



## **FACTORES TOPO-CLIMÁTICOS QUE CONTROLAN LOS GLACIARES DE ESCOMBROS EN LOS ANDES CENTRALES, CUENCA DEL RÍO BLANCO, SAN JUAN, ARGENTINA.**

Ponce David<sup>a</sup>, Navas Romina<sup>b</sup>, Morvillo Mónica<sup>c</sup>, Villarroel Cristian<sup>d</sup>, Forte Ana<sup>e</sup>

<sup>a</sup> *Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), Centro de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), CONICET, Argentina, david\_ponce736@hotmail.com.*

<sup>b</sup> *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas Física y Naturales (FCEfyN), UNSJ, Argentina, navas.romina@gmail.com.*

<sup>c</sup> *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas Física y Naturales (FCEfyN), UNSJ, Argentina, mmorvillo@hotmail.com.*

<sup>d</sup> *Centro de Investigaciones de la Geosfera y Biosfera, Centro de Ciencia y Técnica (CCT) San Juan, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) y CONICET, Argentina, cristiandv2001@yahoo.com.ar.*

<sup>e</sup> *CIGEOBIO CCT San Juan, UNSJ y CONICET, Argentina, anapau.forte@gmail.com.*

**RESUMEN:** Dada la importancia que tienen los glaciares de escombros y las crioformas ricas en hielo como reserva hídricas especialmente durante estaciones secas, resulta propicio desarrollar planes y estrategias de estudio de estas geoformas. El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar los factores topográficos y climáticos que controlan los glaciares de escombros en la cuenca del río Blanco. En el análisis fueron consideradas variables propias del glaciar de escombros (intraglaciar) y otras pertenecientes a la zona de aporte (interglaciar). Las primeras estuvieron constituidas por el área, altura mínima (Hi), diferencia altitudinal (Dif) y pendiente (P). Mientras que las variables correspondientes a la zona de aporte estuvieron representadas por el área (AZA), radiación de zona de aporte (RZA) y altura del paredón rocoso (APR). Posteriormente se aplicaron técnicas de análisis multivariados de componentes principales. Entre los principales resultados de la aplicación se encuentra la identificación del área de zona de aporte, área del glaciar de escombros, altura del paredón rocoso y diferencia altitudinal como variables que aportan mayor información del fenómeno glaciar de escombros

**PALABRAS CLAVE:** Glaciar de escombros, variables topo-climáticas, análisis multivariado.

### 1 INTRODUCCIÓN

Una de las características distintivas de los Andes Centrales es la diversidad de crioformas que posee, ya que puede encontrarse distintos cuerpos de hielo, como así también crioformas del ambiente periglacial entre ellos los glaciares de escombros como los más notorios. La importancia de los glaciares de escombros en esta región radica en la alta densidad que presentan estas geoformas y su importancia como reserva hídrica (Brenning, 2005). Por otra parte la subcuenca del río Blanco, perteneciente a la cuenca del río San Juan, se caracteriza por presentar una gran superficie cubierta con glaciares de escombros. Esta no sólo tienen el máximo porcentaje de cobertura de glaciares de escombros a nivel regional sino también en toda la Cordillera de los Andes según datos proporcionados por el Inventario Nacional de Glaciares IANIGLA, 2016.

El análisis de las variables topo-climáticas ha sido objeto de estudio para comprender la presencia de estas geoformas (Janke et al., 2006; Magori et al., 2017). Regionalmente, Esper Angillieri (2010) ha realizado a través de un modelado estadístico y mapeo geomorfológico un análisis acerca de la distribución de los glaciares de escombros activos en relación a diversas variables

topo-climáticas en los Andes Desérticos de San Juan. Por su parte Forte et.al. (2016) aplican dos métodos estadísticos para determinar la influencia de las variables topo-climáticas en el sector norte de la cuenca del río Blanco en la Provincia de San Juan.

### 1.1 Zona de estudio

La zona de estudio corresponde a la cuenca del río Blanco la cual comprende un área de 4.871 Km<sup>2</sup>. La misma forma parte de la cuenca del río San Juan y se encuentra localizada en el extremo oeste del departamento de Calingasta, en la región de los Andes Centrales de la República Argentina, limitada al norte por la cuenca del río Castaño, al sur por la cuenca del río Los Patos, al este por la cuenca del río Calingasta y cuenca de la Cordillera Ansilta y al oeste por la República de Chile (Figura 1).

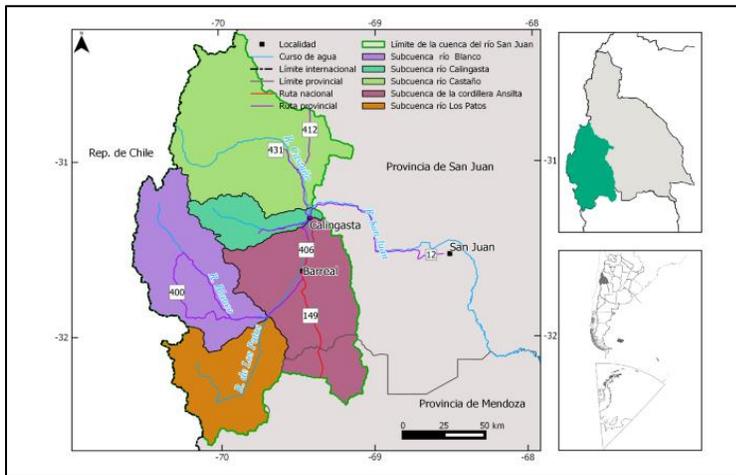


Figura 1: Mapa de ubicación de zona de estudio (modificada de ING-IANIGLA, 2016)

## 2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del siguiente trabajo es poder determinar la influencia de los factores topográficos y climáticos en la distribución espacial de los glaciares de escombros. Para ello se realizó un análisis descriptivo y multivariado del sistema de variables, con el objeto de descubrir patrones poblacionales, relaciones entre variables y factores condicionantes en la formación de los glaciares de escombros.

## 3 METODOS MULTIVARIADOS DE REDUCCION DE DIMENSIÓN

Estos métodos se emplean para detectar grupos de variables correlacionadas (análisis componentes principales-ACP-), como así también, datos atípicos (outliers) permitiendo reducir la dimensión de variables para el enfoque de un fenómeno, y desagregar, detectar o distinguir poblaciones mezcladas.

El análisis de componentes principales sirve para hallar las causas de la variabilidad del conjunto y ordenarlas por importancia. Determina un nuevo sistema de variables ortogonales jerárquicas -

obtenido por la rotación (U) o combinación del sistema original- con igual cantidad de información o variabilidad, ofreciendo una descripción y representación más clara y sintética. Para un resultado óptimo de esta técnica se recomienda aplicarlo con las variables en escalas simétricas, de manera que sus relaciones sean visibles en términos del coeficiente de correlación lineal, esto es, que las relaciones entre las variables figuren linealizadas.

#### 4 PROCESO DE ANÁLISIS Y APLICACIÓN

Se analizaron 7 variables entre las cuales se encontraban área, altura mínima (Hi), diferencia altitudinal (Dif) y pendiente (P) del glaciar de escombros. Además de altura del paredón rocoso (APR), área de la zona de aporte (AZA) y radiación de la zona de aporte (RZA) para 1348 glaciares de escombros (Tabla 1 y 2).

RESUMEN DE VARIABLES

	Longitud	Latitud	Área	Hi	Dif.
<b>Min.</b>	-70.57	-32.07	0.01	3141	0.02
<b>1st Qu.</b>	-70.35	31.79	0.02	3792	37.75
<b>Median</b>	-70.24	-31.63	0.04	3935	80.00
<b>Mean</b>	70.23	-31.57	0.08	3957	119.56
<b>3rd Qu.</b>	-70.16	-31.35	0.09	4094	151.00
<b>Max.</b>	-69.83	-31.04	2.31	4937	1599.00

Tabla 1

	APR	AZA	RZA	P
<b>Min.</b>	14.0	0.01	1038	6.748
<b>1st Qu.</b>	96.0	0.03	1851	15.581
<b>Median</b>	164.0	0.06	2194	19.057
<b>Mean</b>	207.0	0.14	2303	19.923
<b>3rd Qu.</b>	269.2	0.14	2755	23.730
<b>Max.</b>	1483.0	2.52	3393	47.997

Tabla 2

En primer lugar se analizaron las formas de distribución y relaciones entre pares de variables para el subconjunto de variables cuantitativas: área, altura mínima, diferencia altitudinal, pendiente, altura del paredón rocoso, área de la zona de aporte y radiación de la zona de aporte. Se realizó la matriz gráfica que contiene los histogramas de cada variable en la diagonal y los diagramas de dispersión de cada par de variables en las posiciones de intersecciones (Figura 2).

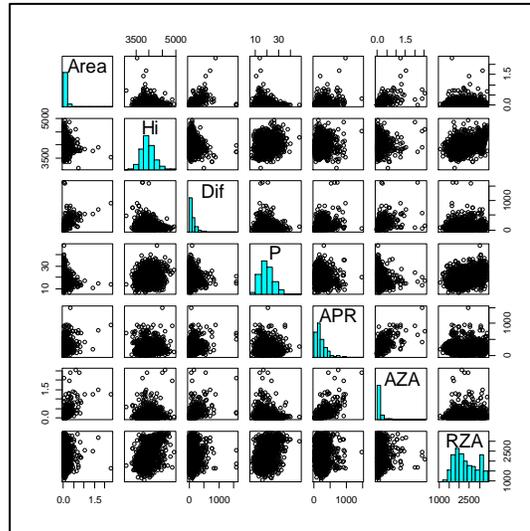


Figura 2: Matriz gráfica con histogramas y diagramas de dispersión.

Posteriormente debido a que las distribuciones asimétricas observadas no son óptimas para el análisis de componentes principales que requiere supuestos de linealidad asociados con la simetría por ello que de ahí se realizaron transformaciones con la función logaritmo para buscar la simetría y linealidad apropiada para tal aplicación. A continuación se representa la nueva matriz gráfica de histogramas y diagramas de dispersión con las variables transformadas (Figura 3) desde los cuales se observan relaciones lineales claras cuyos coeficientes de correlación se presentan en la siguiente tabla (Tabla 3).

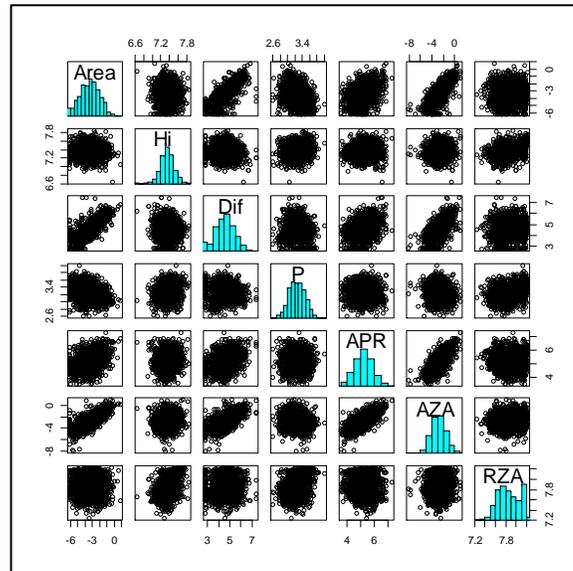


Figura 3: Muestra el grafico “pairs” obtenido luego de haber transformado cada una de las variables, mostrando una mayor simetría.

	Área	Hi	Dif	P	APR	AZA	RZA
Área	1.000	0.002	0.783	-0.316	0.408	0.747	-0.006
Hi	0.002	1.000	-0.052	0.192	0.113	0.096	0.389
Dif	0.783	-0.052	1.000	-0.092	0.386	0.651	0.065
P	-0.316	0.192	-0.092	1.000	-0.067	-0.186	0.392
APR	0.408	0.113	0.386	-0.067	1.000	0.725	-0.030
AZA	0.747	0.065	0.122	0.005	0.382	1.000	0.068
RZA	-0.006	0.389	0.065	0.392	-0.030	0.070	1.000

Tabla 3: Coeficientes de correlación lineal de los pares de variables transformadas.

Por último se llevó a cabo la aplicación de la técnica de componentes principales al sistema de variables transformadas (linealizadas) (Figura 4).

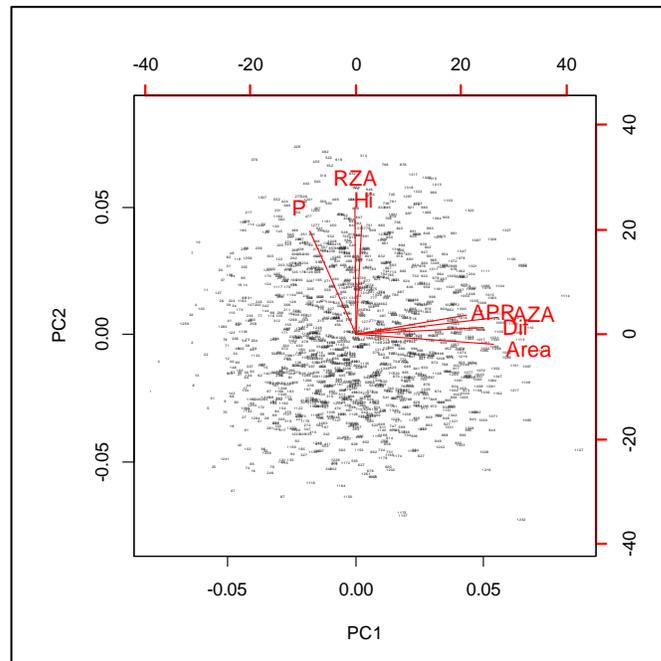


Figura 4: Grafico biplot de componentes principales. Los vectores rojos representan a las variables originales y los círculos a las unidades (glaciares de escombros).

## 5 RESULTADOS

El resultado de componentes principales permite resumir el sistema de variables cuantitativas en dos subsistemas que acumulan más del 50% de la variabilidad total.

En el caso de los glaciares de escombros de la cuenca del río Blanco los atributos que explica el 33,7% de la distribución son los que se agrupan en la componente principal número uno y corresponde a las siguientes variables: área de la zona de aporte, área del glaciar de escombros, diferencia altitudinal y altura del paredón rocoso. Además se pudo observar como las variables área de la zona de porte y área del glaciar de escombros se encontraban fuertemente relaciona-

das, coincidiendo con lo propuesto por Frauenfelder et al. (2003) el cual trabajando en los Alpes Suizos obtuvo una fuerte relación entre el tamaño del glaciar de escombros y la extensión del área de aporte afirmando que el suministro de escombros contribuye al tamaño del glaciar.

La segunda componente principal explica el 21,5% de la distribución y está constituida por las siguientes variables: radiación de la zona de aporte, altura mínima y pendiente de los glaciares de escombros. A su vez estos atributos se encuentran relacionados entre sí. Estos resultados coinciden con lo propuesto por Morris (1981), el cual utilizando un análisis de regresión múltiple determinó que la radiación y la altitud explicaban la variación de tamaño para los glaciares de escombros en el Colorado.

## 6 CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la distribución de los glaciares de escombros pueden ser explicado a través de dos componente principales.

La primera componente constituida por las variables, área de la zona de aporte, área del glaciar de escombros, diferencia altitudinal y altura del paredón rocoso explica el 33,7% de la distribución de los datos. Cabe aclarar que esta componente es la que presenta mayor variabilidad por lo tanto es la que mayor información brinda de la distribución de los glaciares de escombros.

La componente dos agrupaba las variables radiación de la zona de aporte, altura mínima y pendiente de los glaciares de escombros explicando el 21,5% de la distribución de los datos.

## 7 AGRADECIMIENTOS

Las investigaciones abordadas han sido financiadas por el proyecto CICITCA 18/19 Código 21/E1115 de la UNSJ.

## 8 REFERENCIAS

- Brenning, A.: Climatic and geomorphological controls of rock glaciers in the Andes of Central Chile: Combining statistical modelling and field mapping, Ph.D. thesis, Humboldt Universität Berlin, Alemania, tesis doctoral, 137 pp. 2005.
- Angillieri, M. Y. E. (2010). Application of frequency ratio and logistic regression to active rock glacier occurrence in the Andes of San Juan, Argentina. *Geomorphology*, 114(3), 396-405.
- Forte, A. P., Villarroel, C. D., & Angillieri, M. Y. E. Impact of natural parameters on rock glacier development and conservation in subtropical mountain ranges. Northern sector of the Argentine Central Andes.
- Inventario Nacional de Glaciares, 2016. Elaborado por IANIGLA (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales) ([www.glaciaresargentinos.gov.ar](http://www.glaciaresargentinos.gov.ar)).
- Jason, J: The relationship between rock glacier an contributing área parameters in the Front Range of Colorado. *Journal of quaternary science* 153-163, 2008.
- Magori, B., Onaca, A., & Urdea, P. (2017, June). The influence of contributing area parameters on the size of rock glaciers in the Southern Carpathian Mountains. In *Forum Geografic* (Vol. 16, No. 1, p. 5). University of Craiova, Department of Geography.