

Estado del arte de la investigación periglacial en México

La geocriología es la ciencia de la criósfera que estudia los materiales de la corteza terrestre bajo congelamiento. Su cobertura espacial la delimita el ambiente periglacial (comprendido generalmente entre los límites superior del bosque e inferior de los glaciares) y los procesos que en él se desarrollan (Trombotto, Wainstein y Arenson, 2014). En México, los estudios criosféricos, mayormente dentro del ámbito glaciológico de sus altas montañas, dieron inicio en la segunda mitad de los años 50 con los trabajos de Sidney E. White (1956) y José L. Lorenzo (1964), este último en preparación para el Año Geofísico Internacional 1957/1958. A partir de entonces se llevó a cabo una amplia serie de investigaciones en la alta montaña mexicana.

Para 1962, con la publicación de *El Iztacchuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior*, White presentó resultados sobre la actividad volcánica y geomorfológica en el lado oeste del volcán. Describió las características de sus glaciares, del clima en el entorno y los suelos, y señaló condiciones periglaciares por debajo del límite glacial. Sin embargo, el periglaciario, de manera específica, fue abordado años más tarde por Lorenzo quien publica los primeros antecedentes en México sobre el ámbito periglacial de sus volcanes. Su obra *Condiciones periglaciares de las altas montañas de México* (Lorenzo, 1969a) subraya el límite inferior del ambiente periglacial y del permafrost en los tres mayores volcanes del país, situándolos a una altitud entre 3900 y 4600 msnm. Y en 'Minor periglacial phenomena among the high volcanoes

of Mexico' (Lorenzo, 1969b) señala la presencia de hielo relicto, producto del último avance glacial en México.

Más tarde, Klaus Heine, durante una larga estancia en México, que dio lugar a varias investigaciones, asocia las condiciones climáticas con la geomorfología periglacial. En 'Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México' (Heine, 1973) se describen las formas y texturas periglaciares presentes en la Malinche que denomina "crioturbaciones". En 'Permafrost am Pico de Orizaba/Mexiko' (Heine, 1975) destaca la presencia de permafrost fósil entre los 4600 y los 5000 msnm en el volcán Citlaltépetl. Posteriormente A. P. Gurbonov (1978) en 'Permafrost investigations in high-mountain regions' coincide con Heine al manifestar que este se ubica a partir de los 4500 msnm. Heine (1977), por su parte, en 'Zur morphologischen Bedeutung des Kammeises in der subnivalen Zone randtropischer semihumider Hochgebirge Beobachtungen aus Mexiko in den Jahren 1971-1975' describe nuevamente formas y texturas del suelo con hielo permanente, pero esta vez su análisis se extiende a todas las altas montañas mexicanas. Posteriormente, en 'The late quaternary climate of Mexico as it is deduced from glacial and periglacial sediments of the high volcanoes' (Heine, 1978) señala que el límite periglacial inferior no se encuentra definido con precisión pero podría iniciar después de los 4000 msnm donde la vegetación alcanza su límite superior. Menciona, además, con base en estudios climáticos y geomorfológicos, la existencia de morrenas terminales que pudieran representar glaciares rocosos. Esos señalamientos son reiterados en 'Present and past geocryogenic processes in Mexico' (Heine, 1994) donde, además, menciona la presencia de glaciares rocosos y porciones de

permafrost discontinuo por encima de los 4600 msnm en la cordillera neovolcánica.

Dos años después, Madrigal y González (1996) en 'Geomorfología glacial y periglacial del Nevado de Toluca' describen las geoformas glaciares y periglaciares del volcán Xinantécatl basados en la estratigrafía cronológica de White y Heine. Por su parte, Palacios, Parilla y Zamorano (1999) corroboran lo señalado por Heine en 1978 y 1994 mientras estudian una morrena terminal ocasionada por el glaciar Jamapa del Citlaltépetl, y con base en el análisis de sedimentos y temperatura del suelo determinaron la presencia de permafrost. Los resultados aparecieron en su trabajo 'Paraglacial and postglacial debris flows on a Little Ice Age terminal moraine: Jamapa Glacier, Pico de Orizaba (Mexico)'.

Años más tarde, Palacios, Zamorano y Andrés (2007) en 'Permafrost Distribution in Tropical Stratovolcanoes: Popocatepetl and Iztaccíhuatl Volcanoes (Mexico)', señalan que, con base en las temperaturas registradas a la misma altitud, entre los 10 y 80 cm de profundidad, no se encontraron diferencias significativas entre los dos volcanes a pesar de la actividad vigente del Popocatepetl. Ese mismo año, Castillo-Rodríguez, López-Blanco y Palacios (2007), en la elaboración de un mapa geomorfológico de la Malinche, que aparece en 'Multivariate analysis of the location of rock glaciers and the environmental implications in a tropical volcano: La Malinche (Central Mexico)', incluyen la descripción de geoformas periglaciares encontradas, particularmente las que condicionan el desarrollo de glaciares rocosos.

'Distribución del permafrost e intensidad de los procesos periglaciares en el estratovolcán Iztaccíhuatl (México)' es la publicación que Andrés, Palacios, Zamorano, Vázquez-Selem (2010) donde enfatizan la inexistencia de permafrost continuo debido a la altitud del volcán, pero reconocen la aparición de porciones aisladas y discontinuas entre los 4600 y 5000 msnm. Al año siguiente Andrés, Palacios, Zamorano, Vázquez-Selem (2011) dan a conocer 'Shallow ground temperatures and periglacial processes on Iztaccíhuatl volcano, Mexico', y con base en la temperatura del suelo asocian procesos periglaciares en el

volcán Iztaccíhuatl, y entre ellos, la presencia de permafrost por encima de los 4900 msnm, lo que convalida lo señalado en su trabajo del año anterior.

En 2012, Andrés y colaboradores analizan las temperaturas del suelo en el Popocatepetl que les sirvió para identificar zonas de permafrost discontinuo a 200 metros por encima de lo que se reportó en el Iztaccíhuatl; estos resultados se publicaron en 'Temperatura del suelo en el volcán Popocatepetl: Implicaciones entre actividad volcánica y deglaciación' (Andrés, Palacios, Zamorano y Vázquez-Selem, 2012a). Ese mismo año los autores correlacionaron la temperatura del aire con los datos térmicos del suelo en el Iztaccíhuatl durante un período de diez años. Obtuvieron como resultado que la zona periglacial del volcán inicia a los 4400 msnm, con regiones de permafrost discontinuo y aislado entre los 4600 y 5000 msnm en función de la orientación de las laderas; sus resultados fueron publicados en 'Diez años de control térmico en el suelo del estratovolcán tropical Iztaccíhuatl (México)' (Andrés, Palacios, Zamorano, Mendoza y Vázquez-Selem, 2012b). Este trabajo representa la más reciente publicación del tema periglacial en México.

Es destacable la gran aportación de Heine y, más recientemente, de Andrés y Palacios al tema del periglacialismo en México, pero al mismo tiempo permite ver que los principales trabajos en el ámbito periglacial mexicano no han sido liderados por investigadores connacionales, sino que, a pesar de ser parte importante en ellos, la iniciativa para abordar el tema ha venido, en su mayoría, de extranjeros. Esto motiva a pensar que quizá existe una carencia de especialistas mexicanos en el área o que aún no hay el suficiente interés por la geocriología de las montañas mexicanas; por lo tanto, resulta necesario un mayor involucramiento del ámbito estudiantil y académico de las ciencias de la Tierra en general.

Por otra parte, al comparar el número de trabajos glaciológicos con los de periglacialismo en nuestro país, resulta notorio un número mucho menor de estos últimos. Esto obedece, quizás, a que el tema periglacial es más reciente que glaciológico, y también a lo que en su momento señala Haeblerli (2010), que el permafrost como principal elemento

del entorno periglacial posee características no visibles en comparación con los glaciares por lo que debe estudiarse *in situ*; así mismo, Abramov, Gruber y Gilichinsky (2008) destacan como principal obstáculo para su estudio lo remoto y la dificultad de acceso a los sitios de investigación.

No obstante lo anterior, es notable el avance logrado en la geocriología de las altas montañas mexicanas, particularmente en los últimos años, cuando los trabajos van más allá de las descripciones visuales que se realizaban previamente. Si bien la glaciología ha asociado sus estudios con el ambiente periglacial, existe ya una marcada línea que la distingue de la geocriología, tanto en objeto como en método de estudio, pero siempre actuando de manera interdisciplinaria junto con otras ciencias como la climatología y la geomorfología. Estos avances han permitido contar con un inventario actual de la cobertura de permafrost en México; sin embargo, al considerar la marcada variabilidad climática de las últimas décadas y su impacto en la criósfera, resultaba necesaria una actualización de su extensión en el volcán Citlaltépetl, el más alto del país y de Norteamérica (5610 msnm); ya que a partir de 1975, cuando fue estudiado por Heine, no había sido cartografiada su cobertura ni se había analizado su estado de conservación, contrario a lo que se ha hecho recientemente para el caso del Popocatepetl y el Iztaccíhuatl. Por esta razón se espera que en breve sean publicados los resultados obtenidos durante ese trabajo realizado por el Instituto de Geofísica de la UNAM [Soto-Molina y Delgado-Granados (sometido y en revisión)].

Víctor Hugo Soto Molina y Hugo Delgado Granados
Departamento de vulcanología,
Instituto de geofísica,
Universidad Nacional Autónoma de México

REFERENCIAS

- Abramov, A., Gruber, S. y Gilichinsky, D. (2008). Mountain Permafrost on Active Volcanoes: Field Data and Statistical Mapping, Klyuchevskaya Volcano Group, Kamchatka, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19, 261-277.
- Andrés, N., Palacios, D., Zamorano, J., Vázquez-Selem, L. (2010). Distribución del permafrost e intensidad de los procesos periglaciares en el estratovolcán Iztaccíhuatl (México). *Eria*, 83, 291-310.
- Andrés, N., Palacios, D., Zamorano, J. J. y Vázquez-Selem, L. (2011). Shallow ground temperatures and periglacial processes on Iztaccíhuatl volcano, Mexico. *Permafrost and Periglacial Processes*, 22(2), 188-194.
- Andrés, N., Palacios, D., Zamorano, J., Mendoza-Margáin, C., y Vázquez-Selem, L. (2012a). Temperatura del suelo en el volcán Popocatepetl: Implicaciones entre actividad volcánica y deglaciación. En *VIII Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 25-26). Guadalajara, México.
- Andrés, N., Palacios, D., Zamorano, J., Mendoza, C. y Vázquez-Selem, L. (2012b). Diez años de control térmico en el suelo del estratovolcán tropical Iztaccíhuatl (México). En *XII Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 649-652). Santander, España.
- Castillo-Rodríguez, M., López-Blanco, J. y Palacios, D. (2007). Multivariate analysis of the location of rock glaciers and the environmental implications in a tropical volcano: La Malinche (Central Mexico). *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementary Issues*, 51(2): 39-54.
- Gorbunov, A. P. (1978). Permafrost investigations in high-mountain regions. *Arctic and Alpine Research*, 10, 283-294.
- Haerberli, W., Noetzli, J., Arenson, L., Delaloye, R., Gärtner-Roer, I., Gruber, S., Isaksen, K., Kneisel, Ch., Krautblatter, M. y Phillips, M. (2010). Mountain permafrost: development and challenges of a young research field in *Journal of Glaciology*, 56(200), 1043-1058.
- Heine, K. (1973). Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México, deducciones indirectas de observaciones geomorfológicas. *Comunicaciones*, 7, 51-58.
- Heine, K. (1975). Permafrost am Pico de Orizaba/ Mexiko. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 26, 212-217.
- Heine, K. (1977). Zur morphologischen Bedeutung des Kammeises in Mexiko. Beobachtungen aus den Jahren 1971-1975. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 21, 57-78.
- Heine, K. (1983). Mesoformen der Periglazialstufe der semihumiden Randtropen, dargestellt an Beispielen der Cordillera Neovolcánica, Mexiko. En H. Poser y E. Schunke (Hrsg.), *Mesoformen des Reliefs im heutigen Periglazialraum* (pp. 403-424). Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 3, Folge Nr. 35. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Heine, K. (1994). Present and past geocryogenic processes in Mexico: A synopsis. *Permafrost and Periglacial Processes*, 5, 1-12.

- Lorenzo, J. L. (1964). *Los glaciares de México* (segunda edición). Monografías del Instituto de Geofísica. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lorenzo, J. L. (1969a). *Condiciones periglaciares de las altas montañas de México*. Serie Paleoecología 4: México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Lorenzo, J. L. (1969b). Minor periglacial phenomena among the high volcanoes of Mexico. En Troy L. Pewé (Ed.), *The periglacial environment: past and present* (pp. 161-175). Montreal: Arctic Institute of North America, McGill-Queen's University Press.
- Madrigal, U. D. y González, T. M.A. (1996). Geomorfología glacial y periglacial del Nevado de Toluca. *Ciencia ergo-sum*, 3(1), 95-101.
- Palacios, D., Parilla, G. y Zamorano, J. (1999). Paraglacial and postglacial debris flows on a Little Ice Age terminal moraine: Jamapa Glacier, Pico de Orizaba (Mexico). *Geomorphology*, 28, 95-118.
- Palacios, D., Zamorano, J. J. y Andrés, N. (2007). Permafrost Distribution in Tropical Stratovolcanoes: Popocatepetl and Iztaccíhuatl Volcanoes (Mexico). *Geophysical Research Abstracts*, 9, 05615.
- Trombottto, D., Wainstein, P. y Arenson, L. (2014). *Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana. Terminological Guide of the South American Geocryology*. Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editores, Fundación de Historia Natural.
- White, S. E. (1956). Probable substages of glaciation on Iztaccíhuatl, Mexico. *Journal of Geology*, 64, pp. 289-295.
- White, S. E. (1962). *El Iztaccíhuatl: Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior*. Serie Investigaciones 6. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- White, S. E. (1978). Acontecimientos glaciales y periglaciales en el Ajusco. *Antropología e Historia. Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 22, 51-56.