

Ensayo de métodos para analizar el registro glacial del cambio climático en los Andes Centrales

Jose Úbeda^{1,2,4}, Ronald Concha¹, Pool Vásquez¹, Néstor Campos², Claudia Giráldez³, Eduardo García⁴, Tatiana Quirós⁴, David Palacios²

¹Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Perú). ²Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña. Universidad Complutense de Madrid, ³Department of Geography. University of Zurich. ⁴Guías de Espeleología y Montaña.

joseubeda@ucm.es

1. Introducción

El retroceso de los glaciares de los Andes Centrales es uno de los principales riesgos climáticos que afectarán a Perú durante el siglo XXI, debido a la importancia que esas masas de hielo tienen como reserva hídrica y tratarse de uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático (IPCC, 2013). Por ese motivo el INGEMMET está realizando investigaciones para comprender el ritmo y la distribución territorial del proceso de deglaciación. Una parte de las investigaciones consiste en ensayar métodos matemáticos para elaborar modelos de la respuesta de los glaciares al cambio climático, cuyo mejor indicador es la altitud de la línea de equilibrio, usualmente conocida por el acrónimo de su denominación anglosajona: *Equilibrium Line Altitude* (ELA). La ELA es una isohipsa (m) que separa la zona de acumulación y la zona de ablación de un glaciar. El presente trabajo muestra los resultados de los ensayos realizados para utilizar ELAs actuales y pasadas (paleoELAs) para evaluar el enfriamiento del clima durante el último avance de los glaciares. Los resultados se compararon con datos instrumentales sobre el calentamiento global de la Tierra desde la última pulsación fría globalmente reconocida en todo el planeta: la Pequeña Edad del Hielo (PEH), que los isótopos de oxígeno del Nevado Huascarán sugieren que, en los Andes Centrales, ocurrió durante el periodo 1500-1890 (Thompson et al, 2000). Mejorando la comprensión de la ELA como geoindicador del cambio climático podrán diseñarse instrumentos de análisis para elaborar modelos sobre la evolución de los glaciares durante el siglo XXI, incorporando los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013).

2. Metodología

Para comprender la influencia del clima en la evolución de los glaciares de Perú es preciso analizar montañas regularmente distribuidas a lo largo y ancho de los Andes Centrales. Con esa finalidad se seleccionaron las áreas de estudio que se localizan en la figura 1. La ELA actual y la paleoELA PEH se reconstruyeron empleando el método *Area x Altitude Balance Ratio* (Osmaston, 2005), descrito en el libro de resúmenes. La evaluación del enfriamiento del clima durante el avance de los paleoglaciares se realizó mediante el cálculo del producto: $\Delta T = GTV \cdot \Delta ELA_g$, donde ΔT es el enfriamiento del clima en la culminación de la expansión glacial (°C); GTV el gradiente térmico vertical (°C/m) y ΔELA_g el desnivel ELA actual-paleoELA (m). Aunque el proyecto de investigación está instalando sensores de temperatura en las áreas de estudio para conocer los GTV locales, en los ensayos preliminares que se presentan en este trabajo se utilizó el valor medio de la Tierra (GTV=0,0065°C/m), que Kaser y Osmaston (2002) consideraron válido para los trópicos.

3. Resultados y discusión

La tabla resume los resultados obtenidos para las ELAs actuales, las paleoELAs y el enfriamiento del clima durante la expansión glacial. También la comparación del enfriamiento estimado con el calentamiento global deducido de datos instrumentales. Los resultados preliminares de esa comparación sugieren que la utilización del producto $GTV \cdot \Delta ELA$ puede ser un buen indicador del enfriamiento del clima durante las fases de avance glacial. Por lo tanto también podría ofrecer buenos resultados para extrapolar hacia el futuro las tendencias de la evolución de los glaciares observadas en el pasado.

RESULTADOS

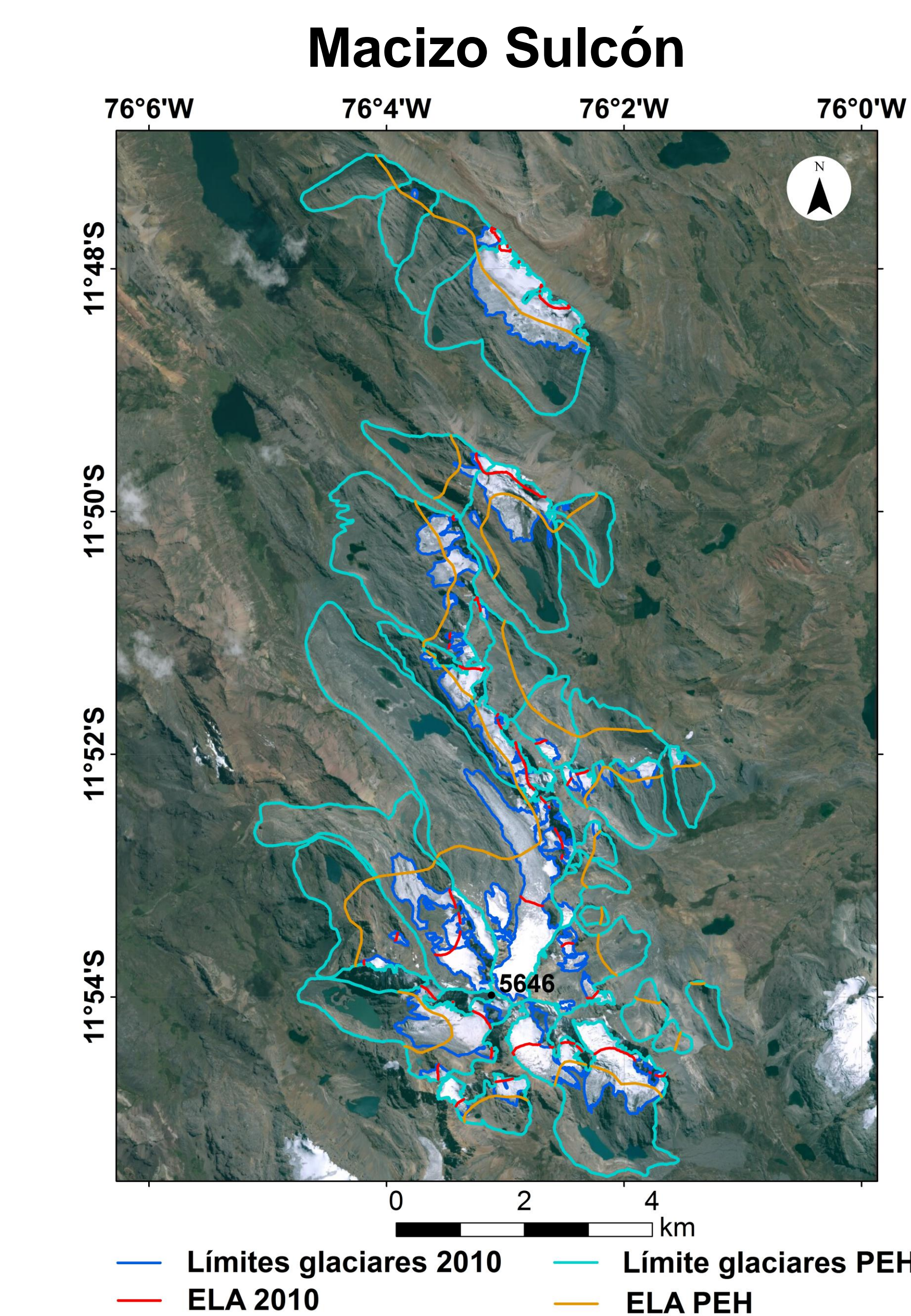
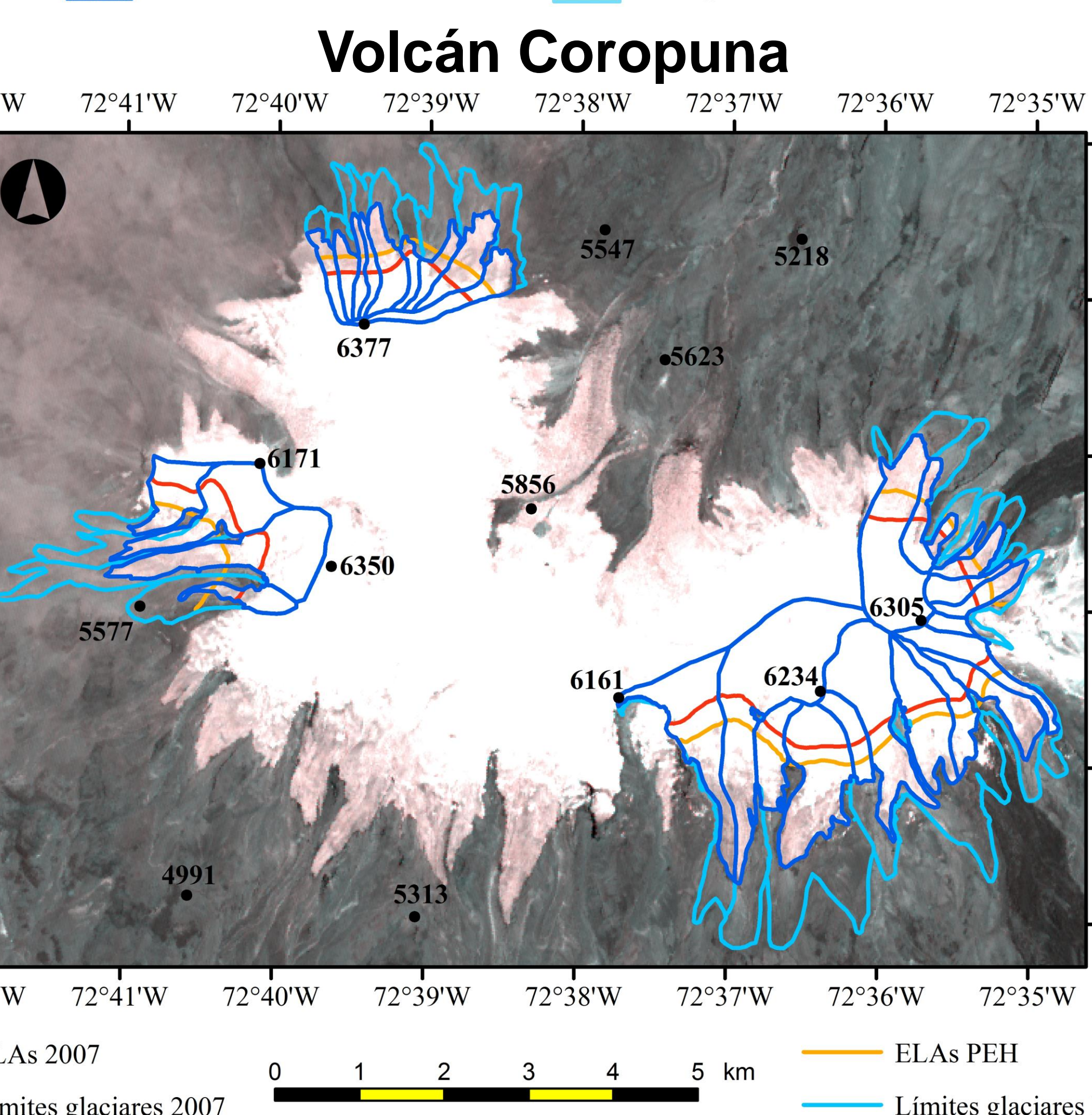
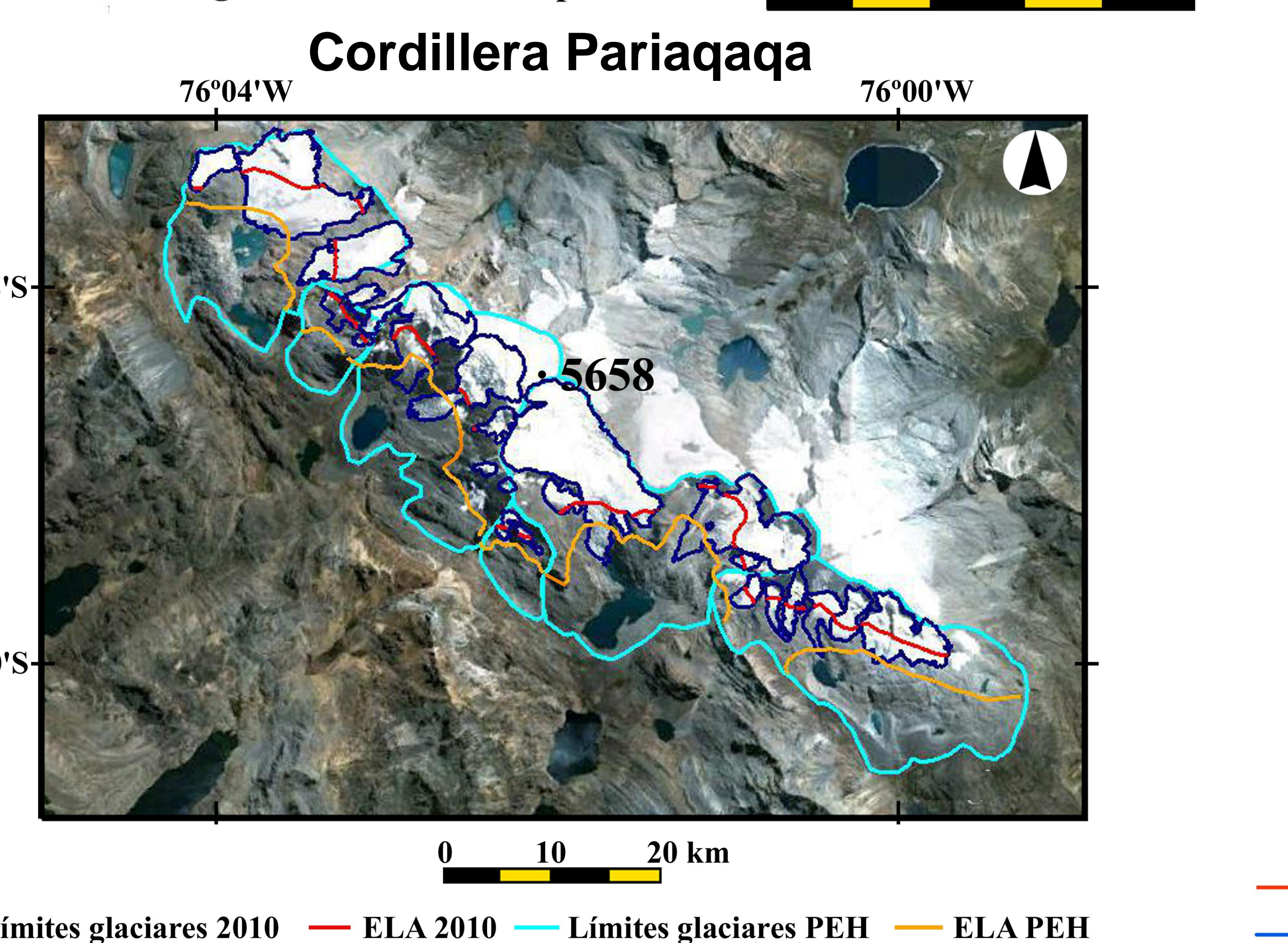
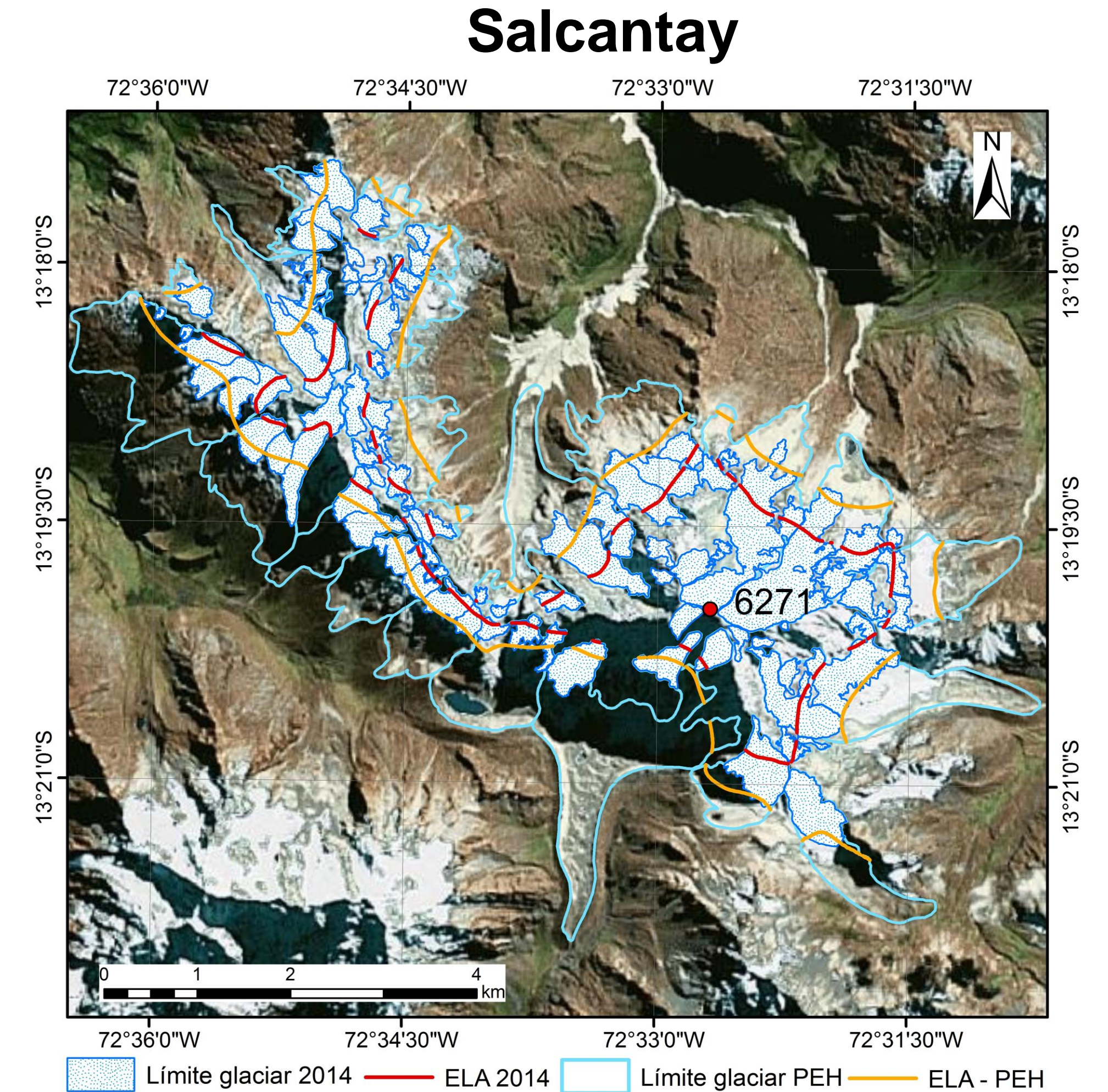
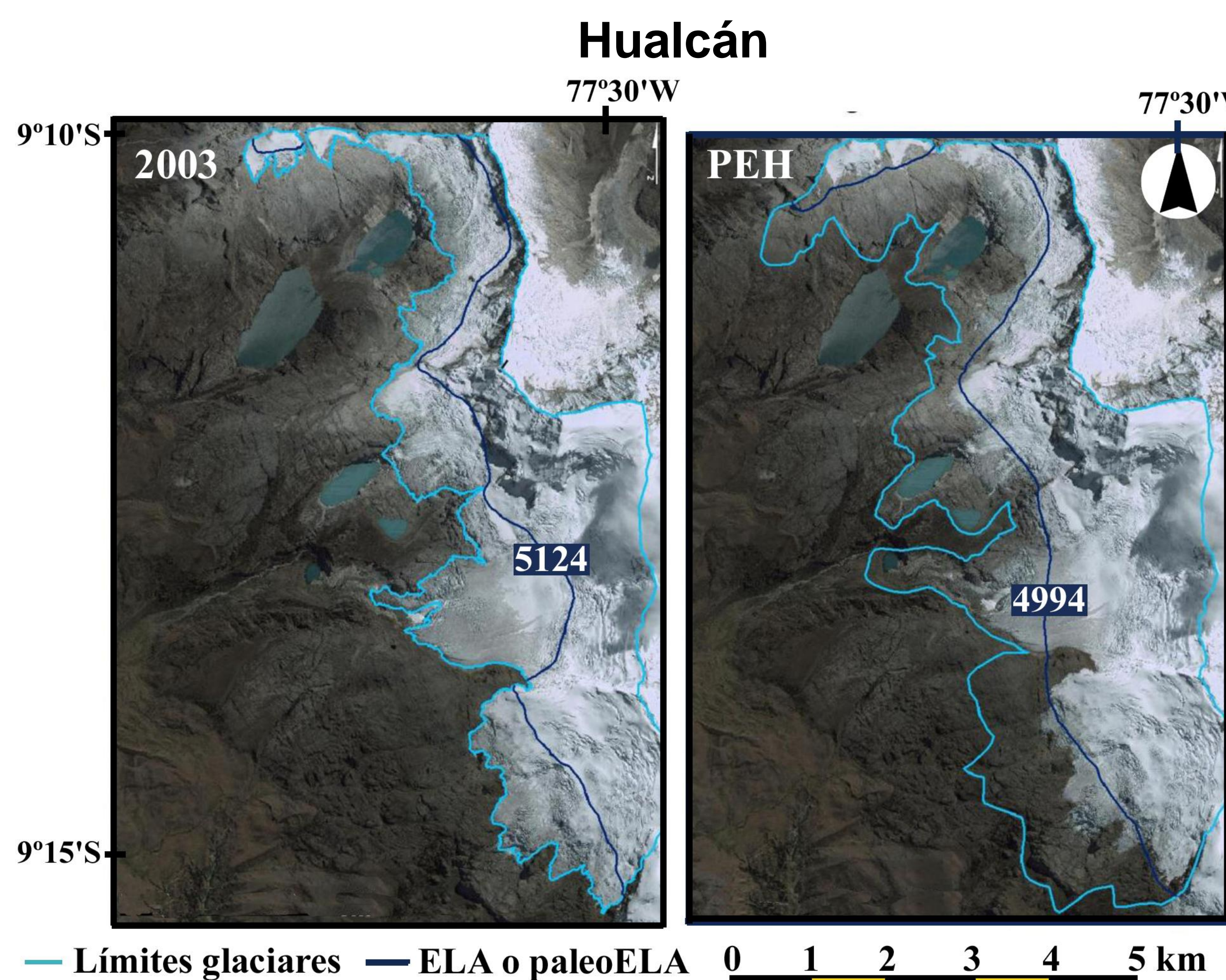
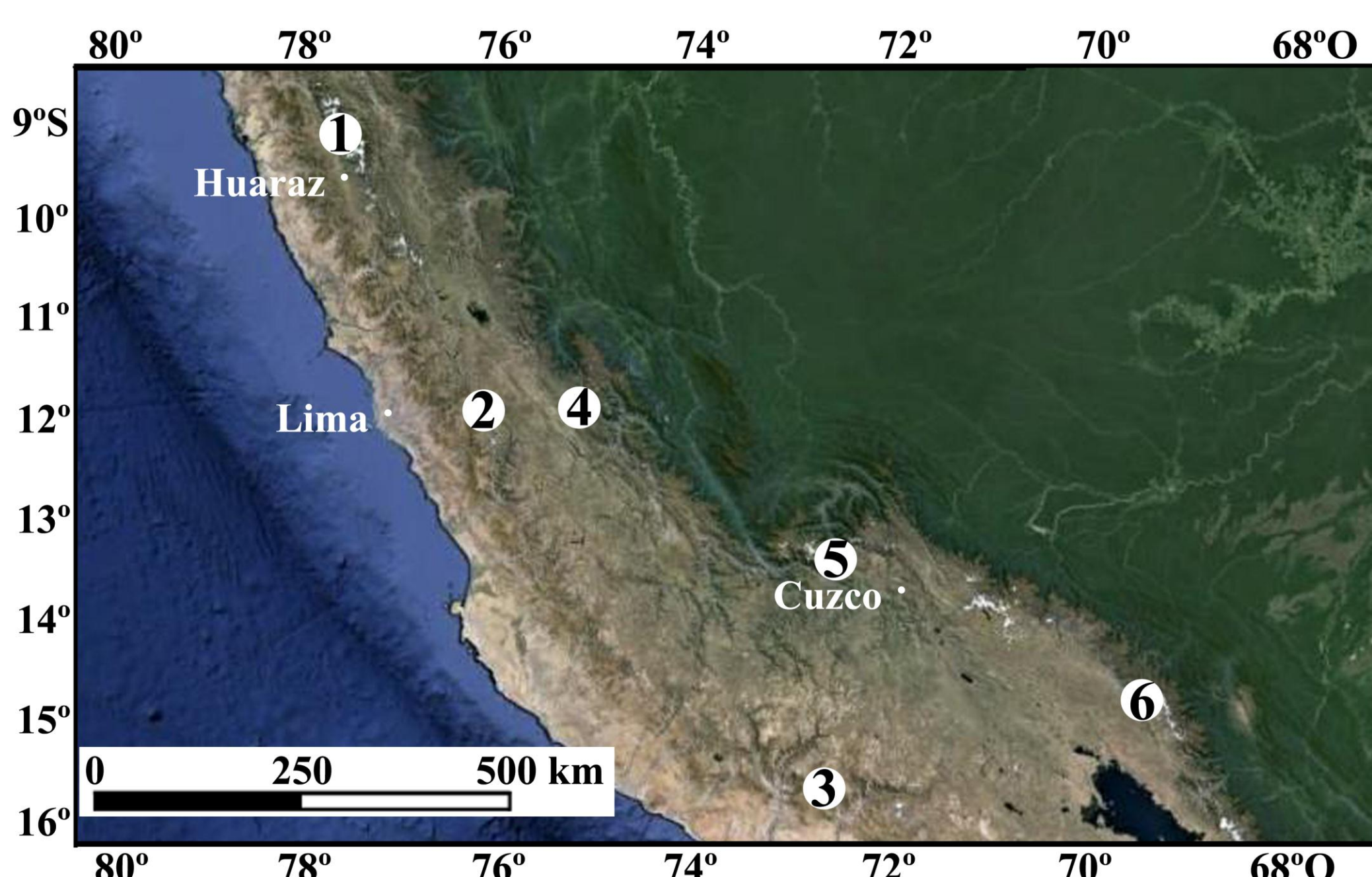
Latitud/Longitud Año imágenes de satélite GTV (°C/m)	Nevado Coropuna							Promedios		
	Hualcán ¹ 9°S/77°O 2003	Pariaqaqa ² 12°S/76°O 2010	Sulcón ³ 2010	NO ⁴ 16°S/72°O 2007	NE ⁵ SE ⁵ SO ⁶ 2007	Salcantay ⁷ 13°S/72°O 2014	0,0065			
PRESENTE	ELA (m)	5124	5138	5246	6034	5968	5992	5143	5563	
	BR	1	1	1	3	1	2	1	1,4	
	σ	90	132	133	36	73	80	289	121	
PEH	paleoELA (m)	4994	4998	5106	5936	5886	5823	4847	5421	
	BR	1	3	1	3	1	1	1	1,5	
	σ	124	161	91	61	93	39	167	113	
Enfriamiento local del clima	ΔELA (m)	130	140	140	98	82	169	296	143	
	ΔT (°C)	0,85	0,91	0,91	0,64	0,53	1,1	1,92	0,93	
Diferencia calentamiento global-enfriamiento local	Promedios anuales 1880-2012	ΔT (°C)=-0,85	0,01	-0,06	-0,06	0,21	0,32	-0,25	-1,07	-0,08
	Promedios series 1850-1900/2003-2012	ΔT (°C)=-0,78	-0,06	-0,13	-0,13	0,14	0,25	-0,32	-1,14	-0,15

ELAs y paleoELAs: ¹Giráldez (2003); ²Quirós (2013); ³Vásquez (2015); ⁴García (2013); ⁵Úbeda (2011); ⁶Campos; ⁷Concha (2015)

Tendencias del calentamiento global deducidas de datos instrumentales para el periodo 1880-2012 y los promedios de las series 1850/1900-2003/2012: IPCC (2013)

ÁREAS DE ESTUDIO

- Hualcán.
- Pariaqaqa-Sulcón.
- Coropuna.
- Huaytapallana
- Salcantay.
- La Rinconada



Campos, N. (2012). Glacier evolution in the South West slope of Nevado Coropuna (Cordillera Ampato, Perú). Tesis de maestría. Universidad Complutense de Madrid, 55 pp. **Concha R. (2015).** Evaluación del Impacto del Cambio Climático a finales del Holoceno, en los glaciares de los nevados Salcantay y Huamantay (Cusco - Perú). Tesis de ingeniería. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. 96 pp. **García, E. (2013).** Evolución glacial del cuadrante noroeste del Nevado Coropuna. Tesis de Fin de Máster. Universidad Complutense de Madrid (España), p. 50. <http://eprints.ucm.es/23671/> **Giráldez, C. (2011).** Glacier evolution in the South West slope of Nevado Hualcán (Cordillera Blanca, Peru). Universidad Complutense de Madrid (España), p. 125. <http://eprints.ucm.es/14013/> **IPCC (2013).** Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (Reino Unido) y Nueva York (Estados Unidos), 1535 pp. **Kaser, G. y Osmaston, H. (2002).** Tropical Glaciers. Cambridge University Press, Cambridge (Reino Unido). 207 pp. **Osmaston, H. (2005).** Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation. Quaternary International 22-31, 138-139. **Quirós, T. (2013).** Impacto del Cambio Climático en los glaciares de las montañas Chollquepuero y Pariaqaqa (Perú). Tesis de fin de Grado. Universidad Complutense de Madrid (España), 51 p. **Thompson, L.G. y Mosley-Thompson, E. A. (2000).** Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum. Journal of Quaternary Science 15 (4), 377-394. **Úbeda, J. (2011).** El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevado Coropuna (cordillera occidental de los Andes, Sur del Perú), Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid (España), p. 558. <http://eprints.ucm.es/12076/> **Vásquez, P. (2015).** El registro glacial del cambio climático en el Macizo Sulcón (sector septentrional de la Cordillera Pariaqaqa). Tesis de ingeniería. Universidad Nacional del Altiplano (Puno). 92 pp.