

Évaluation de la surface de la calotte glaciaire du volcan Cotopaxi au moyen de la photogrammétrie digitale

Bolívar Cáceres Correa¹

Mots-clés : glacier – photogrammétrie – corrélation stéréographique – changement climatique – risque glaciaire – Équateur

Le Cotopaxi, volcan actif, représente un risque important pour la population, nombreuse, qui habite aux alentours et pour les infrastructures situées dans la zone, qui seraient gravement affectées en cas d'éruption. Il est donc nécessaire de connaître le plus exactement possible la surface de la couverture glaciaire sur le volcan afin de pouvoir déterminer la quantité approximative d'eau accumulée dans le glacier.

Dans ce but, en 2003, on a réalisé une restitution photogrammétrique des photos du Cotopaxi les plus récentes, disponibles à l'époque, qui correspondaient à un vol effectué par l'IGM en 1997. Il s'agissait de 18 photos en couleur (3589-3606) distribuées en deux lignes et couvrant entièrement le volcan.

Pour cette restitution, 14 points de contrôle ont été mesurés sur le terrain, en utilisant un système de positionnement satellitaire différentiel (DGPS) durant les mois de janvier et d'avril 2003.

Dans une deuxième phase, les photos ont été traitées à l'aide du logiciel LISA et ses modules Base, Foto et Imatie (©Dr.rer.nat. Dr. Ing. Wilfried Linder, Université de Hannover, Allemagne). Cette technique a permis de mesurer et de situer, sur les photos en format numérique, les points de contrôle obtenus sur le terrain. De même, cela a permis de mesurer les points de passage respectifs entre les différentes photos et les bandes considérées.

Dans une troisième phase, une corrélation stéréographique effectuée au moyen du logiciel BLUH (©Dr. Ing. Karsten Jacobsen, Université de Hannover, Allemagne) a permis d'ajuster le bloc constitué par les photos préalablement traitées. Le résultat de ce processus a été l'élaboration d'une orthophoto numérique, parfaitement géo-référencée sur laquelle il est possible de mesurer

1 INAMHI, Iñaquito 770 y Corea, Quito, Équateur

aussi bien les coordonnées géographiques que les hauteurs respectives, ainsi que la longueur du développement des langues et les surfaces correspondantes.

Les tableaux 1 et 2 et la photo 1 présentent les résultats obtenus. En comparant le travail effectué par Jordan en 1983 avec des photos de 1976 et celui réalisé par Cáceres en 2003 (photos de 1997), on peut constater que pour les langues glaciaires la valeur moyenne de réduction de la surface est de 31 % et celle de la perte

en longueur de 18 %. Si on tient compte du travail effectué actuellement sur une langue (15) du volcan Antisana, on peut affirmer que la tendance au recul des glaciers des montagnes situées dans la Cordillère Orientale ou Royale est la même, ce qui permet de déduire que dans le cas du Cotopaxi, la surface serait d'environ 14 km² en 2003, hypothèse qui pourrait être confirmée ou abandonnée, en utilisant la méthode décrite, si des photos plus récentes du volcan étaient disponibles.

Photo 1 – Ortophoto du volcan Cotopaxi
Ortofotografía del volcán Cotopaxi



Tableau 1 - Mesures des surfaces et longueurs de chaque langue du volcan Cotopaxi
Medidas de superficie y longitud de cada lengua del volcán Cotopaxi

Glacier / Glaciar	Surface Superficie 1976* (m ²)	Surface mesurée Superficie medida 1997** (m ²)	Réduction de la surface Reducción de la superficie (%)	Longueur Longitud 1976 (m)	Longueur Longitud 1997 (m)	Réduction de la longueur Reducción de la longitud (%)
Sindipampa	1 437 000	865 288	39,8	2 228	1 801,7	19,1
Carero Machay	975 100	770 737	21	2 463	2 241,1	9
Potrerillos	982 800	772 697	21,4	2 665	2 415,3	9,4
Pucahuaycu Norte	1 203 800	889 490	26,1	3 014	2 690,9	10,7
Mudadereo	1 170 900	725 944	38	2 859	2 384,9	16,6
Cajas	1 362 500	934 392	31,4	3 195	2 502,3	21,7
Tamboyacu	1 535 300	1 260 519	17,9	3 235	2 580	20,2
Manantial	2 009 100	981 947	51,1	3 117	2 471	20,7
Tambo	1 165 200	893 101	23,4	3 530	2 795,4	20,8
Churruhuro	1 348 900	994 823	26,2	2 810	2 723,6	3,1
Simarrones	1 585 600	1 268 441	20	3 463	2 585	25,4
El Picacho	1 403 500	1 067 241	24	2 511	2 063,4	17,8
Saquimala	768 800	353 646	54	2 160	1 783,3	17,4
San Lorenzo	1 192 300	740 291	37,9	2 342	1 932,7	17,5
Capuli-Huaicu	776 100	435 090	43,9	2 339	1 861,9	20,4
Pucahuaicu Oeste	298 300	195 418	34,5	1 353	777,5	42,5
Chanchunga Sur	382 600	320 682	16,2	2 378	1 917,9	19,3
Chanchunga Norte	712 300	427 635	40	2 438	1 859,5	23,7
Yanasacha	957 400	735 124	23,2	2 416	2 128,7	11,9
Total	21 267 500	14 632 507				
Moyenne / Promedio			31	2 658,7	2 185,1	18,3

* Jordan 1983, ** Cáceres, 2003.

Tableau 2 - Valeurs de surface de la calotte glaciaire du Cotopaxi
Valores de superficie del casquete glaciar del Cotopaxi

Année Año	Surface Superficie (m ²)	Surface Superficie (km ²)
1976*	21 267 500	21
1997**	14 632 507	15
2003**	13 972 128	14

* Jordan 1983, ** Cáceres, 2003.

Evaluación del área del casquete glaciar del volcán Cotopaxi mediante la utilización de fotogrametría digital

Palabras clave: glaciar – fotogrametría – estéreo correlación – cambio climático – riesgo glaciar – Ecuador

Siendo el Cotopaxi un volcán activo ubicado en una zona de alto riesgo por la cantidad de personas que habitan en sus cercanías así como la numerosa infraestructura que sería afectada en el caso de que ocurra una erupción, se hace necesario conocer de la manera más precisa posible el área de la cobertura glaciar sobre el volcán, lo que permitirá en un futuro cercano determinar de manera aproximada la cantidad de agua que se encuentra acumulada en el glaciar.

Con esta finalidad se realizó en 2003 una restitución fotogramétrica de las fotografías más recientes, disponibles en ese momento, del volcán y que corresponden a un vuelo realizado por el IGM en el año 1997. Se trata de 18 fotografías en color (3589-3606) distribuidas en dos líneas que cubren la totalidad del volcán.

Para realizar esta restitución en primer lugar se midieron 14 puntos de control en el campo, usando un sistema de posicionamiento satelital en modo diferencial (DGPS) durante los meses de enero y abril del año 2003.

En una segunda fase las fotografías fueron tratadas utilizando el *software* LISA con sus módulos respectivos Base, Foto e Imatie (©Dr.rer.nat. Dr. Ing. Wilfried Linder, Universidad de Hannover, Alemania). Esta técnica permitió realizar la medición y ubicación, en las fotografías en formato digital, de los puntos de control obtenidos en el campo. Asimismo, esto permitió la medición de los respectivos puntos de paso entre las diferentes fotografías y fajas consideradas.

En una tercera fase se realizó la estéreo correlación utilizando el programa BLUH (©Dr. Ing. Karsten Jacobsen, Universidad de Hannover, Alemania) que permitió el ajuste del bloque formado con las fotografías tratadas previamente. Como resultado de este proceso se obtuvo la ortofotografía digital, que está perfectamente geo-referenciada y sobre la cual se pueden realizar mediciones tanto de las coordenadas geográficas como de sus respectivas alturas, así como de la longitud de desarrollo de las lenguas y de su área correspondiente.

Los resultados obtenidos se presentan en los cuadros 1 y 2 y la fotografía 1. Se puede observar que, tomando como punto de partida el trabajo realizado por Jordan en 1983 con fotografías del año 1976 y comparándolo con el trabajo realizado por Cáceres en 2003 (fotografías de 1997), se tiene en promedio, para las lenguas glaciares, una reducción del área de un valor del 31% y una pérdida de longitud del 18%. Si se toma en cuenta el estudio que al momento se realiza

sobre una lengua (15) del volcán Antisana se puede afirmar que la tendencia al retroceso de los glaciares de las montañas ubicadas en la Cordillera Oriental o Real es la misma, lo que permite inferir que en el caso del volcán Cotopaxi se tendría para el año 2003 un área de alrededor de 14 km², hipótesis que podría ser confirmada o rechazada si se contara con fotografías de un vuelo más reciente sobre el volcán Cotopaxi y se realizara el mismo tratamiento descrito anteriormente.