

ESPACIO Y DESARROLLO, N.º 17, 2005

HIDROLOGÍA Y VARIACIÓN TOPOGRÁFICA DE UN RIACHUELO  
SUBANTÁRTICO EN LA ENSENADA MACKELLAR, ISLA REY JORGE,  
ANTÁRTIDA

*Carlos Tavares Corrêa*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias Ambientales. Profesor de Geografía. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Correo electrónico: <ctavare@pucp.edu.pe>.

## RESUMEN

Este estudio tiene como fin la presentación de los resultados preliminares del monitoreo hidrológico y topográfico de un riachuelo de la isla Rey Jorge. Para llevar a cabo el proyecto, se utilizaron dos sistemas de medición de caudales (puntual y continuo) y una estación total para el levantamiento topográfico. Se identificaron grandes fluctuaciones en el régimen de caudales ( $0-1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) entre el 21 de enero y 13 de febrero del 2000, en las siete secciones de muestreo y una variación volumétrica de 9 mil  $\text{m}^3$  en la topografía del riachuelo en el 2000 con respecto a 1999, la cual, posiblemente, se deba a la construcción y profundización de un nuevo cauce en respuesta a los máximos caudales ocurridos a comienzo del verano austral.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to present preliminary results of the hydrologic and topographic monitoring of a small stream at the King George Island, Antarctica. Two methods were used in order to measure stream discharge: an area-velocity method using a flow meter and a Parshall flume. Also a topographical survey was made using a total-station theodolite. Great stream discharge fluctuations were identified at the seven stream sections between January 21st and February 13th, 2000. Comparison between 1999 and 2000 topographic survey showed a volumetric decreasing of about  $9.450 \text{ m}^3$  in one year. This topographic variation could be explained by the erosive capacity of the maximum discharges occurred during the beginning of the austral summer, when a new channel was built.

## INTRODUCCIÓN

La medición de caudales constituye un procedimiento básico para la comprensión de la dinámica y variabilidad de la escorrentía de cursos de agua. En zonas de clima polar, donde la temperatura media del mes más caluroso es inferior a 10° C (Köppen y Geiger 1954), la escorrentía superficial se restringe a los meses de verano y se alimenta principalmente de las aguas de fusión de nieve y glaciares. Los estudios sobre el comportamiento hidrológico en la Antártica han sido realizados mayormente en los Valles Secos de McMurdo, Tierra de Victoria del Sur, entre las latitudes de 77° y 78° S (McKnight y otros 1994; Lewis y otros 1996; McKnight y Tate 1997; Runkel 1998; Conovitz y otros 1998; Moorhead y otros 1998). Es importante mencionar que esta se caracteriza como una región extremadamente fría y seca (Vincent 1988).

Este comportamiento hidrológico puede estar condicionado tanto por factores climáticos como topográficos. Moorhead y McKnight (1998) han aplicado regresión múltiple lineal entre caudales diarios de varios riachuelos, radiación, temperatura y se obtuvieron correlaciones poco significativas. Según Conovitz (1998), el régimen de caudales en esta región parece estar fuertemente influenciado tanto por la geometría de la cuenca, cuanto por la orientación (exposición) de los glaciares. Ambos resultados demuestran la complejidad de los procesos naturales involucrados y la necesidad de medir tales fenómenos con mayor precisión con el fin de obtener predicciones más reales del régimen de caudales.

Los estudios hidrológicos en la en la región subantártica son escasos. Durante la expedición peruana ANTAR X, se realizaron estudios preliminares sobre las características hidrológicas de un riachuelo con el fin de evaluar el potencial energético de este recurso hídrico (Jiménez 1999). En la ejecución del mencionado proyecto, se midió el caudal de algunas secciones transversales del río y se obtuvieron valores de hasta 300 l/s en la desembocadura durante un período de crecidas. Si bien la baja frecuencia de las mediciones no permite identificar la gran variabilidad de los caudales en cortos espacios de tiempo (McKnight y otros 1994), tales resultados posibilitaron la formulación de hipótesis para trabajos futuros. Para identificar estas variaciones horarias en los caudales, se requiere de un sistema de medición continua, lo que permitirá establecer modelos hidrológicos más precisos para las cuencas glaciares subantárticas.

El estudio del comportamiento hídrico en esta región es de gran importancia. Dada la escasa disponibilidad del recurso, se hace necesaria la evaluación del potencial hídrico de estas cuencas glaciares y la calidad del agua con miras a su aprovechamiento de manera sostenible que, desde un punto de vista científico, aportará elementos tanto para la comprensión de los procesos hidrológicos en bajas latitudes polares como para el monitoreo de los cambios climáticos y sus efectos sobre la Antártica y los ecosistemas asociados.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza al sur de la estación peruana Machu Picchu, ensenada McKellar, isla Rey Jorge (figura n.º 1). Comprende una llanura fluvio-glacial entre el flanco norte del glaciar Lange y una morrena de 24 metros de altura. Este riachuelo está formado por aguas de fusión que escurren sobre el glaciar hacia un sumidero de 1 m de diámetro, al interior del glaciar. Aproximadamente a 100 metros al NE, el curso de agua sale a la superficie por una gruta de 2 metros de diámetro en la base del glaciar. A partir de la gruta, el riachuelo recorre una extensión de 200 metros sobre depósitos sedimentarios de origen fluvio-glacial y descarga sus aguas en una pequeña laguna antes de alcanzar el mar. Durante la X Expedición Peruana se midieron caudales de hasta 300 l/s en la desembocadura (Jiménez 1999). En esta zona, las temperaturas medias anuales son  $-2,1$  °C. Durante el período de verano (diciembre a marzo), las temperaturas varían entre  $10$ ° C y  $-4,0$ ° C (García-Blásquez 1997; Vélez 1989) con una media diaria de  $3,2$ ° C (Campos y otros 1996).

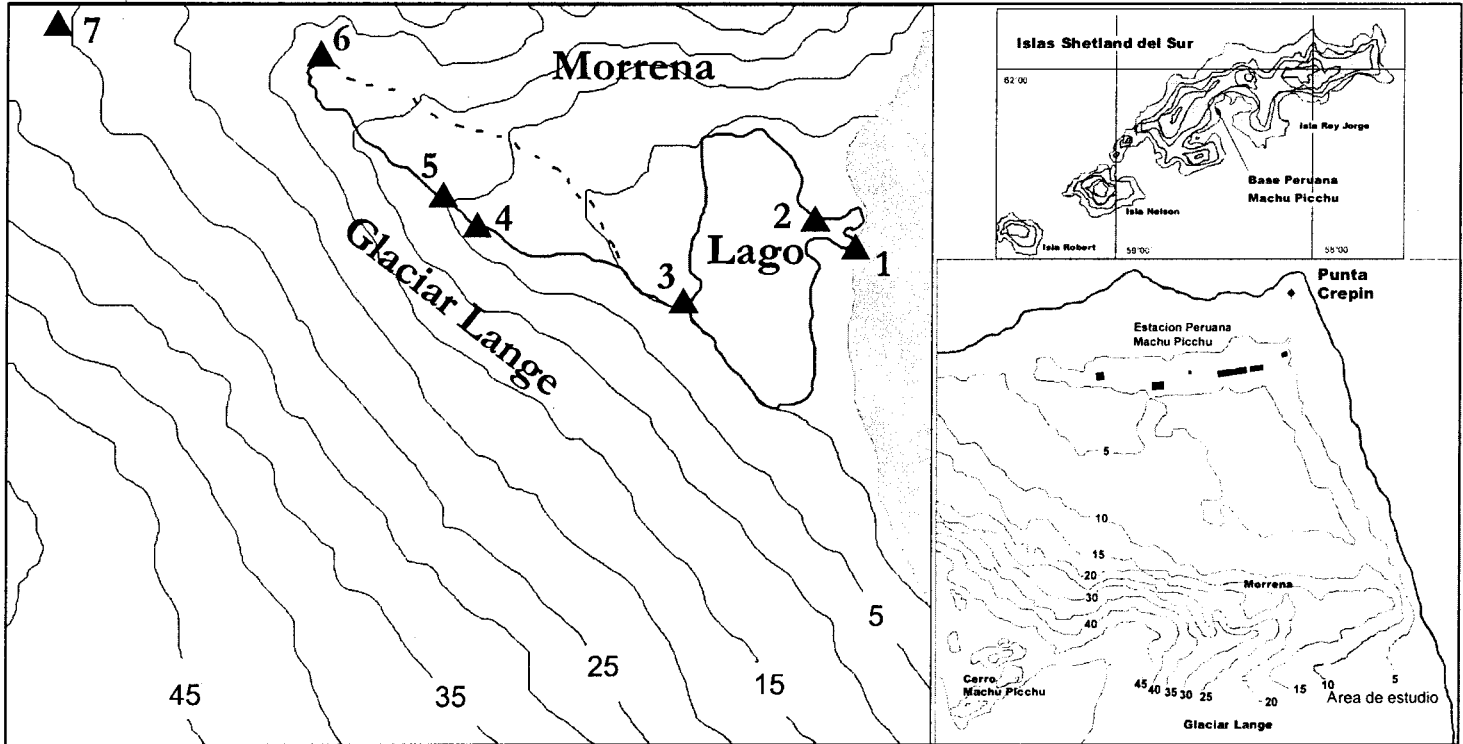
## METODOLOGÍA

### Monitoreo de la velocidad del flujo y caudal

Se realizó el monitoreo diario de la velocidad de la corriente de este riachuelo con miras a la determinación de la variación del caudal. Para este fin, se establecieron cuatro secciones de muestreo (entrada y salida de la laguna y gruta) entre los días 27 de enero y 3 de febrero del 2000. A partir del día 7 de febrero, la sección de la entrada de la laguna fue abandonada por dificultades en las mediciones y las nuevas secciones fueron incorporadas. Al final, se contaba con las siguientes secciones: desembocadura, salida de la laguna, aforador Parshall, grieta próxima al Parshall, entrada y salida de la gruta (figura n.º 1). Para la estimación del caudal se determinó el área de la sección y la velocidad de la corriente a cada medición. Con este fin, se utilizó un medidor de flujo marca Global Water.

### Aforador Parshall

El aforador tipo Parshall es un sistema tipo canal diseñado para la determinación precisa de caudales en canales abiertos, tales como acequias o acueductos. Consiste de un canal que presenta un cuello de nueve pulgadas en el centro y un salto con pendiente de 25%. Una relación entre la altura del agua en la entrada y salida de este cuello permite determinar con gran precisión el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo. Para mayor precisión en la determinación del caudal, se ha utilizado un caudalímetro marca Sigma 950. El principio consiste en la determinación del nivel del agua a partir de un sistema de ultrasonido, por medio del cual



el equipo puede establecer automáticamente el caudal en intervalos de tiempo de hasta un minuto.

El aforador tipo Parshall fue construido de aluminio de modo que se pudiera armar y desarmar, y se facilite su traslado desde el buque hacia la estación y de la estación al área de trabajo. A pesar de tal ventaja, este modelo de Parshall presentó muchos inconvenientes durante su instalación, ya que se requirió de por lo menos cinco días para ponerlo en operación. Entre las dificultades presentadas se encuentran: la gran cantidad de tornillos y tuercas que devinieron en problemas de impermeabilización, el peso total del equipo, las condiciones ambientales adversas (la superficie pedregosa y el fuerte caudal), la gran variabilidad en el cauce, entre otros. Su instalación fue posible mediante el apoyo incondicional, tanto logístico como científico, del personal de la estación Machu Picchu.

Dado el gran dinamismo de este ambiente, el aforador dejó de funcionar adecuadamente durante una parte del período de muestreo (entre los días 1 y 10 de febrero). La crecida del río, con caudales de hasta 550 l/s en la desembocadura, forzó el desvío del cauce hacia el glaciar, lo cual provocó el abandono del cauce que conducía al Parshall. Con la disminución del caudal a partir del día 10 de febrero se pudo ampliar el dique y construir un nuevo cauce para alimentar al aforador. Entre los días 10 y 12 de febrero se obtuvieron buenos datos, lo cual permitió evaluar la eficiencia de este sistema.

## **Topografía**

Para el levantamiento topográfico se utilizó una estación total marca Pentax PCS-315. En el verano de 1999 se realizó una topografía de detalle del ambiente fluvio-glaciar; y en el verano del 2000 se pudo actualizar la topografía del ambiente fluvio-glaciar y extenderla hacia el glaciar Lange y alrededores de la estación Machu Picchu. Lamentablemente, no se pudo tomar puntos de las cumbres de los cerros cercanos a la estación debido a condiciones climáticas adversas.

## **Datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos utilizados en este estudio fueron levantados por la estación meteorológica de la base Machu Picchu. Según los estudios microclimáticos realizados por Kamil Laska en los alrededores de la estación peruana, los datos meteorológicos tomados al nivel del mar caracterizan satisfactoriamente las condiciones climáticas del área de estudio.

## RESULTADOS

### Monitoreo de la velocidad del flujo y caudal

La tabla n.º 1 presenta los caudales medidos durante el período de muestreo. Se puede notar una gran variabilidad en el régimen de caudales en las diferentes secciones de este riachuelo. Por ejemplo, en la figura n.º 2, se muestran los caudales de las secciones de salida de la gruta y lago y la temperatura durante el período de mediciones. Aparentemente, los valores de los caudales fluctúan de acuerdo con la temperatura. Los menores caudales fueron medidos en las mañanas de los días más fríos, mientras que los mayores fueron determinados en las mediciones realizadas en las tardes de los días más calurosos. Sin embargo, se encontraron muy bajas correlaciones entre los caudales y las temperaturas medias durante el período de muestreo. La única excepción se dio en la salida de la gruta, cuyo  $r^2$  fue de 0,739 (figura n.º 3).

### Aforador Parshall

El gráfico de la figura n.º 4 presenta el comportamiento de la temperatura y del caudal medido por el aforador tipo Parshall entre los días 10 y 12 de febrero del 2000. En ambos casos se utilizó el promedio a intervalos de 10 minutos. La tabla n.º 2 muestra los parámetros estadísticos con el fin de describir las características de ambos datos. Nótese la gran variabilidad tanto de la temperatura como del caudal en un lapso de 48 h. Como se puede observar en la figura n.º 4, aparentemente, no se existe una nítida relación entre estos dos parámetros. Esta interpretación visual es corroborada por la correlación de Pierson cuyo valor  $K$  es igual a  $-0,39$ , lo que indica una débil correlación inversa entre ambos parámetros, al igual que el coeficiente de regresión  $r^2$  de  $0,15$ , que resultó ser muy bajo como en las mediciones puntuales de caudales.

### Topografía

A partir del levantamiento topográfico del riachuelo durante los veranos de 1999 y 2000, se realizó un modelo digital del terreno que permitió identificar algunas variaciones topográficas significativas, principalmente, en el tramo superior a partir de la salida de la gruta. Durante el verano de 1999, en este tramo inicial, aproximadamente 50 metros después de la gruta, la pendiente del lecho era inferior a  $2^\circ$  y el cauce era relativamente ancho (2 m) y poco profundo (0,08 a 0,18 m). En el tramo medio, a lo largo de 80 m, el río se encajonaba escarbando su lecho en los sedimentos de la morrena. Las pendientes eran superiores a los  $6^\circ$ , el cauce era más profundizo con lecho rocoso y la velocidad del flujo era alta (1,2 m/s). El tramo inferior, dominado por el abanico, se caracterizaba por pendientes suaves, inferiores a los  $2^\circ$ . Se observó

Tabla n.º 1. Fecha y hora de medición, temperatura media ambiental y los caudales correspondientes a las estaciones de muestreo en el riachuelo, isla Rey Jorge, Antártida, durante el verano del 2000

FECHA	HORA	CAUDALES (m <sup>3</sup> /s)							Temp. °C
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
25/1/00	11:00		1,0548	0,7484			0,5120	0,0730	3,9
25/1/00	17:00		0,7118	0,2127			0,7659	0,0370	2,8
27/1/00	21:00		0,3942	0,3329			0,2706	0,1090	4,7
28/1/00	21:00		0,4047	0,0516			0,1726	0,0250	5,4
31/1/00	19:00		0,0000	0,0000			0,0206		2,4
2/2/00	21:00		0,2185	0,2416			0,3302	0,0350	4,2
3/2/00	7:00		0,2779	0,1172			0,3568	0,0270	2,9
7/2/00	21:00		0,3465				0,0909		3,3
8/2/00	21:00		0,5129				0,2330		4,2
9/2/00	11:00	0,4523	0,4935				0,2235		2,7
9/2/00	16:00	0,4770	0,5421		0,0155	0,0540	0,2857	0,0881	4,0
9/2/00	21:00	0,1947	0,5535		0,0740	0,0002	0,3123	0,0359	6,6
10/2/00	10:00	0,0906	0,2231		0,0016	0,0499	0,0293	0,0117	1,3
10/2/00	16:00	0,1382	0,3895		0,0077	0,0635	0,0695	0,0145	2,1
10/2/00	21:00	0,0000	0,1467		0,0010	0,0500	0,0377	0,0000	1,8
11/2/00	10:00	0,0214	0,0000		0,0000	0,01368	0,0220	0,0000	-0,9
11/2/00	16:00	0,0127	0,0160		0,0000	0,0195	0,0145	0,0000	0,0

- (1) Desembocadura-salida hacia el mar
- (2) Salida de la laguna-inicio del canal de la desembocadura con el mar
- (3) Entrada de la laguna
- (4) Grieta-afluente del cauce principal a partir de una grieta en el glaciar
- (5) Aforador tipo Parshall
- (6) Salida de la gruta-inicio del cauce principal
- (7) Entrada de la gruta sobre el glaciar



Figura n.º 2. Caudales de las secciones de salida de la gruta y el lago y la temperatura entre los días 21 de enero y 13 de febrero de 2000

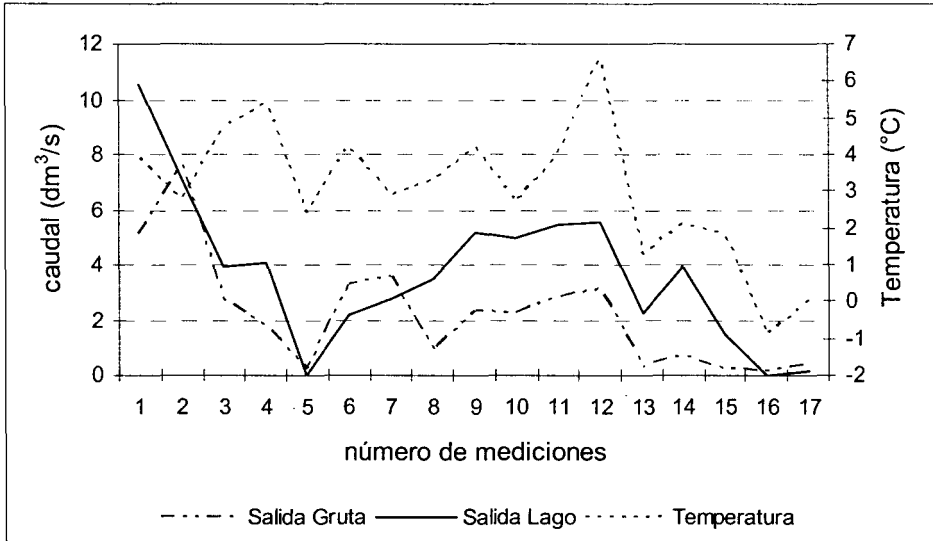
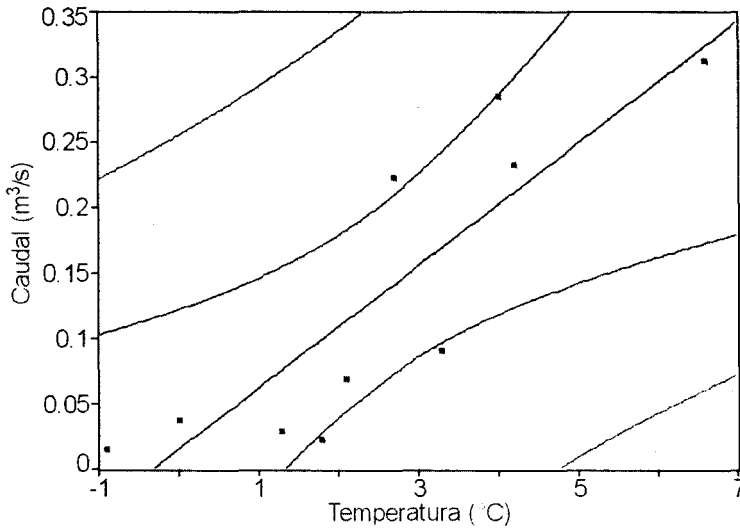


Figura n.º 3. Curva de ajuste lineal ( $r^2=0,74$ ) entre caudales y temperatura en la sección salida de gruta entre los días 21 de enero y 13 de febrero de 2000



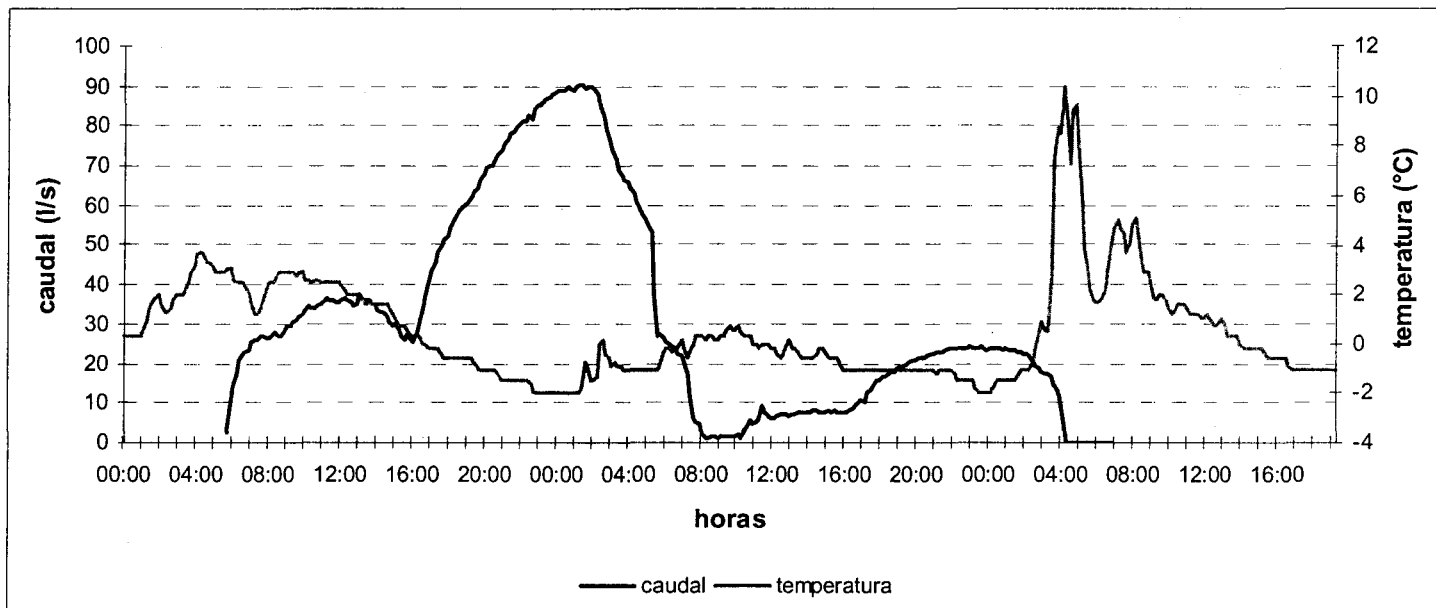


Figura n.º 4. Comportamiento de la temperatura y de caudales medido por el aforador tipo Parshall entre los días 10 y 12 de febrero de 2000

**Tabla n.º 2. Parámetros estadísticos descriptivos de los datos de temperatura y caudal medidos a cada 10 minutos, respectivamente, por la estación Machu Picchu y el aforador Parshall entre los días 10 y 12 de febrero de 2000**

PARÁMETROS	TEMPERATURA (°C)	CAUDAL (l/s)
Mínima	-2,0	0
Promedio	0,5	31,99
Máxima	10,3	90,454
Asimetría	1,67	0,88
Desviación estándar	2,02	26,62
Coefficiente de correlación K	-0,39	
R <sup>2</sup>	0,15	

por encima de él una serie de lechos abandonados con patrón anastomosado. El cauce del río describía un meandro que bordeaba la morrena y se desviaba hacia el borde glaciar en su margen derecho y desembocaba en un cuerpo lagunar formado detrás del cordón litoral. Finalmente, la laguna estaba conectada con el mar por un canal de 1,8 metros de ancho y profundidades de 0,28 metros que cortaba el cordón litoral.

Durante el verano del 2000, el riachuelo abandonó el cauce existente en el año anterior y construyó un nuevo lecho casi en contacto directo con el borde glaciar. Además, ha profundizado el canal aproximadamente en 1 m y disminuido la pendiente general de estas dos unidades. En el tramo inferior, el río ha escarbado su lecho parcialmente por debajo del glaciar. Esto ha provocado el derrumbe del mismo y su consecuente retroceso en algunos sectores.

En las figuras n.º 5 y 6, se presenta la topografía del tramo superior y medio del riachuelo para 1999 y 2000. De la comparación entre ambas figuras, se puede notar una variación topográfica que resulta de la formación del nuevo lecho. A partir de un análisis volumétrico, se identificó una disminución del orden de 9.450 m<sup>3</sup> en el 2000 con respecto a 1999 sobre el mismo sector. Se estima que la remoción de este material fue causada durante la construcción del nuevo cauce. En efecto, este proceso de remoción pudo haberse dado durante las primeras semanas del verano de 2000, cuando se observaron flujos más torrenciales.

Figura n.º 5. Modelo digital de terreno del tramo superior del riachuelo durante el verano de 1999

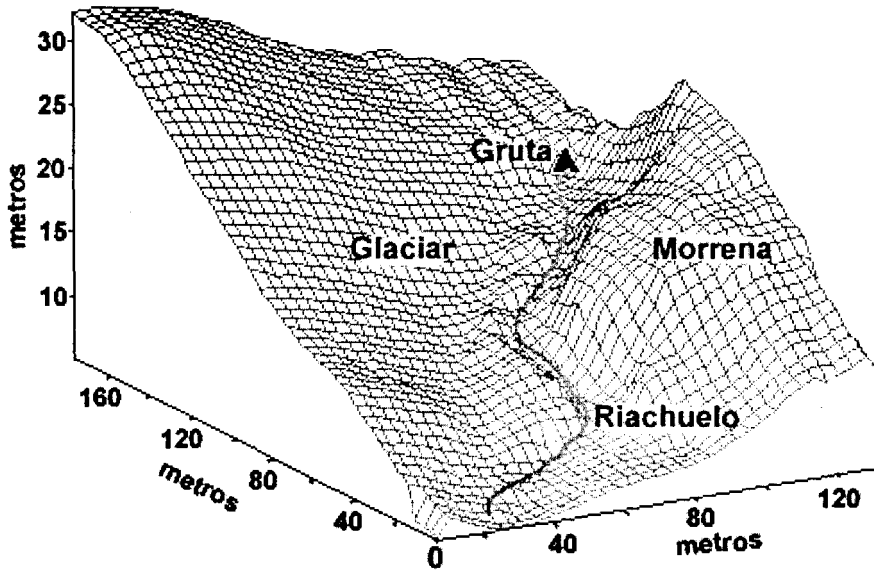
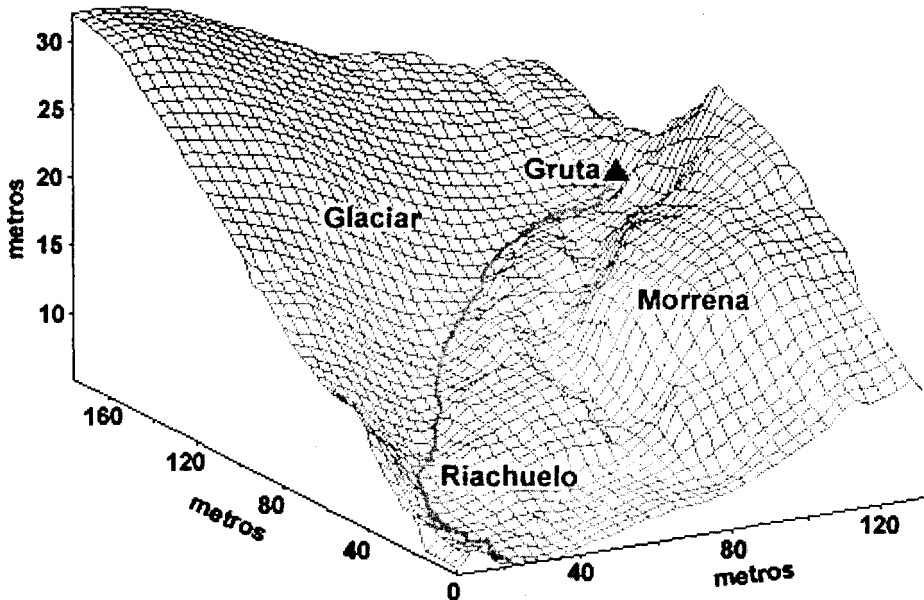


Figura n.º 6. Modelo digital de terreno del tramo superior del riachuelo durante el verano de 2000



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque se identifican bajas correlaciones entre caudal y temperatura media se requiere de un número mayor de mediciones con el fin de obtener datos más concluyentes. En este sentido, es fundamental el monitoreo del comportamiento hidrológico del riachuelo durante todo el período en que se encuentra activo. Con este propósito, un sistema de aforo como el Parshall parece ser muy adecuado. En efecto, su precisión en la medición de los caudales muy débiles durante el período de primavera u otoño constituye una de sus ventajas. Otros sistemas, como el medidor de flujos, no son capaces de medir con exactitud pequeños volúmenes de agua. Sin embargo, la gran desventaja del aforador Parshall es la dificultad que se presenta durante su instalación. La gran variabilidad del cauce durante el período más torrencial en verano puede significar un completo abandono del cauce que lo alimenta. Al respecto, un mantenimiento periódico del aforador permitiría evitar este tipo de problema con el objetivo de obtener datos continuos de caudales con gran fiabilidad. Por último, la comprensión de la dinámica topográfica supone conocer el régimen de caudales durante todo el período de escorrentía en el riachuelo. Esto permitirá identificar los períodos más críticos para los cambios topográficos levantados a cada año.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Comisión Nacional de Asuntos Antárticos y la Dirección Académica de Investigación de la PUCP. Además, se agradece al Instituto de Estudios Ambientales de la PUCP, al personal logístico y científico de la Expedición ANTAR XI, en particular a Kamil Laska, Gerardo Medina y Francisco de Zela.

## BIBLIOGRAFÍA

- CAMPOS, C., E. RODRÍGUEZ, L. ESCATE y F. DELGADO  
1996 «Estudios meteorológicos en la Antártida: sinóptica y climatología». *Informe científico de la séptima expedición peruana a la Antártida*. Lima: Consejo Nacional de Asuntos Antárticos.
- CONOVITZ, P. A., D. M. MCKNIGHT, L. H. MACDONALD, A. G. FOUNTAIN y H. R. HOUSE  
1998 «Hydrologic Processes Influencing Streamflow Variation in Fryxell Basin, Antarctica». En J. C. Prisco (ed.). *Ecosystem Dynamics in a Polar Desert: The McMurdo Dry Valleys, Antarctica*. American Geophysical Union, 72, pp. 93-108. Washington D. C.

GARCÍA-BLÁSQUEZ, M. y G. TAPIA

1997 «Estudios meteorológicos en la Antártida: sinóptica y climatología». *Informe sobre las actividades científicas de la octava expedición peruana a la Antártida*. Lima: Consejo Nacional de Asuntos Antárticos.

JIMÉNEZ, F., C. H. TAVARES CORRÊA, G. SWAINE, L. CHIRINOS y G. MEDINA

1999 «Uso de la energía renovable en la Antártida». *XIII Reunión del Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y ramas afines*. Lima (disco compacto).

KÖPPEN, W. y R. GEIGER

1954 *Klima der Erde (mapa)*, Justus Perthes. Darmstadt, Germany.

LEWIS, K., A. FOUNTAIN y P. LANGEVIN

1996 «McMurdo Dry Valleys LTER: The role of terminus cliff melt in streamflow, Taylor Valley, Antarctica». *Antarctic Journal of the United States*, vol. 2, n.º 31, pp. 189-190. Arlington, Virginia.

McKNIGHT, D., H. HOUSE y P. VON GUERARD

1994 «McMurdo LTER: Streamflow measurements in Taylor Valley». *Antarctic Journal*, vol. 29, n.º 5, pp. 230 - 232. Arlington, Virginia.

McKNIGHT, D. y C. TATE

1997 «Canada Stream: a glacial meltwater stream in Taylor Valley, South Victoria Land». *Antarctic Journal of the North American Benthological Society*, vol. 1, n.º 16, pp.14-17. Glenview, Illinois.

MOORHEAD, D. y D. McKNIGHT

1998 «McMurdo Dry Valleys LTER: Stream Discharge as a Function of Ambient Temperature and Incoming Shortwave Radiation in Taylor Valley, Antarctica». *Antarctic Journal of the United States - 1996 Review Issue*, vol. 31, n.º 2, pp. 196-197. Arlington, Virginia.

RUNKEL, R. L., D. McKNIGHT y E. ANDREWS

1998 «Analysis of Transient Storage Subject to Unsteady Flow: Diel Flow Variation in an Antarctic Stream». *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 17, n.º 2, pp.143-154. Glenview, Illinois.

VÉLEZ, S.

1989 «Observaciones de climatología y meteorología sinóptica: enero-febrero 1989 (ANTAR II)». *Informe científico de la segunda expedición peruana a la Antártida*. Lima: Consejo Nacional de Asuntos Antárticos.