agua en el Lago Ranco, lo que a su vez permite una estimación más exacta de su volumen. Esta tecnología adquiere especial relevancia, ya que ofrece una solución viable para el monitoreo de lagos que carecen de instrumentación directa, ya sea por limitaciones de recursos, problemas de accesibilidad o condiciones geográficas adversas.

Además, la altimetría por satélite no sólo proporciona datos continuos y a gran escala, sino que también permite un seguimiento temporal detallado de las fluctuaciones en los niveles de agua, facilitando así la identificación de patrones a largo plazo y la toma de decisiones informadas en la gestión de los recursos hídricos. Su aplicación representa un avance significativo en hidrología, especialmente en regiones remotas donde el acceso físico y la instalación de instrumentos tradicionales serían poco prácticos o demasiado costosos.

REFERENCIAS

- Aranda, A. C., Rivera-Ruiz, D., Rodríguez-López, L., Pedreros, P., Arumí-Ribera, J. L., Morales-Salinas, L., Fuentes-Jaque, G., & Urrutia, R. 2021. Evidence of climate change based on lake surface temperature trends in south central Chile. *Remote Sensing*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/rs13224535>
- Benveniste, J. 2011. Radar altimetry: Past, present and future. In *Coastal Altimetry* (pp. 1–17). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12796-0_1
- Biancamaria, S., Frappart, F., Leleu, A. S., Marieu, V., Blumstein, D., Desjonquères, J. D., Boy, F., Sottolichio, A., & Valle-Levinson, A. 2017. Satellite radar altimetry water elevations performance over a 200 m wide river: Evaluation over the Garonne River. *Advances in Space Research*, 59(1), 128–146. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.10.008>
- Carabajal, C. C., & Boy, J. P. 2021. Lake and reservoir volume variations in South America from radar altimetry, ICESat laser altimetry, and GRACE time-variable gravity. *Advances in Space Research*, 68(2), 652–671. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.04.022>
- Cretaux, J. F., Calmant, S., Papa, F., Frappart, F., Paris, A., & Berge-Nguyen, M. 2023. Inland Surface Waters Quantity Monitored from Remote Sensing. In *Surveys in Geophysics* (Vol. 44, Issue 5, pp. 1519–1552). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09803-x>
- Donlon, C., Berruti, B., Buongiorno, A., Ferreira, M. H., Féménias, P., Frerick, J., Goryl, P., Klein, U., Laur, H., Mavrocordatos, C., Nieke, J., Rebhan, H., Seitz, B., Stroede, J., & Sciarra, R. 2012. The Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Sentinel-3 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120, 37–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.024>

- Frappart, F., Blarel, F., Fayad, I., Bergé-Nguyen, M., Crétaux, J. F., Shu, S., Schreggenberger, J., & Baghdadi, N. 2021. Evaluation of the performances of radar and lidar altimetry missions for water level retrievals in mountainous environment: The case of the swiss lakes. *Remote Sensing*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/rs13112196>
- Fuentes-Aguilera, P., Rodríguez-López, L., Bourrel, L., & Frappart, F. 2024. Recovery of Time Series of Water Volume in Lake Ranco (South Chile) through Satellite Altimetry and Its Relationship with Climatic Phenomena. *Water*, 16(14), 1997. <https://doi.org/10.3390/w16141997>
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- Kaula William. 1970. *The Terrastrial Environment: Solid-Earth and Ocean Physics*.
- Medina, Y., & Muñoz, E. 2020. Estimation of annual maximum and minimum flow trends in a data-scarce basin. Case study of the Allipen River watershed, Chile. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010162>
- Pham-Duc, B., Frappart, F., Tran-Anh, Q., Si, S. T., Phan, H., Quoc, S. N., Le, A. P., & Viet, B. Do. 2022. Monitoring Lake Volume Variation from Space Using Satellite Observations—A Case Study in Thac Mo Reservoir (Vietnam). *Remote Sensing*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/rs14164023>
- Singh, J., Knapp, H. V., & Demissie, M. (n.d.). *Hydrologic Modeling of the Iroquois River Watershed Using HSPF and SWAT*.

- Torres-Álvarez, O., Peña-Cortés, F., & De, A. 2011. Zonificación del potencial energético de la biomasa residual forestal en la cuenca del lago Ranco, Chile. Antecedentes para la planificación energética regional Zoning the energy potential of forest residual biomass in the watershed of Ranco Lake. *Background for regional energy planning*. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000100000>
- Zhang, B., Wu, Y., Zhao, B., Chanussot, J., Hong, D., Yao, J., & Gao, L. 2022. Progress and Challenges in Intelligent Remote Sensing Satellite Systems. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 1814–1822. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3148139>



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



RECUPERACIÓN DE NIVELES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA A PARTIR DE ALTIMETRÍA SATELITAL