

# DESCUBRIMIENTO DEL LAGO SUBGLACIAL CECS EN ANTÁRTICA<sup>1</sup> OCCIDENTAL

## Discovering Subglacial Lake CECs in Western Antarctica

José Uribe<sup>2</sup>, Rodrigo Zamora<sup>2</sup>, Jonathan Oberreuter<sup>2</sup> y Andrés Rivera<sup>2,3</sup>

<sup>2</sup>Centro de Estudios Científicos, CECs, Arturo Prat 514, Valdivia, Chile

<sup>3</sup>Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Portugal 84, Santiago, Chile

### RESUMEN

Se reporta el descubrimiento del Lago Subglacial CECs (en honor al nombre de la institución, Centro de Estudios Científicos), ubicado en la parte central del casquete de hielo de la Antártica Occidental (WAIS, por sus siglas en inglés), en la divisoria entre el Glaciar Minnesota y la Corriente de Hielo Institute. Este lago, que fue descubierto mediante una travesía terrestre en enero de 2014 usando radio eco sondaje, se encuentra a una profundidad de 2653 m bajo la superficie del hielo. Los análisis preliminares muestran que se trata de un cuerpo de agua dulce que no ha mostrado cambios volumétricos, según lo observado con datos satelitales existentes hasta la fecha, por lo cual se cree que es un lago estable. Se presentan en este trabajo los datos más relevantes de este lago, así como los obtenidos en una segunda travesía llevada a cabo en diciembre de 2014.

**Palabras clave:** *Antártica, lago subglacial, espesor de hielo*

### ABSTRACT

This article reports the discovery of the subglacial Lake CECs (named in honor of the Centro de Estudios Científicos), located in the central part of the West Antarctic Ice Sheet (WAIS), on the ice divide between the Minnesota Glacier and the Institute Ice Stream. This lake, which was discovered by means of an oversnow traverse in January 2014 using radio-echo sounding, is found at a depth of 2653 meters below the surface of the ice. Preliminary analyses show that it is a body of fresh water that has not shown volumetric changes to date, according to observations with existing satellite data, for which reason it is believed to be a stable lake. This article presents the most relevant data on this lake, as well as data obtained in a second traverse carried out in December 2014.

**Keywords:** *Antarctica, subglacial lake, ice thickness*

### INTRODUCCIÓN

El continente antártico es reconocido por su clima frío extremo, siendo considerado un lugar inhóspito para la vida. Sin embargo, al contrario de lo que hace poco tiempo se creía, en este lugar puede encontrarse agua en estado líquido, bajo el hielo continental que cubre casi todo el continente. Se ha podido determinar que una vasta red de canales y ríos, junto con lagos subglaciales, subyacen bajo las grandes masas de hielo antártico, constituyendo una compleja red hidrológica basal (Siegert et al., 2007).

Los lagos subglaciales son reconocidos como un componente importante de esta red hidrológica, donde la circulación de agua basal juega un rol importante en la dinámica de las corrientes de hielo (Wright et al., 2008). De esta forma, es más común encontrar agua líquida basal, en vez que el hielo continental esté firmemente congelado en su base. Esto influye en la estimación del deslizamiento basal a la hora de realizar modelamiento de flujo de hielo continental o de corrientes de hielo. Esto es importante en el estudio del hielo continental de Antártica Occidental (WAIS) (Figura 1), que es el lugar que ha experimentado los mayores cambios recientes. WAIS ha sido considerado potencialmente inestable debido a que su base está por debajo del nivel del mar, su desintegración total podría contribuir a un aumento del nivel del mar de hasta 4.3 m (Fretwell et al., 2013).

Por otro lado, el análisis de sedimentos contenidos en el fondo de estos lagos podría contener evidencia acerca del clima de Antártica hace millones de años, quizás antes que el continente fuera cubierto por hielo.

Hasta el momento se ha identificado 379 lagos subglaciales potenciales (Wright y Siegert, 2012), de los cuales cerca de 150 carecen de confirmación por mediciones in situ. Gran parte de los lagos subglaciales están concentrados en Antártica Oriental, siendo pocos los identificados en Antártica Occidental. El lago subglacial más grande identificado es el Lago Vostok, en Antártica Oriental, con un área superficial de 14,000 km<sup>2</sup>.

El descubrimiento de estas redes hidrológicas también ha abierto un nuevo campo de la ciencia en un corto periodo de tiempo. Hasta el momento, muy poco se conoce acerca de los procesos físico-químicos y biológicos dentro de estos ambientes acuáticos subglaciales. Algunos de estos

<sup>1</sup> Nota de la Redacción: La forma estándar en Chile utiliza la “c”, en vez de la “d”.

ambientes podrían estar aislados del exterior por millones de años y podrían contener formas de vida hasta ahora desconocidas, en condiciones de oscuridad absoluta y presiones elevadas. Estas condiciones podrían ser análogas a las que se dan fuera de nuestro planeta, como en las zonas congeladas de Marte o en la luna Europa de Júpiter (National Research Council, 2007).

Si bien ya se ha podido acceder mediante perforación al Lago Subglacial Whillans (Tulaczyk et al., 2014), este lago no ha estado aislado completamente. Aún no se ha logrado acceder a lagos subglaciales aislados de la red hidrológica subglacial.

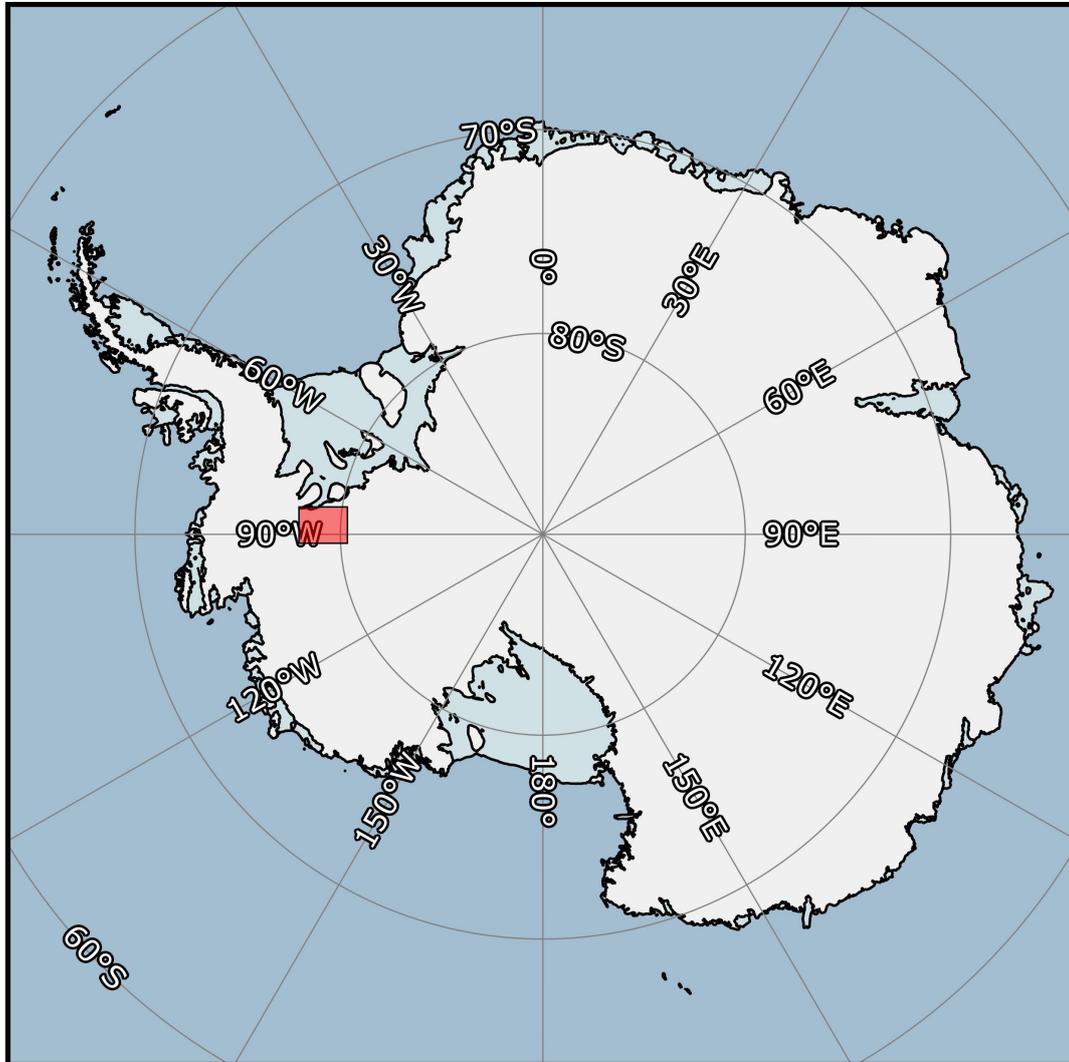


Figura 1. Mapa de ubicación general del Lago Subglacial CECs en Antártica Occidental. Área de interés en rectángulo rojo.

## CARACTERÍSTICAS DE UN LAGO SUBGLACIAL

Los lagos subglaciales son formaciones de agua que están bajo el hielo continental. Se forman por agua derretida proveniente de la base del hielo, provocada por el constante calor geotermal proveniente de la corteza terrestre (Wright y Siegert, 2012). Otros factores contribuyen en la generación de agua en estado líquido en la base, como el desplazamiento hacia debajo del punto de fusión del agua debido a la alta presión provocada por el peso de toda la columna de hielo. Asimismo, la capa gruesa de hielo actúa como un aislador de calor entre la superficie y el fondo (National Research Council, 2007). Esto último se ve de manifiesto en que muchos lagos subglaciales se encuentran bajo un espesor de hielo entre 2 a 3 km.

Una de las características notables de un lago subglacial es su apariencia en una imagen de radio eco sondaje (radar), una de las técnicas geofísicas usadas en el estudio de glaciares (Oberreuter et al., 2014). En la Figura 2 puede observarse una imagen de radar, donde un lago aparece como un reflector plano, especular y de muy alta intensidad. Esta alta intensidad es debida a que el contraste dieléctrico entre el hielo y el agua es mucho mayor que entre el hielo y roca (Siegert et al., 1996). Se debe tener en cuenta que lo que aparece en la imagen sólo corresponde a la superficie del lago, ya que con esta técnica de detección no se puede registrar el fondo del lago.

Sin embargo, algunos lagos subglaciales no son fácilmente detectados mediante radar. Algunos, que presentan propiedades de llenado y vaciamiento regulares

(lagos activos), pueden ser identificados mediante sensores desde el espacio. Esto es posible debido a que estos eventos de llenado y vaciamiento provocan cambios en la elevación superficial, que pueden ser detectados mediante satélites (Fricker et al., 2007). Es posible usar los datos históricos de elevación superficial entregados por el satélite ICESat, el cual usa altimetría láser para realizar sus mediciones. Este satélite operó desde el año 2003 hasta el 2010.

## DESCUBRIMIENTO DEL LAGO SUBGLACIAL CECS

El Centro de Estudios Científicos (CECs) en enero de 2014 realizó una travesía terrestre en el plateau de Antártica Occidental (Figura 1), desde el Glaciar Unión

cerca de los montes Ellsworth, donde existe una zona de hielo azul sobre la que aterrizan aviones con ruedas (Rivera et al., 2014), hasta la divisoria continental entre el Mar de Amundsen y el de Weddell (Figura 3). Dicha travesía fue llevada a cabo para la obtención de datos de topografía superficial, topografía subglacial, balance de masa y velocidades superficiales. Todos estos datos fueron tomados para estudios de estabilidad de la zona.

Durante esta travesía fue descubierto un lago subglacial, que posteriormente fue nombrado Lago CECs. La detección fue realizada mediante radio eco sondaje, empleando un radar desarrollado en el CECs (Uribe et al., 2014). El lago está ubicado al sur-oeste de los montes Ellsworth, justo en la divisoria entre el Glacier Minnesota (MIN) y la Corriente de Hielo Institute (IIS), como puede verse en la Figura 3.

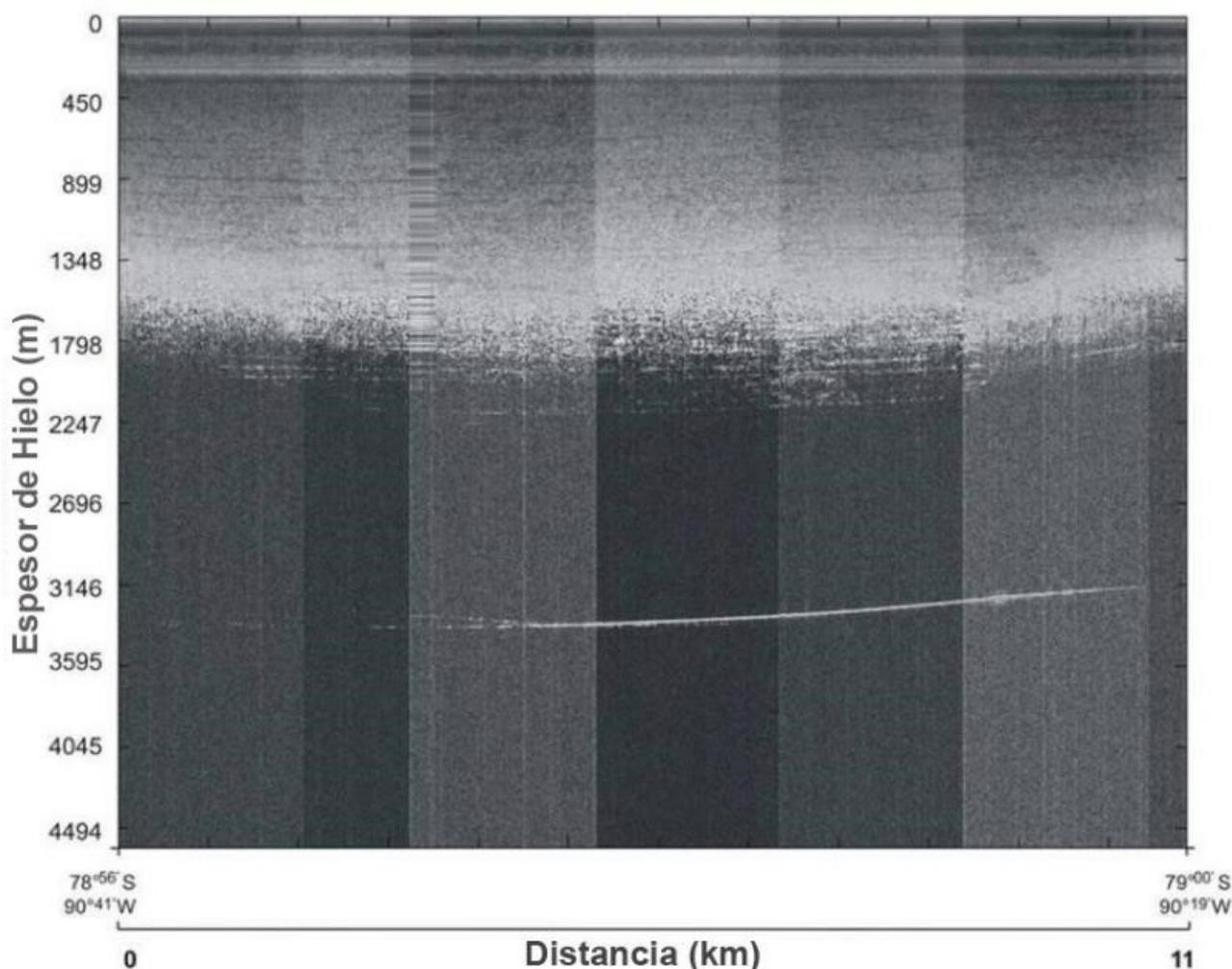


Figura 2. Imagen de radar del Lago Subglacial Ellsworth, Antártica Occidental. Entre 0 y 2250 m de espesor aproximadamente, se observa la señal de retorno de radar producida por la estructura interna del hielo, mientras que la línea plana inferior (a ~3200 m de profundidad) corresponde a la superficie del lago subglacial. Fuente: Vaughan et al., 2007.

Durante el mes de diciembre de 2014 se realizó una segunda travesía, con el objetivo de medir con mayor resolución el lago CECs. Esto, con el propósito de obtener una mejor estimación de su área y para identificar las

posibles rutas de llenado y/o vaciamiento de sus aguas. Durante esta travesía se realizaron además mediciones de la Corriente de Hielo Rutford, lo que se puede ver en la Figura 4 donde están las rutas de ambas travesías.

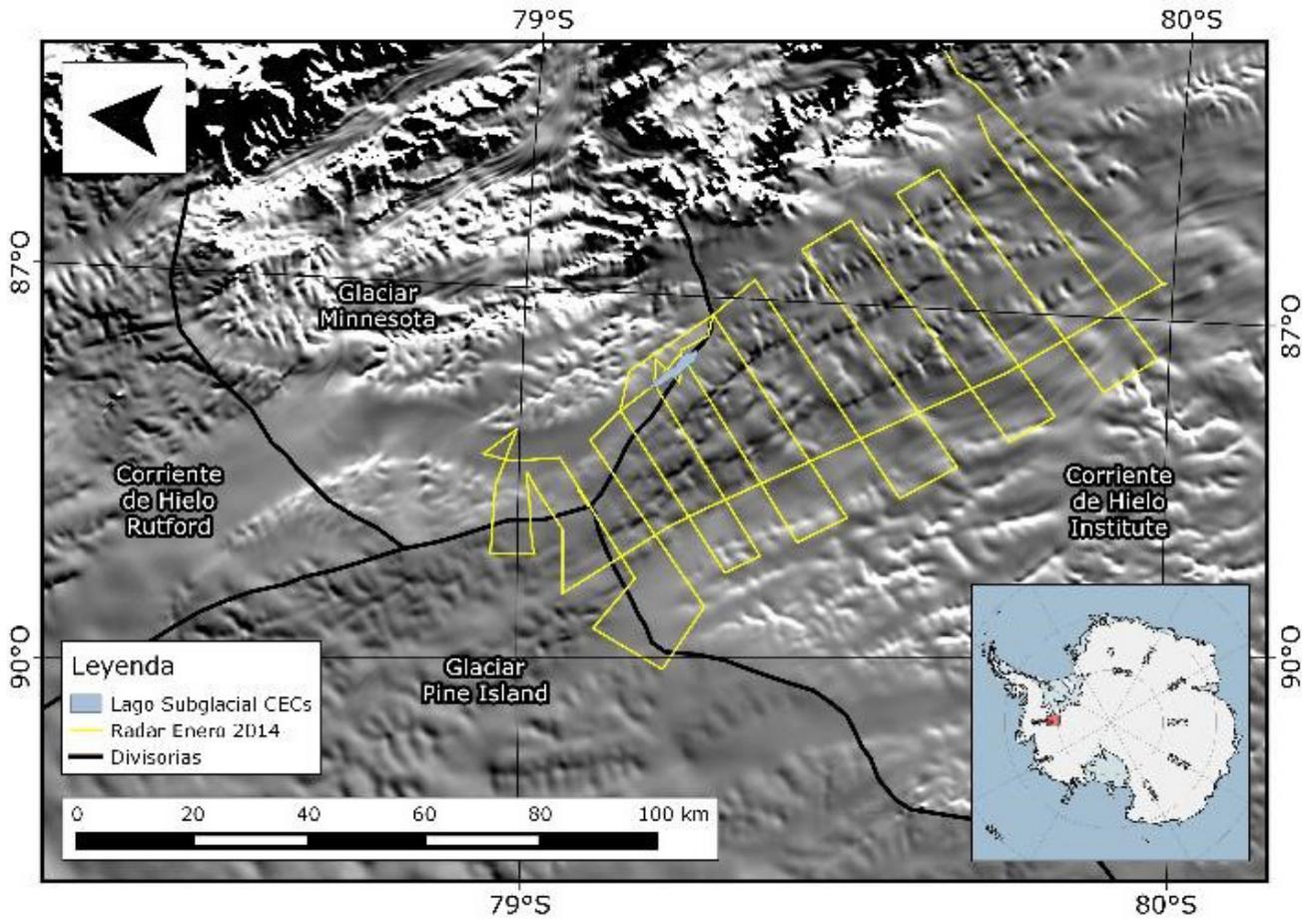


Figura 3. Ubicación del Lago CECs. Se observa la ruta de la travesía de enero de 2014. Imagen de fondo mosaico MODIS (Scambos et al., 2007).

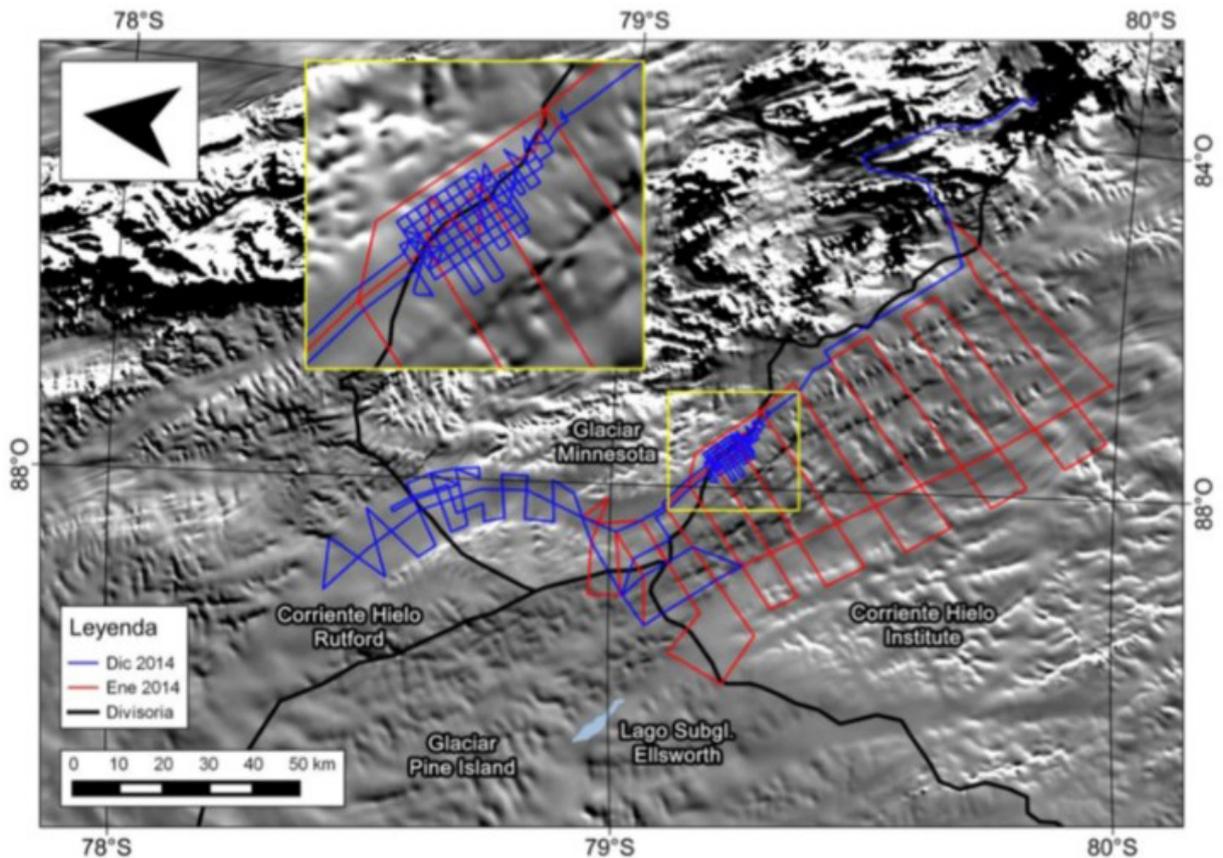


Figura 4. Rutas de las travesías CECs en enero (línea roja) y diciembre (línea azul) de 2014. Imagen de fondo mosaico MODIS (Scambos et al., 2007).

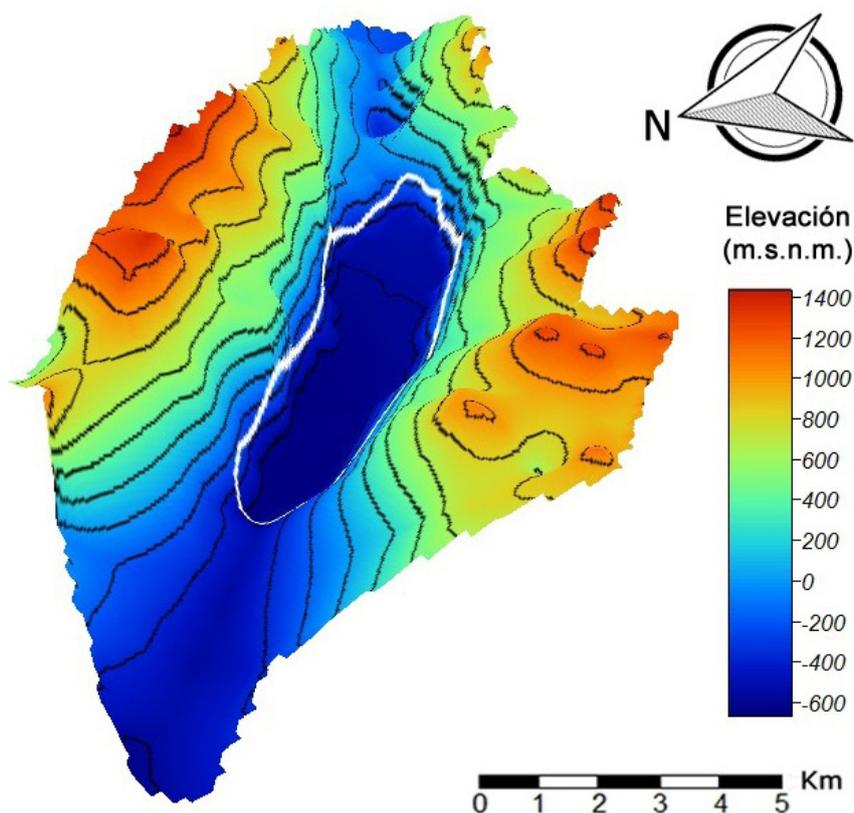


Figura 5. Elevación subglacial del Lago CECS y su entorno, determinado con datos de radar obtenidos en las travesías de enero y diciembre de 2014.

## CARACTERÍSTICAS DE UN LAGO SUBGLACIAL

Con los datos obtenidos de ambas travesías, se ha determinado que el Lago CECS es un cuerpo de agua dulce, ubicado a 626 m bajo el nivel elipsoidal, bajo una capa de hielo de 2653 m de espesor promedio. La topografía superficial del hielo que se encuentra sobre el lago tiene una elevación promedio de 2029 m elipsoidales (Rivera et al., 2015).

Para la delimitación del lago se usaron datos de radar obtenidos en ambas travesías, lo que permitió definir un perímetro de 22.8 km y una superficie mínima de 15.6 km<sup>2</sup> aproximadamente. En la Figura 5 se muestra una representación de la topografía subglacial del lago.

Por otro lado se han realizado análisis para determinar la estabilidad del lago. En este caso se ha tratado de detectar movimientos verticales usando los datos disponibles de ICESat, obtenidos en dos pasadas repetidas varias veces entre octubre de 2003 y marzo de 2009. Con ellas se obtuvieron diferencias de menos de 0.5 m en el área donde se encuentra el Lago CECS. Este valor es menos de 1/3 de las diferencias de movimiento vertical asociados a lagos activos. Esto es ya un indicador de estabilidad mecánica, pues el error estimado de ICESat es del orden de unos pocos centímetros por año (Rivera et al., 2015).

En la Figura 6 se muestra un perfil de radar obtenido durante la primera travesía en enero de 2014. Se observa el lago como un reflector de mayor intensidad y plano, en comparación con el fondo rocoso.

En la Figura 7 se muestra un perfil de radar obtenido en el lago CECS. Nuevamente puede apreciarse el reflector de alta intensidad y plano que corresponde a la superficie del lago subglacial. A la derecha de esta figura están representadas la elevación superficial, la elevación subglacial, la cabeza hidrológica, la potencia reflejada del fondo y la desviación estándar del BRP, esta última asociada a la especularidad del reflector de fondo. Un valor de cabeza hidrológica prácticamente constante es un indicador de la presencia de un lago subglacial, ya que corresponde a la profundidad a la que el hielo sobre el lago es soportado completamente por la presión del fluido en el lago (Vaughan et al., 2007). Esto puede observarse en la gráfica de H en la figura. Por otro lado, un valor alto de BRP, 10 dB por encima de la reflexión en roca, así como una especularidad por debajo del 50% en un tramo de 300 m continuos (Carter et al., 2007) son indicadores de la presencia de un lago subglacial. Todos estos criterios son cumplidos por el Lago Subglacial CECS.

Con respecto a las propiedades del agua del lago, se considera que es un cuerpo de agua dulce. Es posible graficar la elevación superficial vs el espesor de hielo en la zona del lago (Figura 8). Siguiendo a Kapitsa et al. (1996), y teniendo en cuenta que la densidad del hielo ( $\rho_i$ ) es 915 kg m<sup>-3</sup>, y que la presión a la cual está sometida el agua es de 24 MPa (columna de hielo de 2653 m), se obtiene que la densidad para agua dulce teórica ( $\rho_{fw}$ ) debería ser 1011.7 kg m<sup>-3</sup> y para agua salada ( $\rho_{sw}$ ) debería ser 1039.8 kg m<sup>-3</sup>. Ambos casos están graficados como rectas en la Figura 8, siendo el caso del agua dulce la que más se acerca a los datos obtenidos.

## ESTUDIOS FUTUROS

Hasta el momento se ha podido llevar a cabo una delimitación del lago, teniendo una mejor estimación de su ubicación y extensión geográfica, así como la profundidad de la interfaz hielo-lago. Sin embargo, no se conoce la batimetría, ya que la técnica de radio eco sondaje no permite detectar más allá de la interfaz hielo-lago.

La determinación de la batimetría nos permitiría realizar análisis más avanzados del lago, como por ejemplo balance de masa interno (derretimiento y recongelamiento en la interfaz hielo-lago), así como una determinación

más precisa de la distribución de temperaturas del agua subglacial.

Para poder llevar a cabo esto, es necesario emplear otra técnica geofísica, como es el caso de mediciones sísmicas. Aparte de la obtención de la batimetría, posiblemente podríamos estimar la presencia de sedimentos en el fondo del lago. El conocimiento del espesor del lago y la localización de sedimentos nos permitirían guiarnos en la selección de la mejor ubicación para realizar una futura perforación, si se diera la oportunidad de realizarla, de tal forma de extraer muestras de agua y sedimentos.

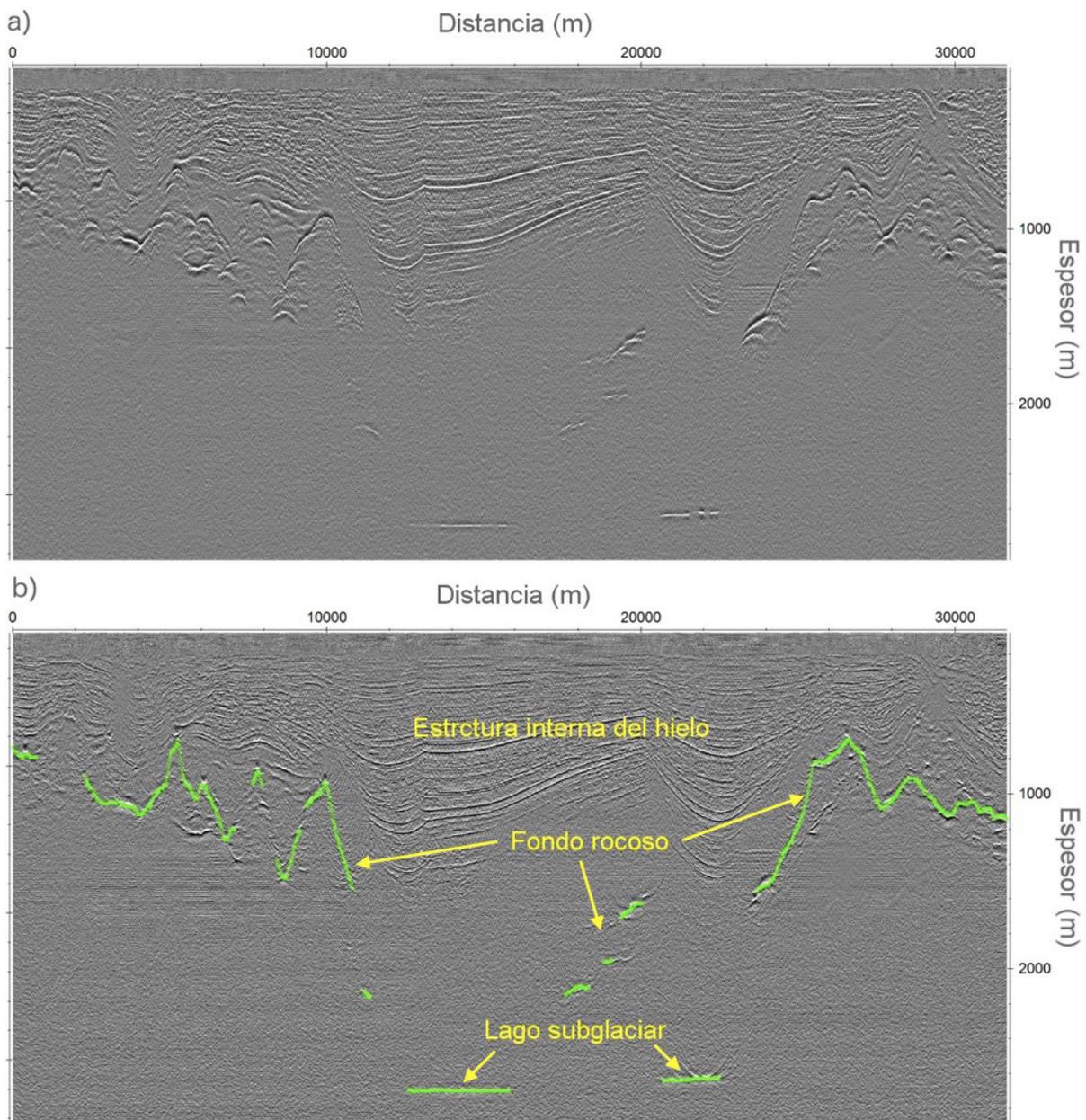


Figura 6. Perfil de radar sobre el área del Lago CECs (reflector plano a aproximadamente 2650 m de profundidad). a) Radargrama sin migración obtenido en enero de 2014, b) interpretación de los reflectores obtenidos, radargrama migrado.

## CONCLUSIONES

Los lagos subglaciales son parte importante de la red hidrológica existente en la base del casquete antártico, la que tiene un rol destacado en la dinámica del hielo. Los lagos subglaciales pueden poseer formas de vida extremas y aisladas de la atmósfera por miles de años, por lo que su

estudio se ha desarrollado y ha captado en forma creciente el interés de la comunidad científica internacional.

Aquí se reporta el descubrimiento del Lago Subglacial CECs ubicado en Antártica Occidental, en la divisoria entre el Glaciar Minnesota y la Corriente de Hielo Institute. Este corresponde a un cuerpo de agua dulce que se encuentra

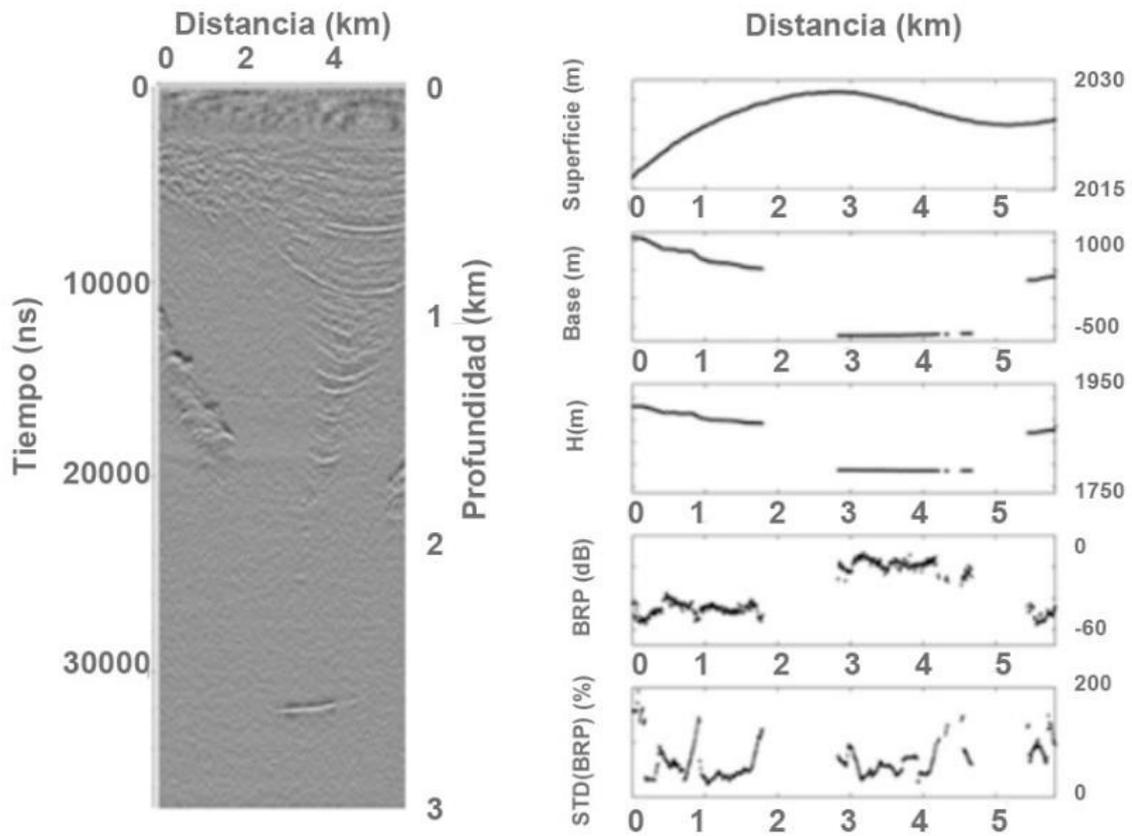


Figura 7. A la izquierda, perfil de radar y a la derecha, elevación superficial (Superficie), elevación subglacial (Base), cabeza hidrológica (H), potencia reflejada de fondo (BRP) y especularidad (STD(BRP)). Fuente: Rivera et al., 2015.

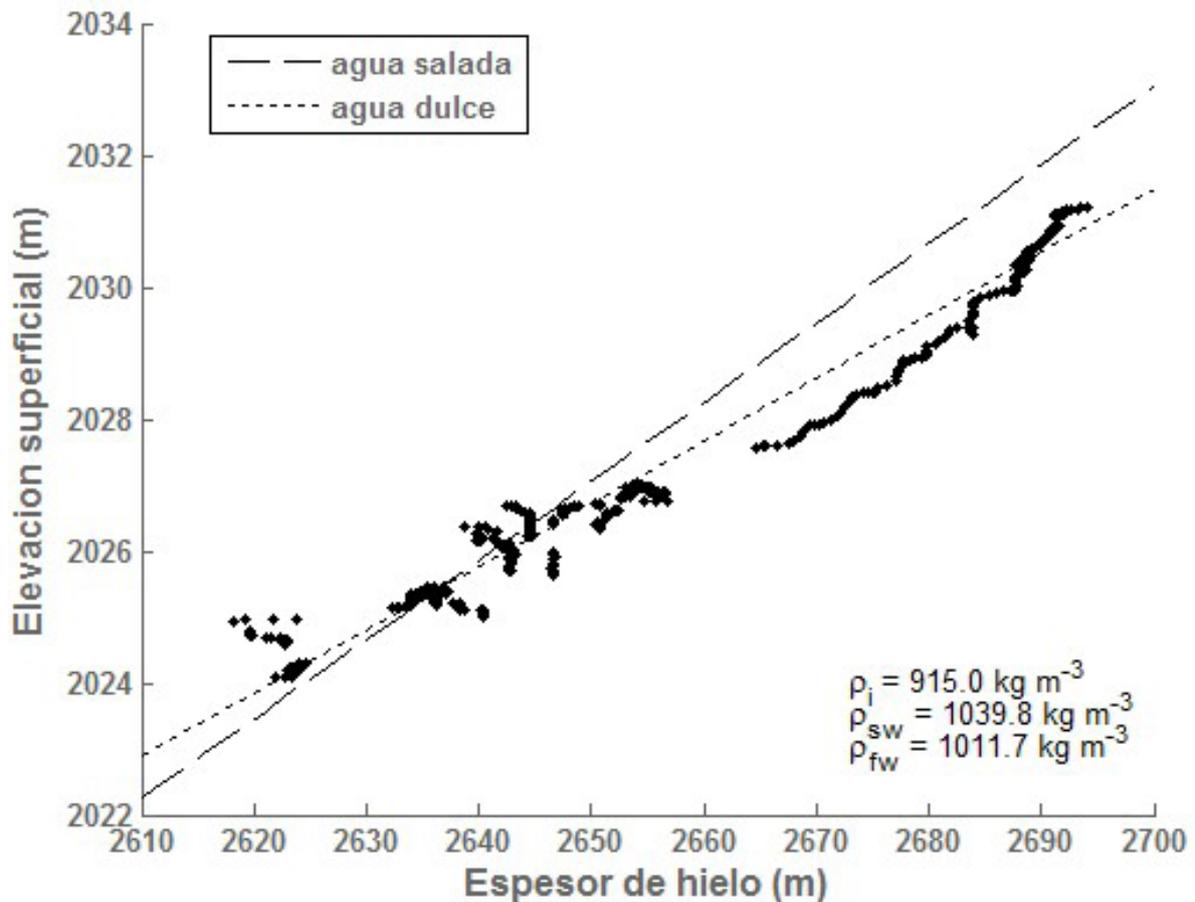


Figura 8. Estimación de la densidad de agua del lago.

a una profundidad de 2653 m y tiene un área estimada mínima de 15.6 km<sup>2</sup>. Los datos disponibles del satélite ICESat obtenidos sobre la zona del lago no muestran grandes desplazamientos verticales, lo que indica que el lago ha sido estable en las últimas dos décadas. Esto último implica que el tiempo de residencia del agua puede ser de larga data, lo cual hace del Lago CECs un buen candidato para una posible perforación con fines de extracción de muestras. Para la continuación de estudios de este lago, es necesario medir su profundidad y la posible presencia de sedimentos sublacustres, todo lo cual se puede obtener con mediciones sísmicas, las que se espera realizar a fines del año 2016.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el CECs y el programa de financiamiento basal de CONICYT. Se agradece a Marcos Gaete y Jorge Hernández por el procesamiento de datos.

## REFERENCIAS

- Carter, S. P., Blankenship, D. D., Peters, M. E., Young, D. A., Holt, J. W. y Morse, D. L. (2007). Radar-based subglacial lake classification in Antarctica. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(3). doi:10.1029/2006GC001408
- Fretwell, P., Pritchard, H. D., Vaughan, D. G., Bamber, J. L., Barrand, N. E., Bell, R.,... Zirizzotti, A. (2013). Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica. *The Cryosphere*, 7(1), 375–393. doi:10.5194/tc-7-375-2013
- Fricker, H. A., Scambos, T., Bindshadler, R. y Padman, L. (2007). An active subglacial water system in West Antarctica mapped from space. *Science*, 315, 1544–1548. doi: 10.1126/science.1136897
- Kapitsa, A. P., Ridley, J. K., Robin, G. de Q., Siegert, M. J. y Zotikov, I. A. (1996). A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica. *Letters to Nature*, 381, 684–686. doi:10.1038/381684a0
- National Research Council. (2007). *Exploration of Antarctic subglacial aquatic environments: Environmental and scientific stewardship*. NRC Press, Washington, D.C., NRC Press.
- Oberreuter, J, Uribe, J., Zamora, R., Gacitúa, G. y Rivera, A. (2014). Mediciones de espesor de hielo en Chile usando radio eco sondaje. *Geoacta*, 39(1), 108-122.
- Rivera, A., Zamora, R., Uribe, J., Jaña, R. y Oberreuter, J. (2014). Recent ice dynamic and surface mass balance of Union Glacier in the West Antarctic Ice Sheet. *The Cryosphere*, 8(4), 1445-1456. doi:10.5194/tc-8-1445-2014
- Rivera, A., Uribe, J., Zamora, R. y Oberreuter, J. (2015). Subglacial Lake CECs: Discovery and in situ survey of a privileged research site in West Antarctica. *Geophysical Research Letters*, 1–10. doi:10.1002/2015GL063390
- Scambos, T., Haran, T., Fahnestock, M., Painter, T. y Bohlander, J. (2007). MODIS-based mosaic of Antarctica (MOA) data sets: Continent-wide surface morphology and snow grain size. *Remote Sensing of Environment*, 111(2-3), 242–257. doi: 10.1016/j.rse.2006.12.020
- Siegert, M. J., Dowdeswell, J. A., Gorman, M. R. y McIntyre, N. F. (1996). An inventory of Antarctic sub-glacial lakes. *Antarctic Science*, 8(3), 281–286.
- Siegert, M. J., Le Brocq, A. y Payne, A. J. (2007). Hydrological connections between Antarctic subglacial lakes, the flow of water beneath the East Antarctic Ice Sheet and implications for sedimentary processes. *Glacial Sedimentary Processes and Products*, Publication 39 of the International Association of Sedimentologists. doi:10.1002/9781444304435.ch1
- Tulaczyk, S., Mikucki, J. A., Siegfried, M. R., Priscu, J. C., Barcheck, C. G., Beem, L. H.,... The Wissard Science Team. (2014). WISSARD at Subglacial Lake Whillans, West Antarctica: Scientific operations and initial observations. *Annals of Glaciology*, 55(65), 51–58. doi: 10.3189/2014AoG65A009
- Uribe, J., Zamora, R., Gacitúa, G., Rivera, A. y Ulloa, D. (2014). A low power consumption radar system for measuring ice thickness and snow/firn accumulation in Antarctica. *Annals of Glaciology*, 55(67), 39–48. doi:10.3189/2014AoG67A055
- Vaughan, D. G., Rivera, A., Woodward, J., Corr, H. F. J., Wendt, J. y Zamora, R. (2007). Topographic and hydrological controls on Subglacial Lake Ellsworth, West Antarctica. *Geophysical Research Letters*, 34(18), L18501. doi:10.1029/2007GL030769
- Wright, A. P., Siegert, M. J., Le Brocq, A. M. y Gore, D. B. (2008). High sensitivity of subglacial hydrological pathways in Antarctica to small ice-sheet changes. *Geophysical Research Letters*, 35, L17504. doi:10.1029/2008GL034937
- Wright, A. y Siegert, M. (2012). A fourth inventory of Antarctic subglacial lakes. *Antarctic Science*, 24(6), 659–664. doi: 10.1017/S095410201200048X