

Análisis de la estructura del talik de un lago profundo en la Isla Vega, Península Antártica

Analysis of the talik structure in a deep lake on Vega Island, Antarctic Peninsula

Adrian Silva-Busso ⁽¹⁾, Luis Moreno ⁽²⁾, Juan José Durán ⁽²⁾, Eigueniy Ermolin ⁽³⁾, Jerónimo López-Martínez ⁽⁴⁾, José Antonio Cuchi ⁽⁵⁾ y Carlos Martínez-Navarrete ⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto Nacional de Agua, Empalme J. Newbery km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina. pntsas@ina.gov.ar

⁽²⁾ Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, Madrid, España. l.moreno@igme.es; jj.duran@igme.es; c.martinez@igme.es

⁽³⁾ Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, Buenos Aires, Argentina. ivgen@yahoo.com

⁽⁴⁾ Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. jeronimo.lopez@uam.es

⁽⁵⁾ Escuela Politécnica de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte s/n, 22071 Huesca, España. cuchi@unizar.es

ABSTRACT

The current glacial retreat in the northern Antarctic Peninsula region is activating the hydrological system. The study of the dynamics of such system is important considering the impact of water and matter flows on ecosystems. In the case of lakes it is important to know their connection to the surface and underground flow. Analytical models, as the proposed by Redozubov (1966), predict for large lakes the presence of taliks with a direct connection to the aquifers below the permafrost, estimating positive temperatures (1.49°C) in the talik coldest part. However, hydrochemical analysis (SO_4^{2-}/Cl^- relationships) of one of the deepest lakes in the studied region - Esmeralda Lake in Cape Lamb, Vega Island - and of the groundwater around it seems indicate that doesn't exist such connection. This has been confirmed considering the temperatures of the water and sediments of the lake, recommending that the predictions of such analytical model must be checked in the field.

Key words: Hydrogeology, lake, permafrost, talik, Antarctica

Geogaceta, 49 (2010), 35-38
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

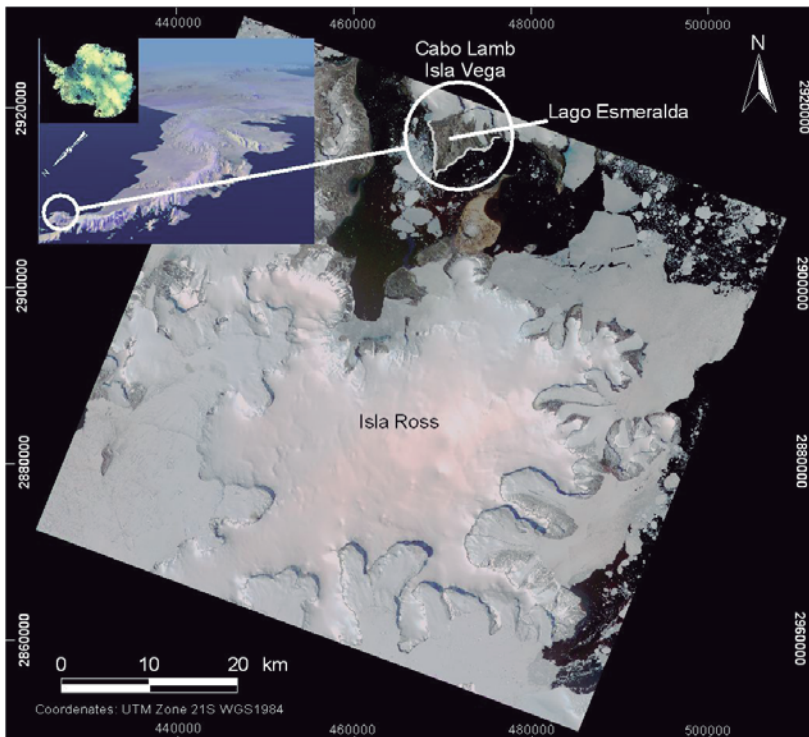


Fig. 1.- Situación de la zona de estudio.

Fig. 1. Location of the study area.

Introducción

El retroceso reciente de varios frentes glaciares en la región de la Península Antártica, ha dado lugar al descubrimiento de áreas continentales y al desarrollo de una red de drenaje superficial y subterránea, de la cual forman parte arroyos y lagos en superficie, junto con acuíferos por encima y debajo del permafrost. Existen, además, zonas descongeladas en el interior del permafrost que permiten la circulación intrapermafrost del agua, son los llamados talik, estos se desarrollan como consecuencia del «efecto pantalla» que provocan los cuerpos de agua, el hielo y el mar gracias a su mala conductividad térmica.

El talik puede ser cerrado o abierto, dependiendo de si está restringido a un perímetro rodeado por permafrost, o si existe conexión entre el cuerpo de agua, los acuíferos supra, infra e intrapermafrost, el lecho de glaciares politermales o el mar. El talik abierto además puede estarlo únicamente en su parte superior, conectando con la atmósfera, o también en su parte inferior, conectando el cuerpo de agua con el acuífero subyacente. En este traba-

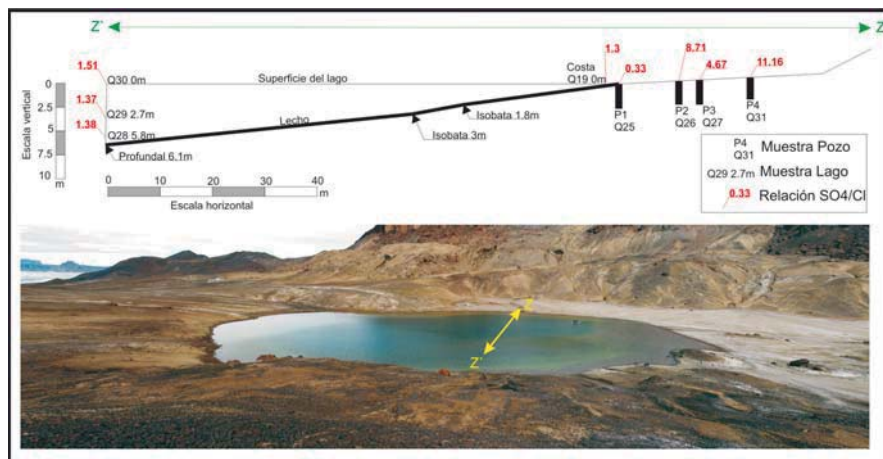


Fig. 2.- Perfil estudiado en el Lago Esmeralda.

Fig 2.-Study Section in the Esmeralda Lake.

jo llamaremos talik abierto al correspondiente a este último caso. Por otra parte, el talik también puede ser permanente, si está presente todo el año, o estacional si solo se desarrolla durante los meses más cálidos. Conocer el tipo de talik, y su profundidad, resulta de gran importancia en los estudios hidrogeológicos en zonas polares, pues estas estructuras modulan el flujo hídrico entre los cuerpos de agua, en nuestro caso un lago, y el subsuelo.

Entre las formulaciones empíricas propuestas para determinar la profundidad del talik destaca la de Redozubov (1966). En este trabajo se presentan datos que demuestran que las mediciones en campo, al menos en las condiciones de algunos lagos del norte de la Península Antártica, no coinciden con los resultados del modelo analítico de Redozubov (op. ct.) y se propone una explicación basada en la génesis del lago.

Área de estudio

El lago en estudio (Lago Esmeralda) se localiza en la vertiente occidental del Cabo Lamb, (63°52'15''S y 57°34'37''W) en la Isla Vega, situada en la región septentrional de la Península Antártica (Fig. 1). La isla está recubierta de hielo aproximadamente en un 80% de su superficie y muestra un relieve abrupto.

La zona del Cabo Lamb liberada de hielo está situada al SO de la isla, a una altura aproximada de 80 m s.n.m. El espesor estimado de los sedimentos en la Isla Vega, varía entre los 20 y los 40 m. A cotas similares en la Isla Marambio, el límite inferior del permafrost se estimó en 55 m (Silva Busso, 2009). La forma del lago en planta es ligeramente elíptica, con 1,6 ha de superficie y se sitúa a una cota de

69 m s.n.m. La ribera del lago es arenolimososa, con poca pendiente en el sector oriental y más escarpada en el sector occidental. El lago desagua por un pequeño canal intermitente en la costa NE y de ahí al mar. A partir de la batimetría realizada durante la campaña, se determinó la existencia de dos depocentros situados uno al NE y otro al SW del centro del lago. En el depocentro del NE se midió la profundidad máxima de 6,10 m (Lirio *et al.*, 2007).

Método de trabajo y resultados

La campaña de toma de datos se realizó a lo largo del mes de enero de 2007, cuando el lago estaba en su nivel máximo estacional. Parte del trabajo consistió en la toma de muestras de las aguas del lago a diferentes profundidades. Al mismo tiempo, se realizaron 4 catas manuales a 0, 12, 18 y 26 metros de la orilla, perpendiculares a la misma, toman-

Lugar	Prof. (m)	SO ₄ ²⁻ /Cl
Costa (Q19)	0	1.3
Profundal (Q30)	0	1.51
Profundal(Q29)	2.7	1.37
Profundal (Q28)	5.8	1.38

Tabla I- SO₄²⁻/Cl⁻ en aguas del lago.

Table I- SO₄²⁻/Cl⁻ in water lake.

Lugar	Prof. (m)	SO ₄ ²⁻ /Cl
Costa (Q19)	0	1.3
Profundal (Q30)	0	1.51
Profundal(Q29)	2.7	1.37
Profundal (Q28)	5.8	1.38

Tabla II- SO₄²⁻/Cl⁻ en aguas subterráneas.

Table II- SO₄²⁻/Cl⁻ in groundwater.

do muestras de agua del acuífero supraperafrost.

La figura 2 muestra el perfil estudiado en el lago (Z-Z'). Se calculó además la relación SO₄²⁻/Cl⁻ (Tablas I y II) como indicador del aporte de aguas desde la capa activa del permafrost (Moreno *et al.*, 2010).

La conductividad del agua del lago varía entre 1313 y 1324 μS/cm y el pH entre 4.53 y 5.35, mientras que en las aguas subterráneas próximas la conductividad varía entre 4804 y 7134 μS/cm, y el pH entre 3.52 y 4.26.

Se midieron además perfiles de temperatura en el punto más profundo del lago, desde la superficie hasta el fondo, así como de la temperatura de los sedimentos de fondo, en tres puntos: el más profundo, la profundidad media y la más somera.

En la figura 3 se presentan los datos de temperatura de las aguas del lago y de los sedimentos de fondo.

Discusión

La evolución del talik del Lago Esmeralda es consecuencia de los procesos locales. Es a través de los sectores descongelados entre y por debajo del permafrost por los que puede fluir el agua subterránea hacia o desde el lago. Redozubov (1966) propuso una expresión empírica (1), empleada posteriormente por diversos autores (Prakash y Sharma, 1990; Vigdorichik, 1978), que permite calcular la temperatura del talik dada una posición x, z en un cuerpo de agua extenso. Se deduce pues que dependiendo del régimen térmico del cuerpo de agua este dará lugar a la presencia de un talik de tipo abierto, o cerrado. Según el autor la expresión propuesta es válida siempre que se de un régimen térmico estable.

$$(1) t_{(x,z)} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varphi(S)dS}{(S-x)^2 + z^2} + gz$$

En la ecuación propuesta, t_(x,z) es la temperatura de los depósitos del fondo con las coordenadas (x, z). S es la función variable de integración determinada por la temperatura media anual del fondo de lago (2.3°C en este caso), la temperatura media anual del permafrost, incluido en S es de -3.5°C (Ermolin, 2009); y g es el gradiente geotérmico, estimado en 0.03 °C/m.

Dado que la expresión (1) relaciona el efecto del congelamiento superficial con el gradiente geotérmico, la estimación de la temperatura del talik

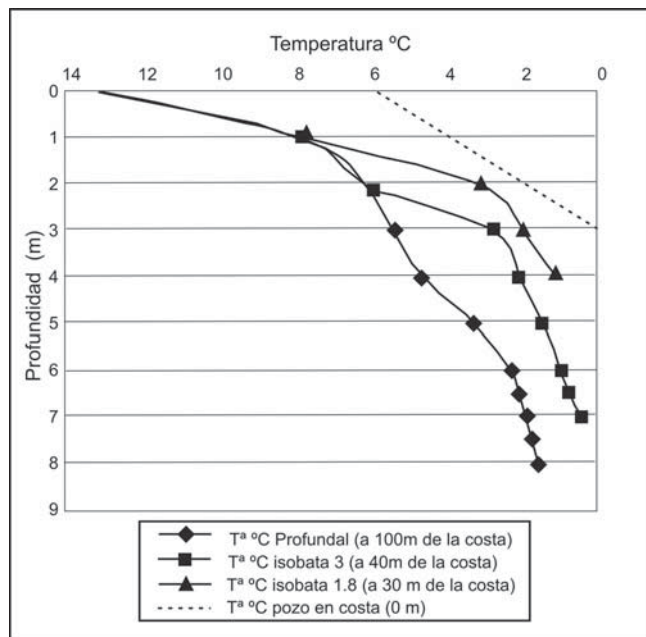


Fig. 3.- Temperatura de las aguas del lago y de los sedimentos de fondo.

Fig 3.-Water and botton sediments temperatures.

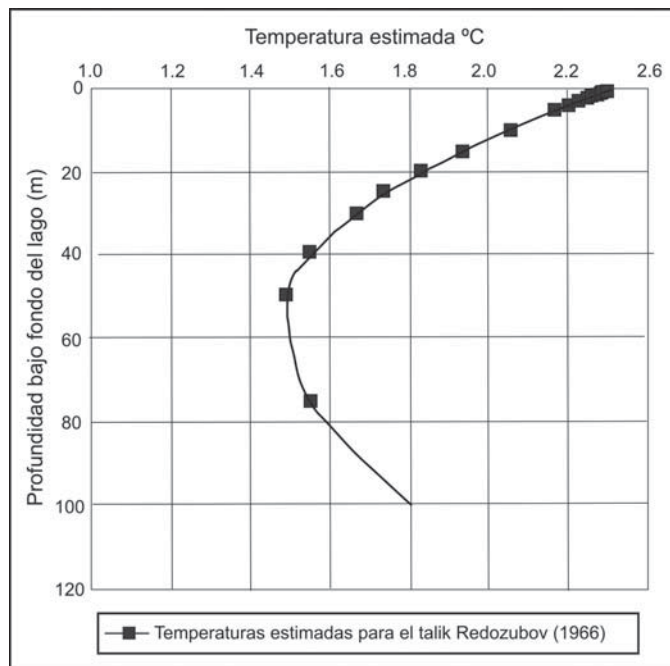


Fig. 4.- Cálculo estimativo de la profundidad y temperaturas para el talik del Lago Esmeralda según el método de Redozubov (1966).

Fig 4.-Estimative calculation of deep vs. temperature in the talik of the Esmeralda Lake using the Redozubov(1966) method.

permite establecer su tipo y con ello si existe conexión con el sistema general de flujo.

Considerando una geometría del lago de planta elíptica y un eje mayor de 150 metros, la zona más profunda (profundal en la figura 5) es de 6.1 m, ubicándose a 100m de la orilla (Lirio *et al.*, 2007). El resultado de la aplicación de la expresión de Redozubov se presenta gráficamente en la figura 4.

La curva prevé para el Lago Esmeralda un talik abierto con temperaturas positivas siempre por encima de 0°C, la temperatura mínima se estima en 1.49°C. Siendo así, no habría permafrost bajo el lago y tendría, dada su altura, conexión con el mar u otros talik fluviales a cotas inferiores. Esta estimación, en este caso particular no se corresponde con las medidas directas de temperatura de fondo del lago (ver Fig. 5).

Como se observa en la figura 5, la proyección de la temperatura del sustrato bajo el lago a diferentes distancias desde la orilla, permite interceptar la isoterma de 0°C entre los 2.5 metros en la ribera y los 13 metros en el punto más profundo. Siendo este último el máximo valor posible, si consideramos que allí existe la columna de agua más potente. Esto significa que se trataría de un talik lacustre cerrado. Como apoyo de esta última propuesta, es importante considerar la relación SO₄²⁻/Cl⁻ indicadora del aporte de aguas desde los

sedimentos, o sea aguas supra o intra permafrost. La citada relación presenta en el acuífero suprapermafrost valores entre 4.68 y 11.16, varias veces mayores que las contenidas en el lago (1.3-1.5) e incluso que en la interfase litoral (0.33). Esto último indicaría un aporte de agua nulo hacia el lago desde el acuífero y hasta tal vez cierto carácter efluente del lago sobre este.

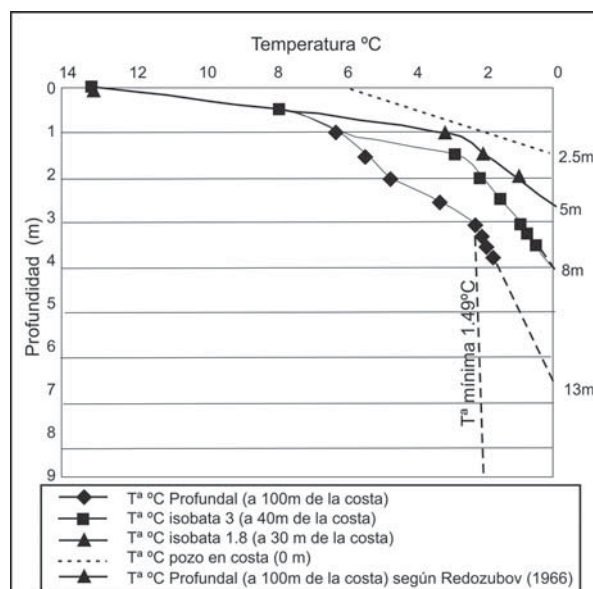
Por otra parte, cabe señalar que no se han observado zonas de descarga a cotas inferiores en la periferia del lago. Además, consideramos que de tratarse de un

talik abierto y por encontrarse en una cota de 69 m s.n.m., la descarga hacia un arroyo cercano o al mar por el talik controlaría su nivel de embalse, cosa que no se verificó durante el seco verano austral. Por el contrario, el lago está conectado con una amplia planicie lo que indica un control más eficaz de la evaporación sobre los niveles de lago.

La figura 6 presenta el modelo propuesto: un talik lacustre cerrado, contrariamente a lo que predice el método de Redozubov (1966) para estos ambientes. En la misma se observan las isoterma en-

Fig. 5.- Comparación de la profundidad bajo el fondo vs. Temperatura del talik, medida *in situ* y calculada según el método de Redozubov (1966)

Fig 5.-Comparison of the deep from the lake bottom and talik temperature, measured *in situ* and calculated using the Redozubov, (1966) method.



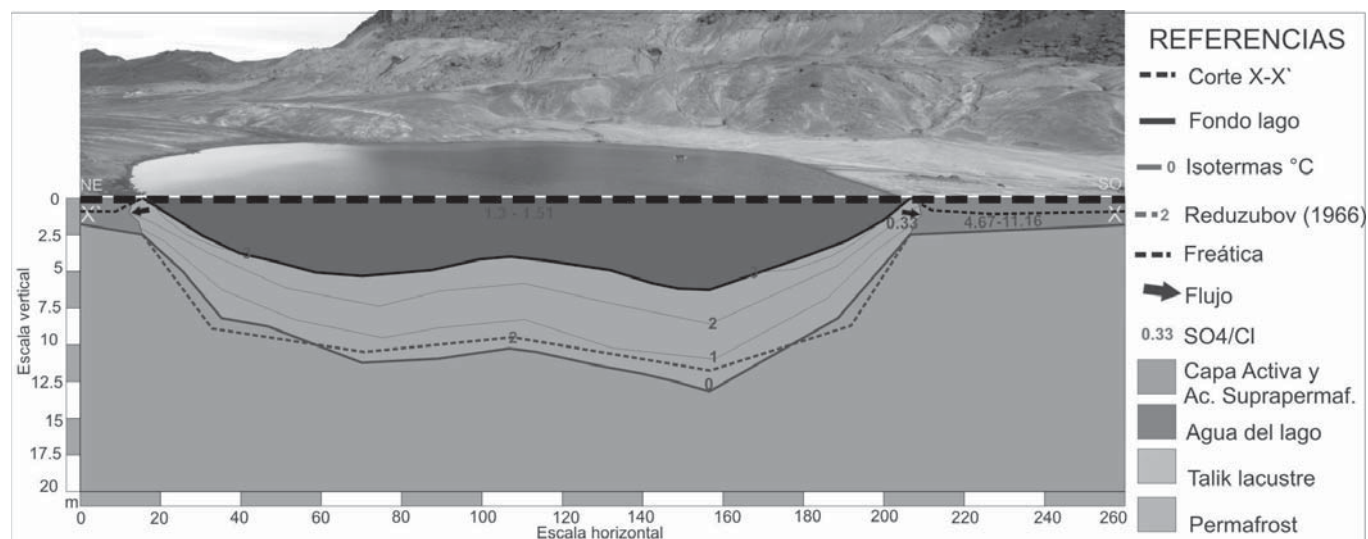


Fig.6.- Talik del Lago Esmeralda.

Fig 6.-Talik of the Esmeralda Lake.

tre 0 y 3°C estimadas sobre la base de las medidas de campo (en rojo) y la isoterma de 2°C (en amarillo) calculada. Entendemos que la disparidad de los resultados puede relacionarse con las consideraciones de la expresión de Reduzubov (op. cit.) y la génesis del Lago Esmeralda. El primero solo considera un balance calórico sobre la base del efecto «pantalla» que un lago ofrece al congelamiento del suelo, consecuente de la elevada capacidad calorífica específica del agua. Este efecto podría ser muy significativo cuando el permafrost es epigenético (posterior al cuerpo de agua). En este caso el Lago Esmeralda se formó posteriormente a las morrenas glaciares con permafrost singenético, o sea que el permafrost que es previo no llega a descongelarse en el talik de acuerdo a la expresión de Reduzubov.

Conclusiones

En este caso consideramos que a pesar de tener un volumen y profundidad notables, la génesis del lago, posterior al desarrollo del permafrost, es la causa que ha condicionado la formación de un talik cerrado y no abierto como predice el mo-

dulo analítico de Reduzubov. La aplicación de conceptos y expresiones matemáticas desarrolladas para áreas subpolares del hemisferio norte pueden ser de utilidad en ambientes similares del hemisferio sur, no obstante, como se demuestra en este trabajo, al estudiar la estructura del talik asociado al Lago Esmeralda, esto no tiene porqué ser siempre cierto y es imprescindible corroborar los resultados de las técnicas analíticas con datos de campo.

Agradecimientos

Este estudio es un resultado de la campaña CAV 0607 de colaboración argentino-española. Ha tenido financiación del proyecto CGL2005-03256ANT del Plan Nacional de I+D. Los autores agradecen el apoyo logístico brindado por el Instituto Antártico Argentino.

Referencias

Ermolin, E. (2009). En: (A. Silva Busso, Ed.). INA, DNA-IAA, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 59-77.
Lirio, J.M., Chaparro, A., Ermolin, E.,

Silva Busso, A. y Brizuela, M. (2007). En: Simposio Argentino y III Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas. Resumen expandido, GEO-RE816, 4Pp.
Moreno, L., Silva Busso, A., Ermolin, E., López-Martínez, J., Durán, J.J., Martínez Navarrete C. y Cuchí, J.A. (2010). *Hydrogeology Journal*, en revisión.
Prakash S. y Sharma, H.D. (1990). *Pile Foundations in Engineering Practice. Special Technical Publication. American Society for Testing and Materials*, John Wiley and Sons, 768p.
Reduzubov D.V. (1966). *Geothermal Method of Permafrost Exploration*. Nauka, 155p.
Silva Busso, A. (2009). En: (A. Silva Busso, Ed), INA, DNA-IAA, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 47-82.
Vigdorchik, M. (1978). *A Geographic Based Information Management System for Permafrost Prediction in the Beaufort and Chukchi Seas*. Publication of Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, 242p.