



Cartógrafo.CL/01-2021



Diego Alarcón Díaz

Ingeniero de Ejecución
en Geomensura.
Candidato EAGLE
Master (Applied
Remote Sensing Courses
for the Environment).
Universidad de
Wurzburgo

Alemania



diego.alarcondiaz@gmail.com

Análisis de la disminución del cuerpo de agua de la laguna de Aculeo utilizando imágenes de radar de Sentinel-1A/1B y del Global Surface Water Explorer

RESUMEN

La laguna de Aculeo está ubicada en la comuna de Paine, en la Región Metropolitana de Chile. A partir del año 2010, el nivel de su cuerpo de agua experimentó uno de los mayores cambios evidenciados en el país y que, en el 2018, dejó la laguna completamente seca. Este documento intenta mostrar los cambios en este cuerpo de agua, mediante los productos de nivel 1 Single Look Complex (SLC), de Sentinel-1A y 1B, y los datos de la Comisión Europea del Global Surface Water Explorer. Los datos obtenidos de Sentinel-1 corresponden al período comprendido entre abril de 2017 a abril de 2018. Estos capturaron el último período donde se observó agua en la laguna.

El proceso de datos se realizó con el software SNAP, que permitió la visualización y creación de imágenes de radar coherentes y mostró la etapa final de la cuenca. Las imágenes fueron procesadas mediante un script creado en R para este fin, el que se utilizó para ajustarlas, calcular el cuerpo de agua de cada imagen y generar un gráfico para observar la disminución en el área de la laguna, en una curva modelada a partir de la información de Sentinel-1. La información anual del Global Surface Water Explorer permitió observar la disminución desde el 2010. Se adicionó un cuerpo estacional de agua, para mostrar la cantidad de lluvia que aumenta o disminuye con los años, que proporciona otro parámetro para incluir en posteriores estudios detallados de la zona. Con Sentinel-1 y Global Surface Water, fue posible comparar la información generada y entregar una primera visión para analizar lo que está sucediendo en la laguna.



INTRODUCCIÓN

El satélite Sentinel-1 tiene la capacidad de obtener imágenes de la Tierra en alta resolución, que permite estudiar determinadas zonas con resolución temporal continua, independiente del clima. Además, es posible detectar cuerpos de agua debido a la huella de retrodispersión de señales acústicas (*backscatter*), particularidad que posee el agua al reflejar la onda del radar (doble rebote). Los humedales, tal como se definen en la Convención de Ramsar, incluyen todos los lagos y ríos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes de coral y todos los sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas, entre otros (ESA Sentinel, 2020).

La disminución de los volúmenes de los cuerpos de agua está geográficamente más concentrada que aquellos que presentan ganancia (Pekel *et al.*, 2016). Más del 70% de la pérdida permanente neta mundial de agua se produjo en Oriente Medio y Asia Central, vinculada a sequías y acciones humanas, incluidos la desviación de ríos, represas y modificación de cursos no regulados (Pekel *et al.*, 2016).

La laguna de Aculeo ha sido uno de los cuerpos de agua más importantes de la Región Metropolitana de Chile. A lo largo de los años, su volumen de agua ha tenido una disminución sostenida entre el 2010 al 2018. Al observar los datos obtenidos para analizar el comportamiento del volumen de agua de la laguna de Aculeo en este tiempo, es posible observar que su agotamiento fue persistente y acelerado entre 2010 a 2015; esto debido a la sequía que afectaba a la zona central de Chile y a las actividades humanas que se desarrollaban en el área (Alaniz *et al.*, 2019). El análisis se realizó con técnicas de teledetección, beneficiando directamente a la población local de la laguna. La sequía tiene un impacto significativo y medible en sus habitantes, no solo turístico sino que también agrícola (The Straits Times, march 20, 2019), debido a las economías locales que dependen de ella.

Los datos obtenidos del satélite Sentinel-1, correspondientes a muestras de nivel 1 Single Look Complex (SLC), fueron procesados con [Sentinel Application Platform \(SNAP\)](#) y muestreados a una resolución de 30 metros, para asimilarlos a una resolución más baja del Global Surface Water Explorer, necesario para este estudio.

<https://www.ramsar.org>

La superficie global de las aguas ha sido obtenida de imágenes satelitales con resoluciones espaciales gruesas (Prigent *et al.*, 2012). Los datos utilizados en este estudio complementan lo anterior mediante el uso de imágenes Landsat 5, 7 y 8 ortorrectificadas y multitemporales, que abarcan los últimos 18 años, de modo de poder cartografiar la variabilidad espacial y temporal de las aguas superficiales en Chile y sus cambios a lo largo del tiempo (Pekel *et al.*, 2016).

Por último, se creó un script en lenguaje R para calcular el área del cuerpo de agua cada mes del año en ambos tipos de datos, y ejecutar una comparación por análisis, de manera de comprobar si tanto la curva de datos de Sentinel-1 como los datos de Global Surface Water Explorer eran semejantes. Lo anterior, proporcionó una visión preliminar respecto de que si la sequía actual era natural (p. ej., curva fenológica) o bien por actividades humanas (p. ej., plantaciones), manifestándose en diferentes tendencias o curvaturas (Zhoua *et al.*, 2015), pero con comportamiento y tendencias asociadas a una determinada función.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se explican los materiales y métodos que se han utilizado para detectar los cambios en la laguna de Aculeo, y el orden de los procesos elaborados, utilizando datos libres y software, para el análisis temporal que represente de forma clara la información relacionada con el cuerpo de agua de la laguna.

Materiales

En primer lugar, desde la Comisión Europea del Global Surface Water Explorer se obtuvieron los datos de aguas superficiales de Chile, a partir de los cuales se creó un script en R y se modeló un gráfico para visualizar los años en que inician los efectos de la sequía

Se utilizó un conjunto de 23 imágenes Sentinel-1 del Centro de Datos Científicos de la European Spatial Agency (ESA), las que fueron capturadas entre abril de 2017 a abril de 2018. Estas representan el último período de aguas superficiales en la laguna de Aculeo (Tabla 1).

Tabla 1. Datos Sentinel utilizados

Scenes	Scenes
S1A_IW_SLC_1SDV_20170429T232727_20170429T232755_016365_01B172_A957	S1B_IW_SLC_1SDV_20171219T232659_20171219T232726_008794_00FA86_427F
S1B_IW_SLC_1SDV_20170728T232658_20170728T232725_006694_00BC69_4874	S1B_IW_SLC_1SDV_20171231T232659_20171231T232726_008969_010025_AECD
S1B_IW_SLC_1SDV_20170809T232659_20170809T232726_006869_00C17A_9250	S1B_IW_SLC_1SDV_20180205T232658_20180205T232725_009494_011150_ECF8
S1B_IW_SLC_1SDV_20170821T232659_20170821T232726_007044_00C690_C1C1	S1B_IW_SLC_1SDV_20180217T232658_20180217T232725_009669_011711_OBA6
S1B_IW_SLC_1SDV_20170914T232700_20170914T232727_007394_00D0C6_B021	S1B_IW_SLC_1SDV_20180301T232658_20180301T232725_009844_011CDC_480A
S1B_IW_SLC_1SDV_20170926T232700_20170926T232727_007569_00D5D2_635C	S1B_IW_SLC_1SDV_20180313T232658_20180313T232725_010019_0122B3_BEE2
S1B_IW_SLC_1SDV_20171008T232701_20171008T232728_007744_00DAD8_C6C8	S1B_IW_SLC_1SDV_20180325T232658_20180325T232725_010194_012862_1C35
S1B_IW_SLC_1SDV_20171020T232701_20171020T232728_007919_00DFD2_6797	S1B_IW_SLC_1SDV_20180406T232658_20180406T232725_010369_012E16_9D29
S1B_IW_SLC_1SDV_20171101T232701_20171101T232728_008094_00E4D8_46E3	S1B_IW_SLC_1SDV_20180418T232658_20180418T232725_010544_0133AA_B289
S1B_IW_SLC_1SDV_20171113T232701_20171113T232727_008269_00EAO_C24A	S1B_IW_SLC_1SDV_20180430T232659_20180430T232726_010719_013946_14FC
S1B_IW_SLC_1SDV_20171125T232700_20171125T232727_008444_00EF5F_E8B2	S1B_IW_SLC_1SSV_20170505T232709_20170505T232736_005469_00995F_E21F
S1B_IW_SLC_1SDV_20171207T232700_20171207T232727_008619_00F4ED_8355	

Las imágenes Sentinel-1 se obtuvieron del Alaska Satellite Facility (ASF) y se descargaron utilizando el software libre Aria2.

<https://asf.alaska.edu>

El modo Swath usado para este estudio es la franja ancha interferométrica, que consiste en datos SAR (Synthetic Aperture Radar) centrados, que utilizan el ancho de banda completo de la señal C y preservan la información de la fase. Además, de acuerdo con Muro *et al.* (2016) se utilizan dobles imágenes polarimétricas (VV-VH), que permitan el cálculo de las propiedades de polarización del terreno, además del *Backscatter* que podría definirse a partir de una sola polarización.

Las imágenes raw (sin procesar) se pre-procesaron en SNAP.

<https://aria2.github.io>

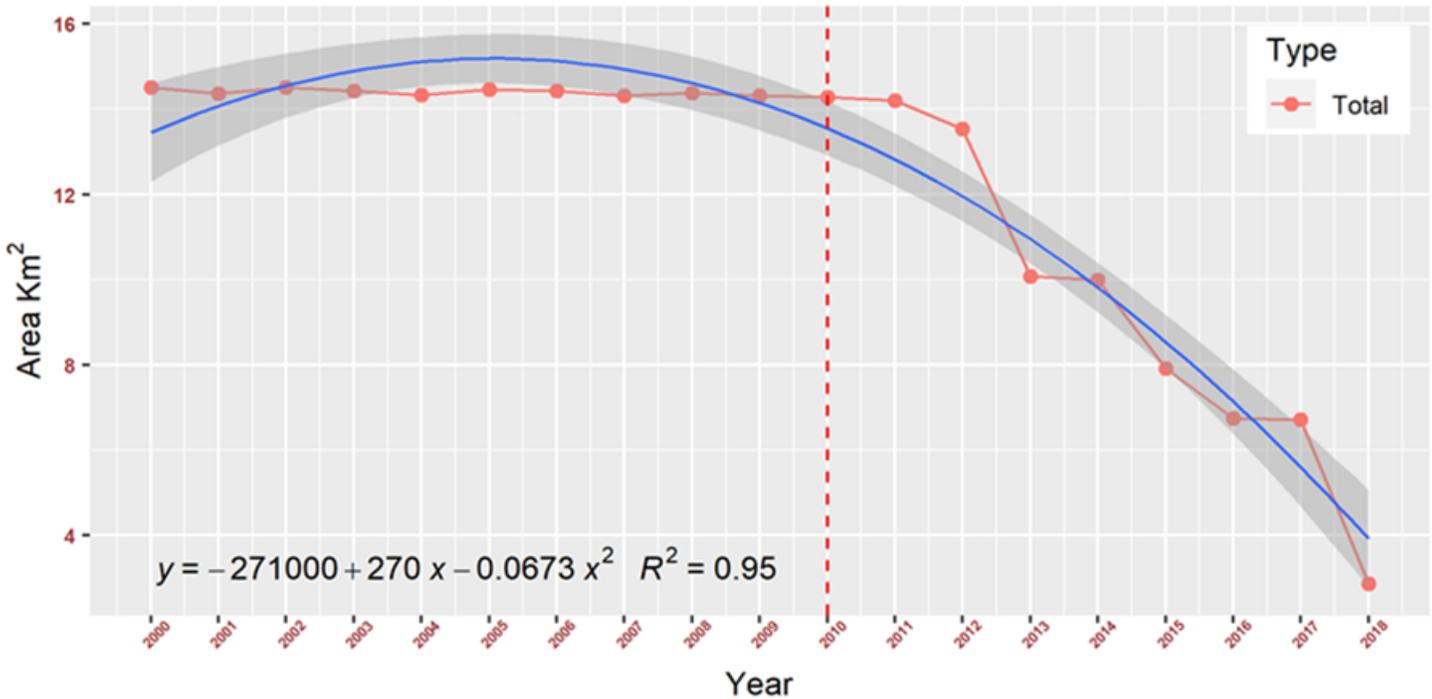
Métodos

Se deben obtener las imágenes Sentinel-1 pre-procesadas, mediante SNAP; luego es necesario exportar dichas imágenes en un formato .TIFF; finalmente, las imágenes son analizadas mediante un algoritmo programado en "R", donde se evalúa el número de píxeles de la región de interés exportado desde SNAP de la laguna de Aculeo. Los umbrales de los píxeles clasificados se obtuvieron al analizar el histograma de las imágenes de coherencia en SNAP.

Al final, utilizando el script programado en R, se crea un gráfico donde es posible observar la disminución progresiva, hasta la desaparición de la laguna de Aculeo.

RESULTADOS

A partir de los datos de la Comisión Europea del GSW (Global Surface Water) para las aguas superficiales de Chile, y el script programado en R, se pudieron observar que los años críticos fueron 2017 y 2018. Desde ese momento se decide que los datos a utilizar deben ser de series temporales desde abril de 2017 hasta abril de 2018, que fue el último mes en el que se pudo observar la laguna con agua (Figura 1).



Pasos seguidos en SNAP para pre-procesar las imágenes Sentinel-1, utilizando Graph Builder (Figura 2):

- **Chequeo:** Se verificaron todas las imágenes obtenidas y se comprobó si el proceso de descarga fue realizado correctamente.
- **Aplicación de archivo de órbita:** Los datos de la órbita son necesarios para mejorar la calidad de la geocodificación, además de otros resultados de procesamiento SAR.
- **Aplicación del operador TOPSAR-SPLIT:** Que permite seleccionar las subfranjas donde se encuentra el área de estudio o de interés.
- **Calibración:** Etapa que permite disponer de imágenes en las que los valores de píxeles deben estar directamente relacionados con el *backscatter* de la imagen. En el presente estudio se utilizó la corrección radiométrica Gamma0, considerando la ondulación del terreno y la situación geográfica específica del área de estudio. Durante la calibración fue necesario guardar el proyecto de salida en un formato complejo, para generar la matriz polarimétrica.
- **Aplicación del operador TOPSAR-DEBURST:** Que permite afinar la polarización a utilizar, considerando que se desea detectar y analizar un cuerpo de agua, se seleccionó la polarización VV, con la cual se obtiene una señal más clara del rebote.

Figura 1. Gráfico de series temporales de los datos GSW de la laguna de Aculeo desde 2000 hasta 2018, este año fue el último en que fue posible ver agua en la laguna. Fuente: EC JCR/ Google.

- **Ajuste de Herramienta Multilook:** En su menú es posible ajustar tanto la resolución como el tamaño del píxel.
- **Aplicación de filtro SPECKLE:** Las imágenes SAR se ven afectadas por interferencias o “ruidos” de alta frecuencia, por lo que es necesario aplicar este filtro para obtener una imagen más clara para su análisis. Más información del Filtro SPECKLE en:-----
- **Corrección de ondulación del terreno:** Debido a que el área de estudio se encuentra en un lugar geográfico rodeado de montañas y con marcadas diferencias de altura. Se utilizó un SRTM de 3 segundos.
- **Corrección del terreno:** Corrección de las distorsiones geométricas que pueden conducir a errores de geolocalización. La corrección del terreno desplaza los píxeles de la imagen a la relación espacial correcta entre ellos. Además, en esta parte del proceso se debe tener en cuenta el tamaño de píxel del cuerpo de agua superficial global, de modo de poder hacer una comparación entre ambos y seguir utilizando la misma escala en todo el estudio.

https://earth.esa.int/documents/653194/656796/Speckle_Filtering.pdf

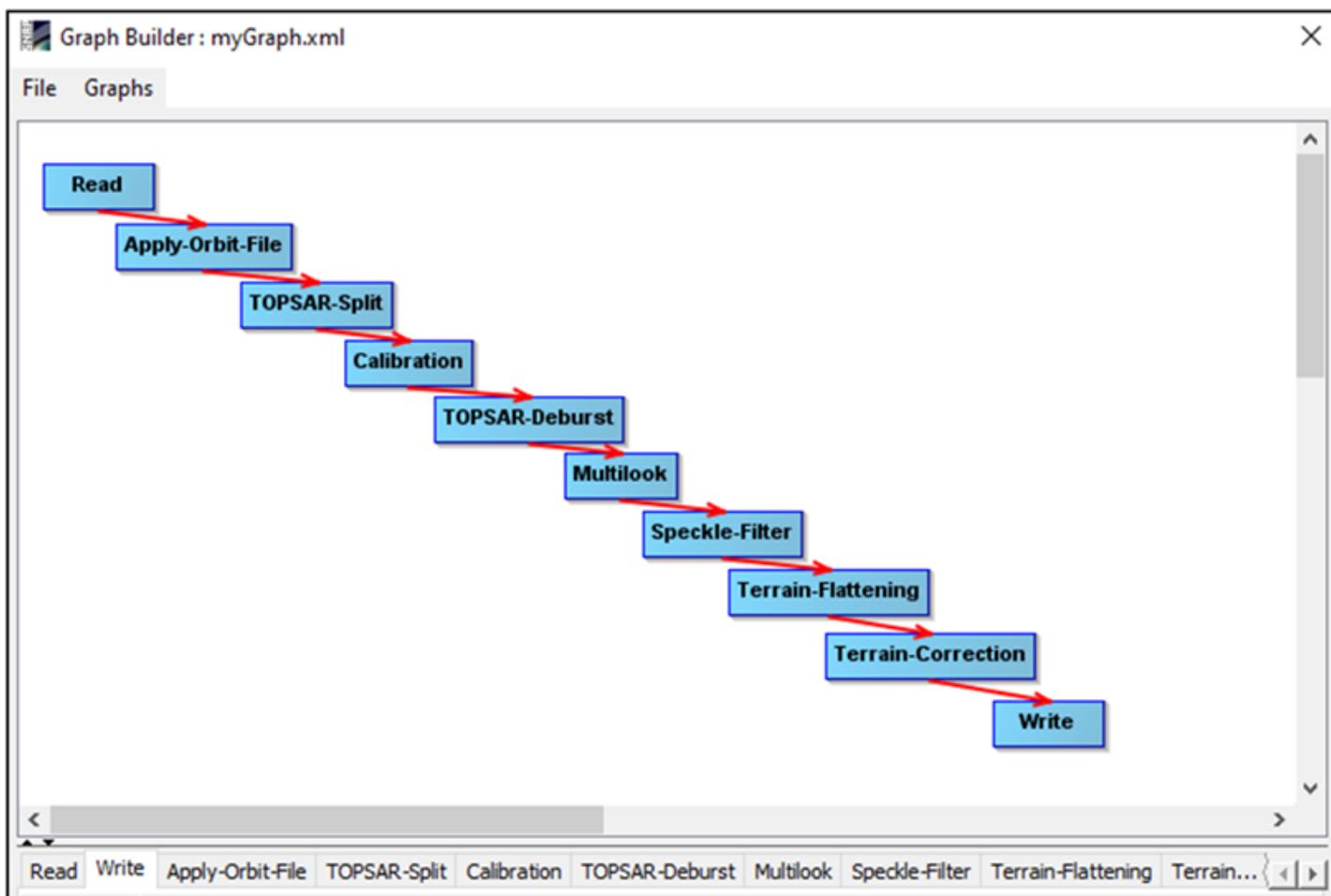
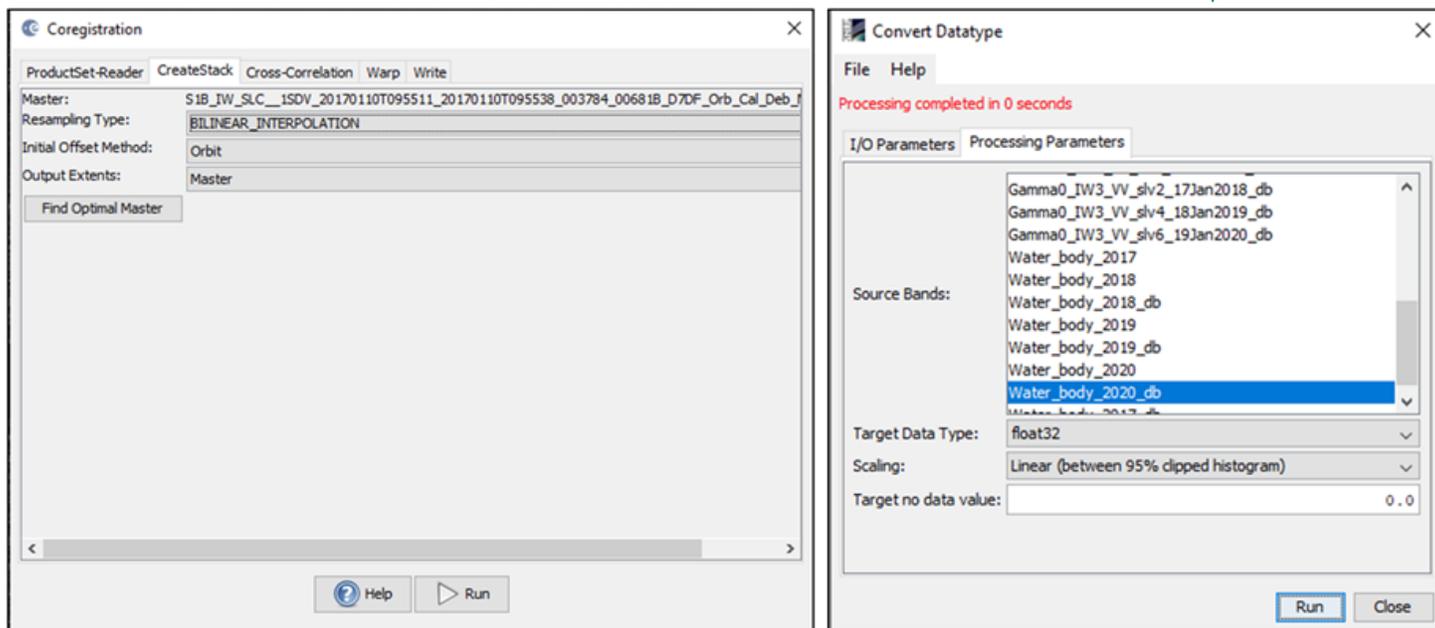


Figura 2. “Graph Builder” en SNAP con el preproceso realizado para cada imagen.

En el procesamiento de las imágenes Sentinel-1 se ejecutaron los siguientes pasos directamente en SNAP, específicamente en el módulo "Coregistration" (Figura 3):

- Se creó el directorio por lotes (batch directory): En una nueva carpeta se guardaron las imágenes procesadas por lotes.
- Se generó un procesamiento por lotes. (batch processing): "Add opened", luego "load graph", y se seleccionó el gráfico guardado. En el "directory" se ubica el directorio por lotes recién creado, "batch directory", y se ejecuta el proceso.
- Creación de Pila: Se cerraron todas las imágenes y se reabrieron las imágenes procesadas por lotes localizadas en la carpeta por lotes. A continuación, en la pestaña "radar/coregistration/stack tools/create stack", en su interior, se seleccionó "add opened".
- En la pestaña "CreateStack", se seleccionaron los siguientes parámetros: 



Una forma de asegurar la legibilidad de los datos y la existencia de la información de dispersión del agua debería ser posible generar una composición RGB (Figura 4). Se utilizó información del 10 de enero de 2017, lo que mejoró el color negro del cuerpo de agua (doble rebote) mediante la aplicación de la escala de decibelios (db), aumentando la información de manera logarítmica:

- Rojo: VV en db.
- Verde: VH en db.
- Azul: VV en db.

Figura 3. "CreateStack" y "Convert Datatype" en SNAP, pasos importantes en la etapa de "Coregistration"

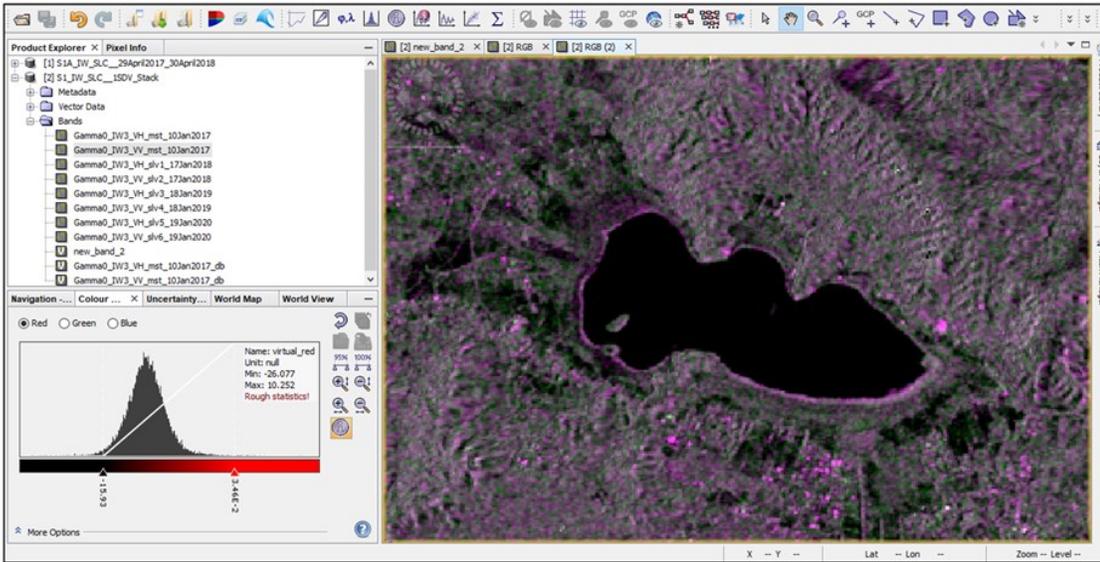


Figura 4. Composición RGB generada en SNAP a partir de imagen satelital capturada el 10 de enero de 2010, utilizando escala de decibeles para mejorar la imagen.

En SNAP se observa, en la ventana principal en el sector inferior izquierdo, un pequeño histograma (Figura 5), donde es posible cambiar los umbrales de los datos, y de esta manera mejorar los colores que representan diferentes características del agua.

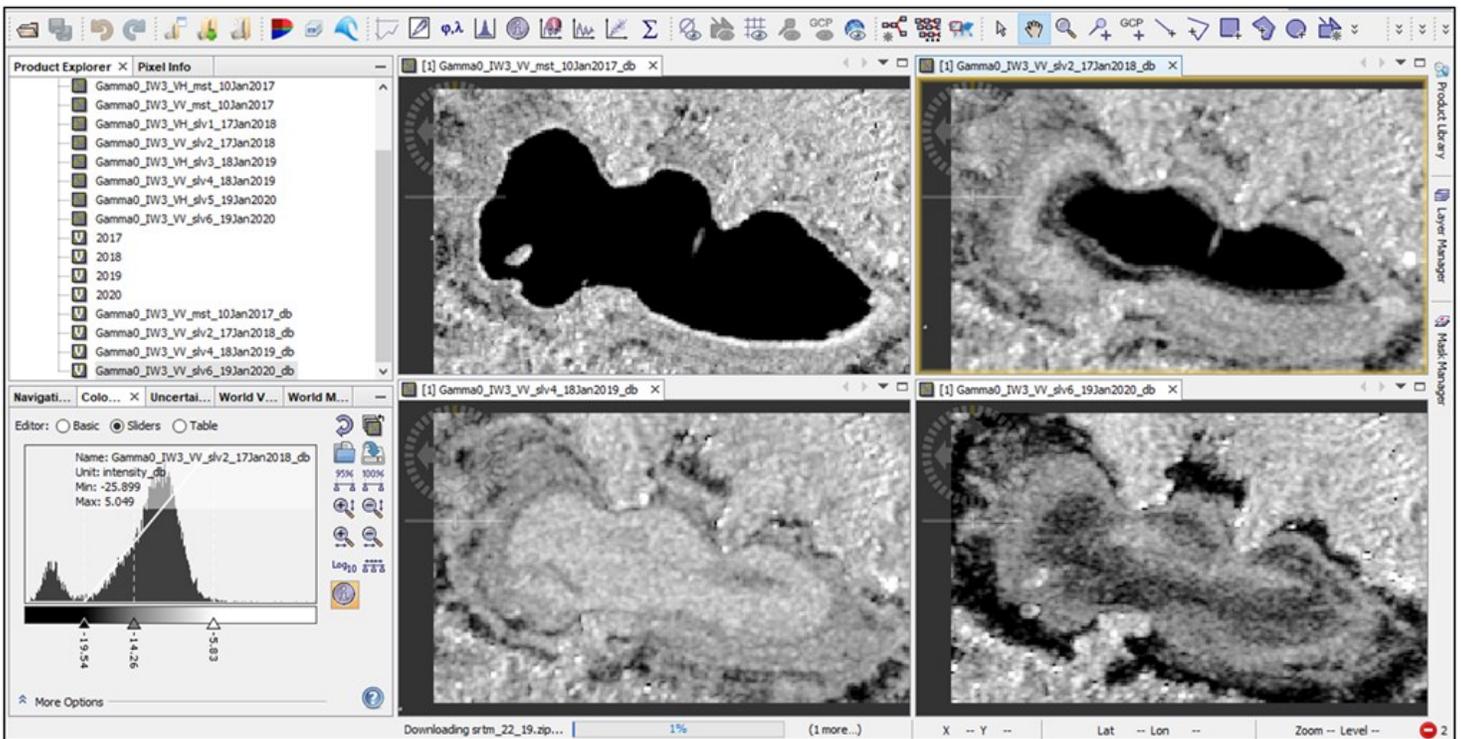


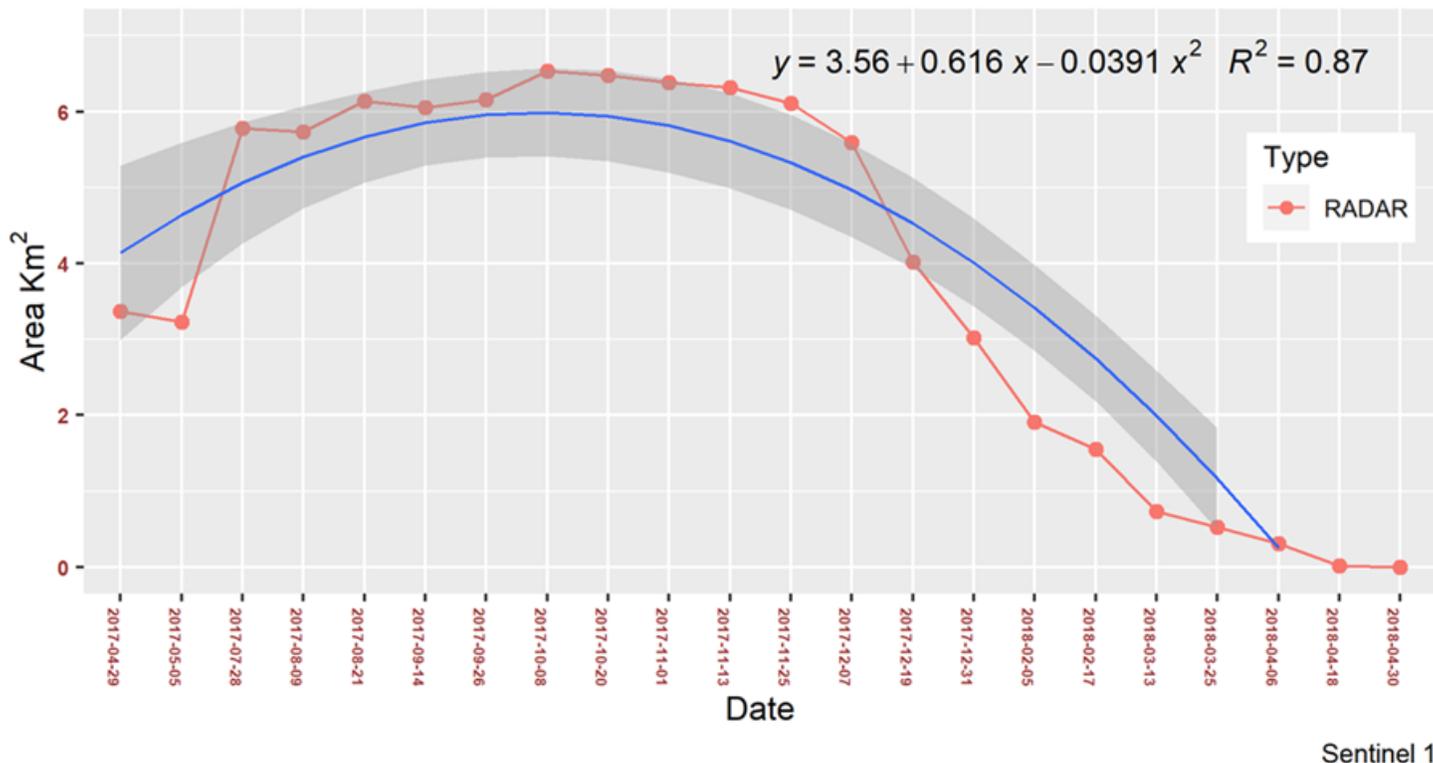
Figura 5. Cuatro diferentes imágenes que representan diferentes umbrales, desde “menos infinito” hasta -18 representa “presencia de agua”; y desde -18 hasta “más infinito” representa “ausencia de agua”.

Luego de analizar todas las imágenes mejoradas por la escala de decibelios, fue posible notar que los umbrales para este estudio específico son:

De “menos infinito” a -18 corresponde a presencia de agua

De -18 a “más infinito” corresponde a ausencia de agua

Teniendo en cuenta estos umbrales fue posible reclasificar las imágenes en R, de modo de obtener los resultados correctos desde los datos sentinel-1, utilizando el algoritmo confeccionado para este propósito. Luego, se calculó la superficie del cuerpo del agua para cada imagen, y se graficó la información para visualizar la disminución de la superficie del cuerpo de agua (Figura 6).



DEBATE

Para un efectivo ordenamiento territorial y conservación de la biodiversidad, es importante considerar los paisajes como parte de regímenes dinámicos en lugar de simples y estáticas cubiertas (Parrott *et al.*, 2012). El gráfico de la serie de tiempo presentado en la Figura 6 utiliza datos gratuitos y herramientas de código abierto, lo que podría facilitar que los planificadores e investigadores puedan aplicar los métodos propuestos para la laguna de Aculeo en sus propias áreas de estudio.

A partir de la información disponible fue posible visualizar los patrones de cambios espaciales a lo largo del tiempo, y comprender la dinámica de estas variaciones en el cuerpo de agua de la laguna de Aculeo, causadas por el flujo de agua o por actividades humanas (Muro *et al.*, 2016).

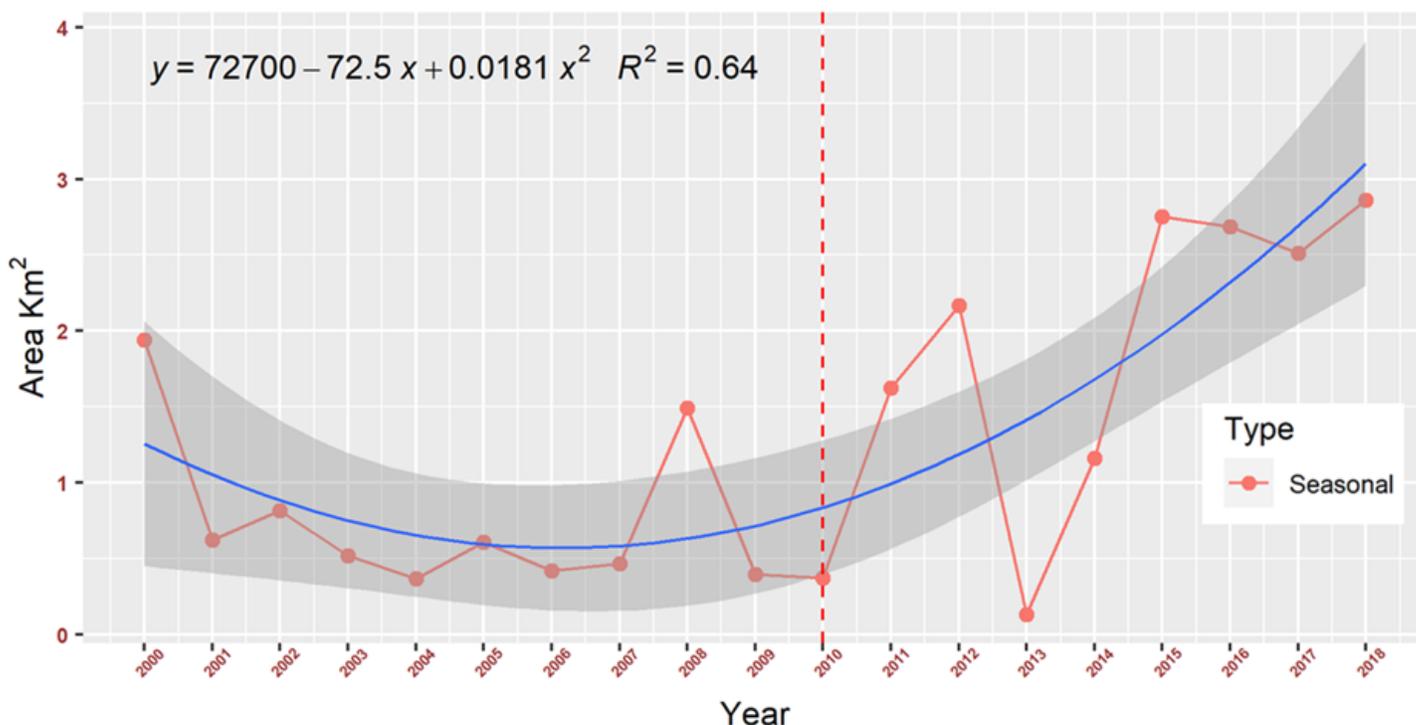
Los datos SAR se reclasificaron a una resolución espacial de 30 metros, con el objeto de poder utilizarlos con los datos de GSW sin necesidad de agregación espacial de imágenes en diferentes resoluciones. Lo anterior, para que el proceso sea eficiente y posibilite la comparación de datos.

El pre-proceso de los datos en SNAP proporciona una buena calidad de las imágenes satelitales, dejándolas pulcras y ordenadas para su análisis.

Figura 6. Gráfico de la laguna de Aculeo entre abril de 2017 y abril de 2018, este fue el último mes en el cual se pudo observar agua en la laguna.

Las imágenes SAR obtenidas a través del SLC de Sentinel son las apropiadas para el estudio, lo que no significa que los datos en formato GRD no puedan ser utilizados en un pre-proceso similar. En una etapa posterior, sería interesante realizar un estudio utilizando datos GRD y compararlos con los resultados obtenidos a través de SLC, para verificar cuál de ellos presenta una mayor precisión en la obtención de datos, o bien proporciona información adicional para entender los factores que podrían afectar el proceso de secado de la laguna de Aculeo.

Además, al observar los datos del GSW se aprecia un comportamiento inusual del agua estacional (Figura 7), esto debe ser analizado en detalle para verificar la existencia de un vínculo directo con el área de estudio.



Por último, este estudio tiene el potencial de aumentar el interés de realizar investigaciones en áreas como la laguna de Aculeo, que se ven afectadas por el cambio climático y por actividad antrópica, pero que rara vez son consideradas como vitales en las áreas académicas.

Se debe tener en cuenta que la limitación del estudio está relacionada con la cantidad de datos disponibles, por lo que el análisis de una serie temporal más larga de la laguna no fue posible debido a la magnitud de los datos, tiempo de procesamiento y limitación de los dispositivos utilizados. Por lo tanto, la conclusión que se puede obtener se limita al último período de datos y a la actividad humana observada en las imágenes.

CONCLUSIONES

No fue posible vincular el secado de la laguna de Aculeo únicamente con la intervención antrópica, ya que esta actividad continúa aumentando en los últimos años. Por lo tanto, es necesario hacer un estudio climático del área de estudio; por ejemplo, temperatura, NDVI, entre otras informaciones. Esto permitirá realizar un análisis más exhaustivo y aportar posibles cursos de acción para que la población local pueda aplicar y eventualmente solucionar la problemática de la laguna de Aculeo; la que no solo es importante como un hito para el lugar, sino también para la agricultura y el turismo en la zona.

Figura 7. Gráfico del comportamiento del agua estacional en la laguna de Aculeo, desde 2000 a 2018. Fuente: EC JRC/Google.

REFERENCIAS

1. Alaniz, A., M. Carvajal, I. Núñez-Hidalgo, & P. Vergara (2019). Chronicle of an Environmental Disaster: Aculeo Lake, the Collapse of the Largest Natural Freshwater Ecosystem in Central Chile. *Environmental Conservation*, 46 (3), 201-204. <https://n9.cl/n13x8>
2. Béchet, A.; C. Germain, A. Sandoz, G.J.M Hirons, R. E. Verde, J. G. Walmsley, & A. R. Johnson (2009). Assessment of the impacts of hydrological fluctuations and salt pans abandonment on Greater flamingos in the Camargue, South of France. *Biodivers. Conserv.* 18, 1575–1588. <https://1bestlinks.net/vkdQC>
3. ESA Sentinel (2020, March 19) Sentinel-1 lends a hand in Poland's wetlands. <https://n9.cl/rsxwo>
4. Muro, J., M. Canty, K. Conradsen, C. Hüttich, A.A. Nielsen, H. Skriver, F. Remy, A. Strauch, F. Thonfeld, G. Menz (2016). Short-Term Change Detection in Wetlands Using Sentinel-1 Time Series. *Remote Sens.* 8, 795. <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/10/795>
5. Parrott, L. (2012). Future landscapes: Managing within complexity. *Front. Ecol. Environ.* 10, 382–389. <https://n9.cl/xom15>
6. Pekel, J. F., A. Cottam, N. Gorelick, & A. S. Belward (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418-422. <https://www.nature.com/articles/nature20584>
7. Prigent, C., F. Papa, F. Aires, C. Jiménez, W.B. Rossow, & E. Matthews (2012). Changes in land surface water dynamics since the 1990s and relation to population pressure. *Geofísica. Res. Lett.* 39, L08403. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/journal/19448007>
8. The Straits Times (March 20, 2019). "Drought wipes Chile's popular Lake Aculeo from the map ". Recuperado de <https://www.straitstimes.com/>
9. Zhoua, S., Y. Huang, B. Yu, & G. Wang (2015). Effects of human activities on the eco-environment in the middle Heihe River Basin based on an extended environmental Kuznets curve model. *Ecological Engineering*, 76, 14-26. <https://1bestlinks.net/9PZWP>

Diego Alarcón Díaz

Ingeniero de Ejecución en Geomensura (Universidad de Santiago de Chile), con 9 años de experiencia en el área de sistemas de información geográfica y amplios conocimientos en manejo de software, creación de scripts, gestión de equipos y proyectos aplicados a la cartografía digital.

Se ha desempeñado en el área pública, trabajando en la Municipalidad de Providencia. También, en el área privada, tanto en empresas internacionales (Here Maps) como nacionales (Aguas Andinas). En todas, ligado al área de los sistemas de información geográfica.

Se encuentra estudiando el Master EAGLE en Würzburg, Alemania, en teledetección y realizando prácticas en instituciones prestigiosas como DLR y dentro de Würzburg Universität.

Se sugiere citar:

Alarcón Díaz, D. (2021). Análisis de la disminución del cuerpo de agua de la laguna de Aculeo utilizando imágenes de radar de Sentinel-1A/1B y del Global Surface Water Explorer. *Revista Cartógrafo.CL* 1 (1), pp. 5-14.



Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.