
HIDROLOGÍA Y GEOMETRÍA HIDRÁULICA EN LITOLOGIA VOLCÁNICA Y CLIMA ANTÁRTICO

Estudio Cuantitativo Morfológico en la Isla Decepción, Islas Shetland del Sur

Inbar¹, Moshe

¹Departamento de Geografía. Universidad de Haifa. Haifa 31905. Israel.

ABSTRACT

Runoff and sediment transport processes were studied during the 1991 summer season in two small pyroclastic drainage basins in Deception Island, South Shetland Islands. Runoff was almost continuous for about 40 days, showing a strong association between stream flow and temperature. The computed hydraulic geometry values indicate a rapid increase of depth and velocity, in order to maintain flow competence to transport larger bed load particles at increasing discharge values; width is relatively conservative.

Key Words: Fluvial morphology, hydrology, hydraulic geometry, volcanic erosion, Deception Island, Antarctica.

INTRODUCCIÓN

La morfología de un sistema fluvial es la expresión del equilibrio entre la energía del río y la resistencia del material que compone el cauce. La geometría resultante es controlada por las variables independientes del caudal y los sedimentos, es decir, el clima y la geología de la cuenca.

El concepto de la geometría hidráulica, introducido hace más de 40 años por Leopold y Maddock (1953), fija las relaciones entre la anchura (w), la profundidad (d), pendiente (s) y velocidad (v) con la descarga o caudal de agua (Q). La base de las relaciones de la geometría hidráulica es la ecuación de la continuidad:

$$Q = w \cdot d \cdot v$$

Con el incremento del caudal, aumentan los valores anchura, profundidad y velocidad en forma exponencial y de tal manera que se obtiene que:

$$w = aQ^b, \quad d = cQ^f, \quad v = kQ^m$$

a , c , k , b , f y m son coeficientes numéricos. Los exponentes b , f y m varían entre 0 y 1 e indican la tendencia del valor respectivo de la geometría hidráulica del cauce. Como el caudal Q es igual al producto de la velocidad por la anchura y profundidad, el producto de las tres ecuaciones es igual a Q y por lo tanto: $b + f + m = 1$. Las relaciones de geometría hidráulica fueron determinadas para distintas regiones climáticas y pueden contribuir a la solución de problemas prácticos en distintos terrenos.

Recientes estudios hidrológicos en regiones antárticas no cubiertas por glaciares permanentes analizan los distintos factores que afectan el régimen hidrológico del caudal

(Antigüedad, *et al.*, 1989; McConchie, 1990). No tenemos noticias de que se hayan realizado otros estudios de morfología fluvial y procesos erosivos en la zona antártica.

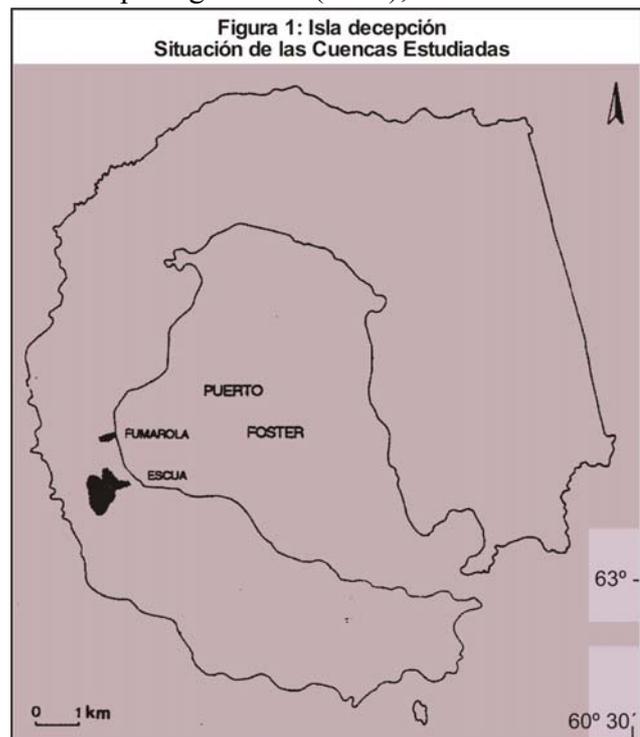
Las finalidades de este estudio son:

- 1) Determinar las características de la geometría hidráulica en cuencas de drenaje de morfología volcánica en la Isla Decepción.
- 2) Analizar los factores que afectan el régimen de caudal.
- 3) Evaluar el transporte de sedimentos fluviales y ritmos de erosión en pequeñas cuencas.

ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La Isla Decepción proporciona un marco adecuado para el estudio de las relaciones entre los factores climáticos antárticos y la litología volcánica en el desarrollo de la morfología fluvial. La geomorfología de la isla ha sido descrita y estudiada por Igarzábal (1974); así mismo existen levantamientos cartográficos detallados y numerosos estudios geológicos (Baraldo, 1989; Smellie, 1989; etc.).

Dos cuencas de estudio fueron elegidas en la costa occidental de la bahía de Puerto Foster, a 1 Km. de distancia de la Base Argentina: Arroyo Escúa (A = 65.6 ha) y Arroyo Fumarola (A = 12.3 ha) (Figura 1 y 2). La litología en ambas cuencas es de material volcánico de erupciones modernas. La pendiente media del Arroyo Escúa es de 11.2 % y del Arroyo Fumarola 20 %. En ambos cauces se ubicaron estaciones de aforo a varias decenas de metros de la desembocadura; los aforos se realizaron manualmente en forma diaria por intermedio de equipo de medición de corriente de agua (OTT2). Durante un período de 24 horas se realizaron aforos con intervalo de 1 hora. En total se realizaron 81 aforos, con medida de caudal entre 5 y 100 l/seg.



Los datos meteorológicos obtenidos del equipo instalado en la casilla meteorológica de la Base Argentina fueron: precipitación diaria y medición de temperatura, presión y humedad relativa cada 6 horas. El período de observación fue desde el 25 – 01 – 1991 al 08 – 03 – 1991 y abarca casi todo el período de escorrentía fluvial que comenzó en enero y finalizó el 19 de febrero de 1991 (Figura 3).



Figura 2: Vista de la parte inferior del cauce del arroyo Escúa, el 3 de Febrero de 1991.

Se realizaron mediciones de la geometría hidráulica en los cauces de estudio, a fin de establecer las relaciones entre anchura, profundidad, velocidad y caudal del cauce. La granulometría de la carga de fondo de los cauces, que está compuesta de lapillo y tobas, se analizó en 5 muestras del cauce junto a la sección de aforos. Así mismo se analizó el sedimento en suspensión durante varias crecidas. El movimiento de material grueso fue medido mediante rocas pintadas.

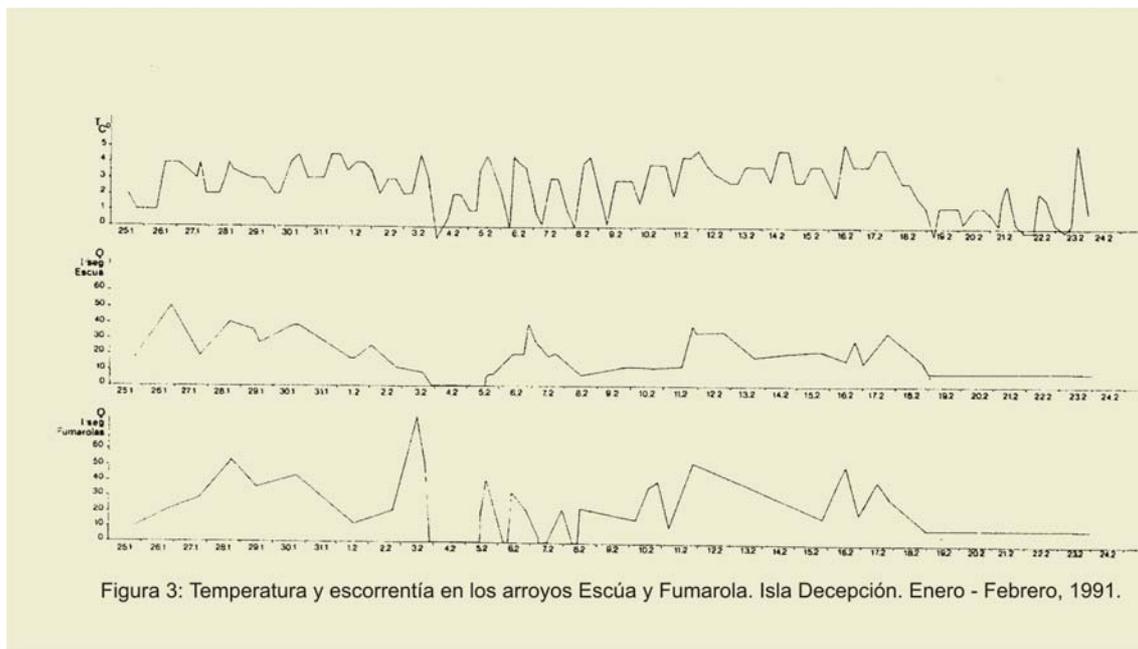
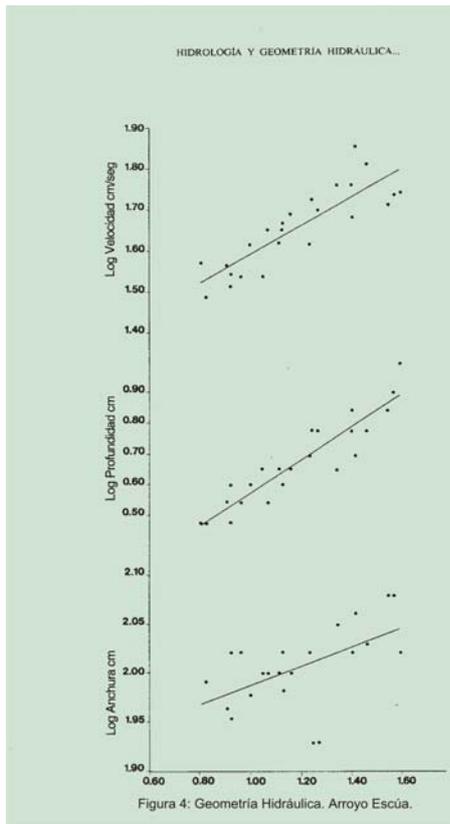


Figura 3: Temperatura y escorrentía en los arroyos Escúa y Fumarola. Isla Decepción. Enero - Febrero, 1991.

Geometría Hidráulica y Transporte de Sedimentos

Los exponentes de las ecuaciones de la geometría hidráulica indican la variabilidad de cada factor con la descarga, y los valores obtenidos según las curvas de regresión logarítmica (Figura 4) son:

| ARROYO | b | f | m |
|----------|------|------|------|
| Fumarola | 0.16 | 0.43 | 0.38 |
| Escúa | 0.10 | 0.53 | 0.36 |



La anchura (b) es el factor más estable y la profundidad (f) el más variable; también la velocidad es variable y refleja la tendencia del cauce de aumentar la competencia del transporte de sedimentos al aumentar la competencia el caudal del arroyo. El aumento de la profundidad refleja, así mismo, la misma tendencia que permite el transporte de cantos gruesos, hasta 50 mm de dimensión (eje mediano). Los valores obtenidos son similares a los “sandurs” de la zona ártica (Church, 1972), indicando la gran movilidad de los sedimentos y la estabilidad de los bancos.

La claridad del agua permitió observar el tamaño de los cantos en movimiento durante la mayor parte del tiempo de escorrentía; por lo general fragmentos de hasta 10 mm son transportados como carga de fondo y durante flujos rápidos cantos de 50 mm fueron movidos. La competencia hidráulica de los cauces permite mover los distintos tamaños de cantos que componen la carga de fondo. La concentración del sedimento en suspensión alcanzó a 4000 ppm en el Arroyo Escúa. La turbidez de las aguas del Arroyo Fumarola proviene del glaciar que lo alimenta.

Los sedimentos de la carga de fondo son del tamaño de ceniza gruesa y lapillo y provienen de las capas piroclásticas que cubren la cuenca. Las frecuencias acumuladas en las fracciones de cada tamaño han sido representadas gráficamente en forma “lognormal” (Figura 5). Los sedimentos del Arroyo Fumarola son más gruesos indicando mayor energía del cauce. En los deltas los sedimentos depositados son más finos, con un alto porcentaje de cenizas arenosas, indicando una disminución de energía del régimen de flujo.

Hidrología

El régimen fluvial de los arroyos estudiados se puede observar en el hidrograma de la Figura 3. los datos son diarios o por períodos de doce horas y no continuos por no haber equipo registrador, pero reflejan las distintas tendencias en los cambios de caudal y permiten estimar el total de la escorrentía en la estación de estudio. Observando los datos de temperatura y escorrentía, se pueden establecer las siguientes relaciones y módulos:

1. Existe una relación entre la temperatura y la evolución de los caudales, con una variación rítmica diaria. Durante las jornadas con amplitudes térmicas de 1 ó 2 ° C, la variabilidad del caudal es reducida pero aún notable. Probablemente la influencia de la radiación solar, que no se ha medido en este estudio, determina la fusión de la nieve sin que ocurra un cambio notable en la temperatura.
2. Las dos cuencas reflejan los dos tipos de alimentación del caudal: cubiertas de nieve – neveros – en la cuenca del Arroyo Escúa y glaciar en la cuenca del Arroyo Fumarola. El régimen del Arroyo Escúa es más rítmico y está más asociado a la temperatura que el régimen hidrológico del Arrojo Fumarola. El máximo de escorrentía en el Arroyo Fumarola es superior al del Arroyo Escúa, como

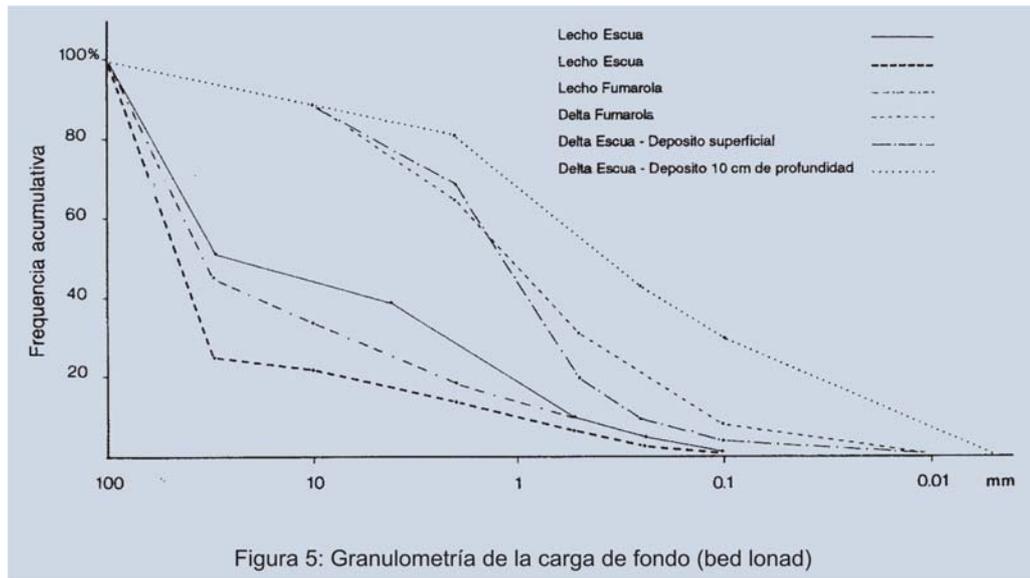
consecuencia de la fisión del glaciar. Hemos apreciado que temperaturas sobre un umbral de 4° C determinan una rápida fusión del glaciar; la fusión rápida de los neveros corresponde a un umbral más bajo de 2 a 3 ° C. Durante bajas Temperaturas de 0 a 2 ° C, la mayor parte del caudal proviene de flujos subterráneos que emergen de la capa piroclástica. La temperatura del agua refleja las distintas fuentes de alimentación: la temperatura de las aguas subterráneas es más alta que la de las aguas que proviene de fusión directa de los neveros, debido al flujo térmico interior de las aguas piroclásticas.

3. El volumen del caudal en el Arroyo Escúa desciende desde el principio de la temporada hacia el final, como consecuencia de la fusión de los neveros, que cubren sólo el 10 % de la cuenca a principio de febrero. La nevada del 3 y 4 de febrero, equivalente a 8 mm de precipitación, proporcionó la fuente de alimentación al caudal del Arroyo Escúa en la semana posterior. El temporal de nieve del 18 y 19 de febrero – con una cubierta de 50 cm. de nieve – determinó el fin de la temporada de escorrentía del verano 1990 – 1991. las temperaturas sobre cero de fin de febrero y principios de marzo no determinaron la fusión de la capa de nieve.
4. No se encontró relación entre la lluvia y la evolución de los caudales. El índice de infiltración del material piroclástico es alto y por lo tanto no existe aporte directo de la lluvia a la escorrentía. El volumen total del caudal en el Arroyo Escúa durante el período de escorrentía en el verano de 1991 fue de 80 000 m³, equivalente a 130 mm o aproximadamente al 20% del total de la precipitación media anual.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los cambios en los parámetros de la geometría hidráulica del cauce del Arroyo Escúa con el incremento del caudal reflejan las condiciones de cauces con material no cohesivo. A fin de transportar la carga de fondo, el proceso de socavación determina una mayor profundidad y velocidad sin mayores cambios en la anchura, como ocurre en los sistemas fluviales del tipo *braided* (Fahnestock, 1963). Las condiciones en la zona antártica permiten analizar los distintos factores sin que haya influencias biológicas, como la cubierta de vegetación o la actividad biótica en los cauces.

La relación empírica $f > m > b$ es notoria en los arroyos estudiados y los valores de la relación b/f – exponentes correspondientes a anchura y profundidad – son mucho menores que el los ríos con material no cohesivo (Ferguson, 1986). En los arroyos de la Isla Decepción el incremento de la anchura con mayor descarga es mucho menor. El cauce del Arroyo Escúa mantiene un equilibrio dinámico y aparentemente no es afectado por grandes crecidas que modifique su morfología; al aumentar el caudal se reduce el índice de fricción e incrementan la profundidad y velocidad, factores que permiten el transporte de los sedimento gruesos.



En las cuencas estudiadas, se identifican dos períodos en el régimen hidrológico: el primero es el de fusión de la nieve o de parte de los glaciares y el segundo, más prolongado, el de congelación o cubierta de nieve en la cuenca. En cuencas de drenaje extensas de zonas polares, son identificados cuatro períodos (Pissart, 1967): deshielo inicial, fusión nival, fin del verano y congelación. En las cuencas de la isla Decepción el período de escorrentía es reducido y en pequeños cauces no hay deshielo del agua de cauce y por lo tanto no son similares los procesos a los ríos nivales de zonas glaciares del hemisferio Norte.

La temperatura es el factor primordial en el régimen de caudal de los arroyos de la Isla Decepción, conclusión similar a la del estudio en el arroyo contiguo a la Base Antártica Española Juan Carlos I (Antigüedad *et al*, 1989). En el estudio hidrológico y glaciológico en el Valle Miers, cercano a la Base Antártica Neozelandesa Scout (78° S), la conclusión de McConchie (1990) es diferente y descarta la relación primordial entre temperatura y escorrentía. De acuerdo a los datos hidrológicos, temperatura y radiación solar en el sistema fluvial proglaciar del Valle Miers, la conclusión es que la intensidad y cantidad de la radiación solar es el factor que controla el régimen de la escorrentía. Es posible que el pico máximo de escorrentía que se observa en el Arroyo Fumarola, alimentado esencialmente por aguas de fusión e glaciar, sea debido a la radiación solar. El régimen del Arroyo Escúa, que en su mayor parte es alimentado por neveros y no por glaciares, depende de la temperatura y la cantidad de nieve disponible para el proceso de fusión.

Los procesos erosivos de transporte de sedimentos en las cuencas estudiadas son primordialmente de índole fluvial. Durante el período de escorrentía el transporte de sedimentos fue de 30 t en el Arroyo Escúa, o 46 t/Km., valor similar a cuencas piroclásticas de clima templado.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Antártico Argentino, a su Director, Dr. C. Rinaldi y al Dr. R. del Valle, que facilitaron mi participación en la Campaña Antártica 1991; al Dr. E Linares, Director del INGEIS; al Dr. Parica e INGEIS; al Dr. J. Viramonte y Proyecto Vulcantar; y a los participantes de la Campaña 1991 de las bases Argentina y Española en la Isla Decepción, por su colaboración y ayuda en el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Antigüedad, I; Eraso, A; Mangin, A. y Fernández Rubio, R. (1989): Características del hidrograma función de los datos meteorológicos y elaboración de la curva de gastos del Río de la Base Antártica Española (Isla Livingston, Shetland del Sur). En A. Eraso e I. Antigüedad (Eds.): *Memorias de la campaña 1988 – 1989 en la Base Antártica española Juan Carlos I*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Baraldo, A (1989): *Caracterización de los depósitos piroclásticos del conjunto inferior de la Isla de Decepción, Islas Shetland de Sur, Antártica*. Trabajo Final de Licenciatura. Departamento de Ciencias Geológicas. Universidad de Buenos Aires.

Church, M. (1972): *Baffin Island Sandurs: A study of arctic fluvial processes*. *Geological Survey of Canada Bulletin*. 216.

Fahnestock, R. K. (1963): Morphology and hydrology of glacial stream – White River, Mt Rainier, Washington. *United States Geological Service Professional Paper*, 422 – A.

Ferguson, R. I. (1986): Hydraulics and hydraulic geometry. *Progress in Physical Geography*, 1 – 31.

Igarzabal, A. P. (1974): Rasgos Morfológicos de Isla de Decepción. *Contribución del Instituto Antártico Chileno*, 172.

Leopold, L. B. y Maddock, T. Jr. (1953): The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *United States Geological Service Professional Paper*, 252.

McConchie, J.A. (1990): The hydrology, glaciology, and sediment transport monitoring programme in the Miers Valley. *New Zealand Antarctic Expedition 1988/1989, Scientific Programme*, 12 – 19.

Pissart, A. (1967): Les modalités de l'écoulement de l'eau sur l'île Prince Patrick, Arctique Canadien. *Biuletyn Periglacialny*, 16, 217 – 224.

Smellie, J. L. (1989): Deception Island. *Tectonic of the Scotia Arc, Antarctica. Field Trip Guidebook T 180*, 146 – 152. Washington: American Geophysical Union.

Trabajo Publicado con anterioridad en “Geología de la Antártica Occidental. J. López – Martínez (Ediciones) Simposios T 3, pp. 337 – 346.

III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992.

Re – publicado en “Párrafos Geográficos” Año I – N° 1 – Mayo de 2002, con estricta autorización del Autor, Dr. Moshe Inbar.