



ESTIMACION DE TASAS DE DIFUSION EN ESCARPES DE FALLA EN EL DESIERTO DE ATACAMA

Felipe Abarzúa C.⁽¹⁾; Daniel Carrizo S.⁽²⁾

(1) Carrera de Geología, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Antofagasta-Chile. pipo@ucn.cl

(2) Programa de Doctorado en Ciencias, Mención Geología MECESUP-UCN. Laboratorio de Tectónica Aplicada, Universidad Católica del Norte, Antofagasta-Chile.

dcarrizo@ucn.cl

INTRODUCCIÓN

El Desierto de Atacama, ubicado en el borde occidental de los Andes Centrales, es uno de los desiertos más áridos del mundo y ha sido comparado con las condiciones climáticas de Marte [McKay, et al., 2003; Dunai et al., 2005]. El proceso de desecación de largo plazo relacionado con la formación del desierto ha permitido una extraordinaria preservación del paisaje, evidenciado por la presencia de superficies de hasta 25 Ma [Dunai, et al., 2005]. Este hecho sugiere que las velocidades de los procesos exógenos son muy lentas, tal vez las más lentas del mundo. La Falla Salar del Carmen (FSC), perteneciente al Sistema de Falla de Atacama, se expone como una serie de escarpes en depósitos aluviales, cuyos perfiles están caracterizados por el dominio del talud de detritos, lo que evidencia que el proceso de difusión controla la degradación del escarpe [3, 4]. Recientemente ha sido documentada una edad pleistocena para los desplazamientos de las fallas. Esta edad ha sido establecida por medio de la datación de superficies con nucleidos cosmogénicos [González, et al., 2006]. En este trabajo se determina la tasa de difusión relacionada con la degradación de escarpes de la Falla Salar del Carmen. Se discute la vinculación de esta tasa de difusión con las condiciones paleoclimáticas pleistocenas del Desierto de Atacama.

MODELO DE DEGRADACIÓN DE ESCARPES Y LA ECUACIÓN DE DIFUSIÓN

El modelo de degradación de escarpes entrega un modelo cuantitativo matemático de la evolución morfológica del perfil de un escarpe (i.e tectónico o fluvial) a través del tiempo [Bucknam y Anderson, 1979; Colman y Watson, 1983; Hanks, 2000; entre otros]. Utiliza la ecuación de

difusión de masa (ver ecuación) para predecir la evolución de la trayectoria de desplazamiento de cualquier punto del perfil, en dependencia del tiempo. La velocidad de degradación o suavización del perfil depende fuertemente de la constante de difusión (k). Esta tasa es dependiente del clima y de las características físicas del material, e indirectamente refleja la tasa de erosión local. Estos modelos han sido aplicados principalmente para datar la edad de escarpes de fallas normales (10^2 - 10^6 años) desarrolladas en depósitos aluviales [Bucknam y Anderson, 1979; Colman y Watson, 1983; Arrowsmith, et al., 1996; Mattson y Bruhn, 2001].

$$\frac{\partial H}{\partial t} = k \frac{\partial^2 H}{\partial X^2}$$

Ecuación de Difusión. $H =$ elevación; $k =$ tasa de difusión;;
 $t =$ tiempo; $x =$ distancia a lo largo del perfil

La aplicación de este modelo requiere conocer la morfología actual del escarpe y estimar las condiciones iniciales de este. La viabilidad de aplicación de este tipo de modelos depende de ciertas condiciones básicas: i) transporte limitado (no hay pérdida de material en el perfil del escarpe al degradarse); ii) La tasa de transporte del material (detritos) tiene un incremento lineal con respecto al incremento de la pendiente (la erosión es controlada por el proceso de difusión); iii) topografía inicial simple; iv) desplazamiento lateral de la falla sea despreciable.

La constante de difusión no puede ser calculada directamente, restringiendo su determinación al cálculo inverso de la ecuación de difusión, sobre la base de una edad de escarpe conocida, proveniente de otro método. Los valores documentados de k , provenientes de ambientes desérticos, varían entre $8,5 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$ (California), $1,1 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$ (Basin and Range) y $0,4 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$ (Israel) [Hank, 2000]. La constante mas baja registrada proviene de escarpes fluviales de la región de Negev, en Israel, con valores mayores a $0.1 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$. Este trabajo presenta los resultados de la determinación de tasas de difusión desarrolladas en el Desierto de Atacama, cuya hiperaridez ha sido evidenciada desde al menos el Mioceno [Dunai, et al., 2005] sugiere tasas de difusión menores a las obtenidas en el Desierto de Negev.

DETERMINACIÓN DE TASAS DE DIFUSIÓN EN LOS ESCARPES DE LA FSC

La Falla Salar del Carmen (FSC), perteneciente al Sistema de Falla de Atacama, se localiza en la Cordillera de la Costa del norte de Chile a unos 15 km. al este de la ciudad de Antofagasta. La

FSC tiene una orientación N20°E y desplaza los depósitos aluviales del piedemonte oriental de la Sierra de Ancla. La falla tiene una cinemática de tipo vertical-normal, con el descenso relativo del bloque oriental de manera consistente a lo largo de la falla. Los escarpes tienen una altura que varía entre 0,2 a 9,0 m y su perfil está dominado por el talud de detritos, mostrando ángulos de talud que varían entre 16° -35° [Carrizo, 2002; González y Carrizo, 2003]. El hecho que el perfil de los escarpes esté dominado por el talud de detritos evidencia que la erosión del escarpe está controlada por el proceso de difusión. Recientemente González et al. (2006) documentaron edades de los segmentos de la falla en tres localidades, sobre la base de la concentración de ^{21}Ne cosmogénico en superficies desplazadas por la falla. En estas localidades fueron levantados los perfiles topográficos de los escarpes de falla mediante el uso de GPS diferencial. Los escarpes están desarrollados en depósitos aluviales cuyas características litológicas y sedimentológicas son relativamente homogéneas a ambos lados de la falla. El perfil de los escarpes está dominado por el talud de detritos, cuyo depósito no está consolidado y no presenta el desarrollo de suelo salino. El talud del escarpe no muestra perturbaciones morfológicas asociadas a la remoción de material del perfil y corresponden a escarpes simples. El piedemonte original tiene una inclinación general de 3° al este.

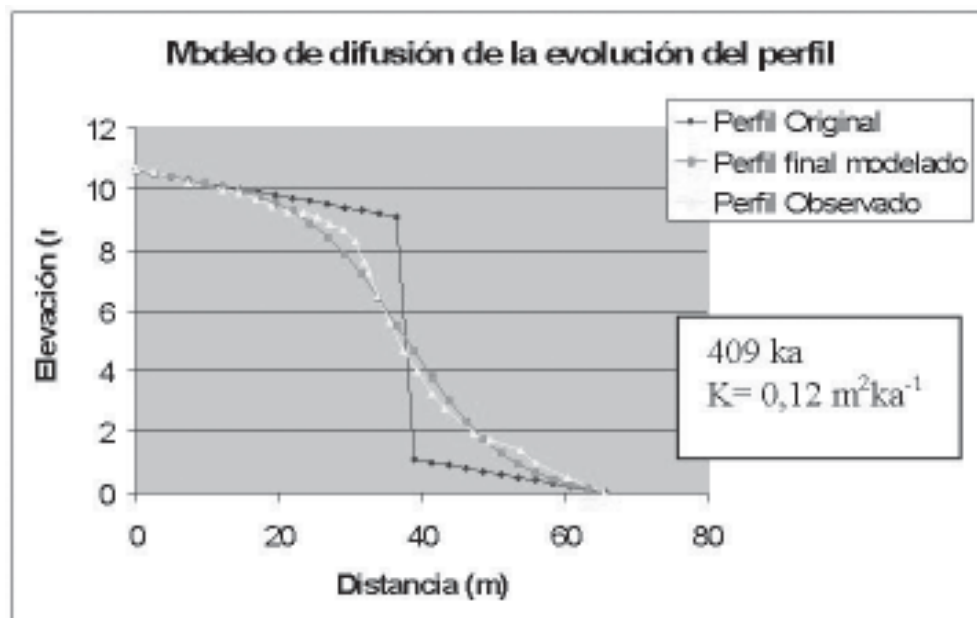


Figura 1. Ejemplo de modelo de difusión de escarpe. Se obtuvo el mejor ajuste para la edad 409 ka, determinando una tasa de difusión $0,12 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$. Son representados: el perfil original (asumido), perfil observado (GPS) y perfil modelado (mejor ajuste).

Se determinó la tasa de difusión en un total de siete perfiles de escarpe de falla utilizando las edades documentadas de 333 ka, 527 ka, 409 ka respectivamente [González et al., 2006]. El procedimiento fue realizado según [Arrowsmith et al., 1996]. La determinación del mejor ajuste para cada modelo se realizó discriminando los valores mínimos de RMS (menores a 0,7). Las tasas de difusión varían entre $0,08 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$ – $0,12 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$ (figura 1).

CONCLUSIÓN

Las tasas de difusión obtenidas de los modelos de degradación de escarpes de la FSC, localizada en el Desierto de Atacama, varían entre $0,08 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$ – $0,12 \text{ m}^2\text{ka}^{-1}$. Estos valores están por debajo de las tasas de difusión reportadas en el Desierto de Negev, lo que las califica como las tasas de difusión más bajas del planeta. Esto último no es inesperado debido a las condiciones hiperaridez de largo plazo del Desierto de Atacama que han permitido la preservación de las superficies más antiguas del planeta 25 Ma [Dunai, et al., 2005]. Estas tasas de difusión pueden ser extrapoladas localmente para obtener una aproximación de la edad de otros segmentos de la FSC.

REFERENCIAS

- Arrowsmith, J. R.; Pollard, D. D.; Rhodes, D. D. 1996. Hillslope development in areas of active tectonics, *Journal of Geophysical Research*, Vol.101, N°B3, p. 6255-6275.
- Bucknam, R.; Anderson, R. 1979. Estimation of fault-scarp-height-slope-angle relationship, *Geology*, Vol.7, p. 11-14.
- Carrizo, D. 2002. La deformación neógeno-cuaternaria del Sistema de Fallas de Atacama, en el borde oriental de la Cordillera de la Costa de Antofagasta, norte de Chile. Memoria de Título (inédito), Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, 140 p.
- Colman, S.M.; Watson, K. 1983. Ages estimated from diffusion equation model for scarp degradation. *Science*, Vol.17, p. 263-265.
- Dunai, T.J., González, G., Juez-Larré, J. 2005. Oligocene-Miocene age of aridity in the Atacama Desert revealed by exposure dating of erosion-sensitive landforms. *Geology*, v. 33, no. 4; p. 321–324.
- González, G., Carrizo, D. 2003. Segmentación, cinemática y cronología relativa de la deformación tardía de la Falla Salar del Carmen, Sistema de Fallas de Atacama, Cordillera de la Costa de Antofagasta. *Revista Geológica de Chile*, vol.30, 2, 223-244.
- González, G.; Tibor D.; Carrizo, D. and Allmendinger, R. (2006). Young displacements on the Atacama Fault System, northern Chile from field observations and cosmogenic ^{21}Ne concentrations, (en prensa en *Tectonics*).
- Hanks, T. 2000. The Age of Scarplike Landforms From Diffusion-Equation Analysis, In *Quaternary Geochronology Methods and Applications*, (Stratton, J.; Sowers, J.; Lettis, W; editores). American Geophysical Union, p. 313-338, Washington, DC.
- Mattson, A.; Bruhn, R. 2001. Fault slip rates and initiation age based on diffusion equation modeling: Wasatch Fault Zone and eastern Great Basin. *Journal of Geophysical Research*, Vol.106, N°B7, p. 13,739-13,750.
- McKay, C.P., Friedmann, E.I., Gomez-Silva, B., Carceres-Villanueva, L., Andersen, D.T., and Landheim, R., 2003. Temperatura and moisture conditions for life in the extreme arid region of the Atacama Desert: Four years of observation including the Niño of 1997-1998: *Astrobiology*, v.3, p. 393-406.