



## I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

### LAGOS CON CUBIERTA DE HIELO PERENNE: ESTUDIO APLICADO AL LAGO VANDA

SEBASTIÁN ECHEVERRÍA ALAR<sup>1</sup>  
FRANCISCO SUÁREZ POCH<sup>2</sup>

#### RESUMEN EXTENDIDO

El lago Vanda es uno de los numerosos lagos congelados formados por derretimiento glaciar en la Antártida (Ragotzkie y Likens, 1964). Se caracteriza por tener una cubierta de hielo perenne de alrededor de 3.6 metros de espesor, un largo característico de 5.7 km (Hoare, 1968) y ser endorreico. Estas características lo hacen único en varios aspectos: i) la cubierta de hielo permite estudiar procesos dentro del lago sin la interacción directa con la atmósfera (Stefan y Fang, 1997); ii) las propiedades del lago son sensibles a la respuesta de la cubierta de hielo al cambio climático (Vincent et al., 2008); iii) las aguas del lago registran información de grandes períodos de tiempo debido a que en su columna de agua no existe mezcla estacional (Hoare et al., 1964; Wilson and Wellman, 1962); y iv) es un integrador más sensible de los procesos a nivel de cuenca y de clima que un lago exorreico (LaBaugh et al., 1997). Por estas razones, lagos como el Vanda se han utilizado para interpretar las condiciones paleoclimáticas y el cambio climático (e.g., Benson et al., 1998; Laird et al., 1996; Oviatt, 1997). Sin embargo, para llevar a cabo estos estudios, es necesario introducir el efecto que tiene la cubierta de hielo sobre la columna de agua del lago Vanda. En este lago, no hay estudios que investiguen el efecto que tiene la cubierta de hielo sobre el lago.

El objetivo de este trabajo es cuantificar la evolución temporal del espesor promedio de la cubierta de hielo del lago Vanda. Con este propósito, se ha resuelto el balance de energía de la cubierta de hielo, acoplada con los flujos de calor atmosféricos y con los que ocurren en la interfaz hielo-lago (Figura 1). Los flujos de calor atmosféricos consideran la radiación solar, tanto de onda larga como de onda corta y su absorción en la columna de hielo, los flujos de calor latente y sensible, de acuerdo a la formulación presentada por (Jordan y Andreas, 1999). Por otro lado, el flujo de calor entre la cubierta de hielo y el lago se modeló como un flujo de calor convectivo de acuerdo a lo presentado por (Maykut y McPhee, 1995). El modelo matemático, desarrollado emplea el algoritmo computacional propuesto por Maykut y Unsterteiner (1971), que resuelve las ecuaciones de conservación mediante diferencias finitas, considerando un dominio deformable para representar los procesos de acreción y de ablación del hielo. El modelo fue validado utilizando información de una cubierta de hielo del Ártico central (en la Tabla 1 se observan los

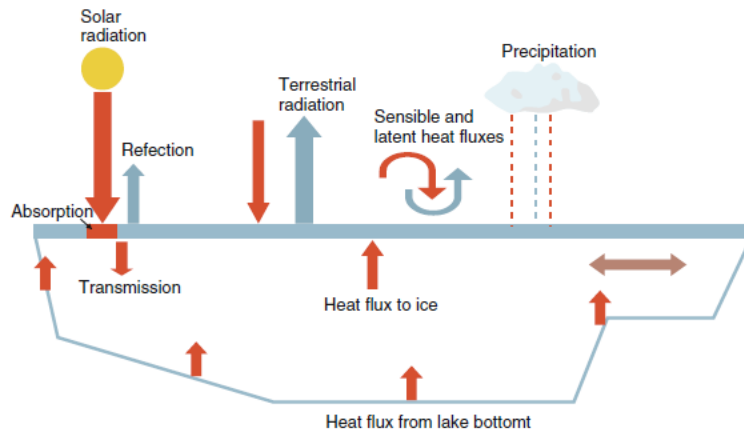
---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, [siecheverria@uc.cl](mailto:siecheverria@uc.cl)

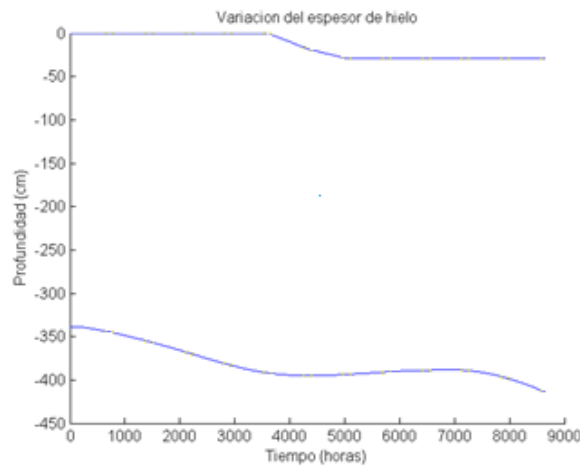
<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, [fsuarez@ing.puc.cl](mailto:fsuarez@ing.puc.cl)



valores modelados y observados (Maykut y Unsterteiner, 1971) de la temperatura superficial de la cubierta de hielo). Resultados preliminares muestran que el modelo matemático desarrollado representa correctamente la evolución temporal del espesor promedio de la cubierta utilizada durante la validación (Figura 2). Por lo tanto será utilizado para representar la evolución de la cubierta de hielo del lago Vanda. En este caso en particular, se modificará el algoritmo de deformación de espesores para disminuir el error numérico asociado a la conservación de energía (Bitz et al., 1999), dado que estos autores se dieron cuenta que con una parametrización del calor latente que no conserva la energía el espesor anual de equilibrio de una cubierta de hielo se sobreestima en 50-124 cm.



**Figura 1:** Esquema de flujos de calor en un lago con cubierta de hielo (Lepparanta, 2015).



**Figura 2:** Evolución temporal a lo largo de un año del espesor promedio de una cubierta de hielo en el Ártico central. Las líneas azules corresponden a la interfaz hielo-aire (arriba) y hielo-océano (abajo) predichas por el modelo desarrollado.



**Tabla 1:** Comparación de mediciones modeladas y observadas de la temperatura del hielo en la superficie.

<b>Mes</b>	<b>Temperatura superficial promedio modelada (- °C)</b>	<b>Temperatura superficial promedio observada (- °C)</b>	<b>Diferencia de temperaturas (- °C)</b>
Enero	27.58	28.86	1.28
Febrero	30.00	30.80	0.80
Marzo	29.25	29.79	0.54
Abril	20.17	21.01	0.84
Mayo	6.00	7.48	1.48
Junio	0.13	0.22	0.09
Julio	0.02	0.10	0.08
Agosto	0.03	0.72	0.69
Septiembre	7.20	7.89	7.69
Octubre	15.84	17.52	1.68
Noviembre	25.80	25.86	0.06
Diciembre	28.36	28.15	-0.21



- Benson, L. V., Lund, S. P., Burdett, J. W., Kashgarian, M., Rose, T. P., Smoot, J. P. y Schwartz, M. (1998). Correlation of late-Pleistocene lake level oscillations in Mono Lake, California, with North Atlantic climate events. *Quaternary Research*, 49, 1-10.
- Bitz, C. M. y Lipscomb, W. H. (1999). An energy-conserving thermodynamic sea ice model for climate study. *Journal of Geophysical Research*, 104 (7), 15669-15677.
- Hoare, R. A., Popplewell, K. B., House, D. A., Henderson, R. A., Prebble, W. M. y Wilson, A. T. (1964). Lake Bonney, Taylor Valley, Antarctica: A natural solar energy trap. *Nature*, 202, 886-888.
- Hoare, R. A. (1968). Thermohaline Convection in Lake Vanda, Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, 73(2), 607-612.
- Jordan, R. E. y Andreas, E. L. (1999). Heat budget of snow-covered sea ice at North Pole 4. *Journal of Geophysical Research*, 104(4), 7785-7806.
- LaBaugh, J. W., Winter, T. C., Rosenberry, D. O., Schuster, P. F., Reddy, M. M. y Aiken, G. R. (1997). Hydrological and chemical estimates of the water balance of a closed-basin in north central Minnesota. *Water Resour. Res.*, 33, 2799-2812.
- Laird, K. R., Fritz, S. C., Grimm, E. C. y Mueller, P. G. (1996). Century-scale paleoclimatic reconstruction from Moon Lake, a closed-basin lake in the northern Great Plains.
- Lepparanta, M. *Freezing of Lakes and the Evolution of their Ice Cover*. Springer, 2005.
- Maykut, G. A. y Untersteiner, N. (1971). Some Results from a Time-Dependent Thermodynamic Model of Sea Ice. *Journal of Geophysics Research*, 76(6), 1550-1575.
- Maykut, G. A. y McPhee, M. G. (1995). Solar heating of the Arctic mixed layer. *J. Geophys. Res.-Oceans*, 100, 24691-24703.
- Oviatt, C. G. (1997). Lake Bonneville fluctuations and global climate change. *Geology*, 25, 155-158.
- Ragotzkie, R. A. y Likens, G. E. (1964). The heat balance of two antarctic lakes. *Limnol. Oceanog*, 412(9), 412-425.
- Stefan, H. G. y Fang, X. (1997). Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region. *Cold Regions Science and Technology*, 25, 137-152.
- Vincent, A. C., Mueller, D. R. y Vincent, W. F. (2008). Simulated heat storage in a perennially ice-covered high Arctic lake: Sensitivity to climate change. *Journal of Geophysical Research*, 113, C04036, doi:04010.01029/02007JC004360.
- Wilson, A. T. y Wellman, H. W. (1962). Lake Vanda: An antarctic lake. *Nature*, 196(4860), 1171-1173.