

Aplicación del modelo digital de elevaciones de ASTER en geomorfología

Silvia Castro Godoy ⁽¹⁾ y Emilio González Díaz ⁽²⁾

⁽¹⁾ Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), División Sensores Remotos y SIG
Av. Julio A. Rocas 651, 8° Piso, Sector 1 (C1067 ABB), Buenos Aires, Argentina
E-mail: silvia_castro_godoy@yahoo.com.ar

⁽²⁾ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2 (1428), Núñez, Buenos Aires, Argentina.

Abstract. This paper shows the importance of remote sensing as a complement of geomorphologic field studies. A case of stream piracy caused by the active retrograde erosion of Limay Chico stream, southern part of Neuquén province, Argentina, is used as an example. ASTER ortonrectified bands were obtained in order to produce a geomorphologic map and longitudinal profiles were built and analyzed from ASTER DEM for a better understanding of the previous favorable conditions that caused the fluvial capture. Such conditions consist on the topographic disposition of Limay Chico and Alicurá Basin streams base level, the location of Limay Chico valley along a zone of structural and litological weakness and the transverse arrangement of the Alicura river's headwaters. Landslides were promoted by the Limay Chico Fault and the local and dynamic erosion of Limay Chico stream.

Palabras clave: remote sensing, ASTER, digital elevation model, geomorphology, stream piracy, sensores remotos, modelo digital de elevaciones, geomorfología, captura fluvial.

1. Introducción

Los modelos digitales de terreno (MDT) son una categoría de modelos simbólicos que nació y se desarrolló con el advenimiento de las nuevas tecnologías. Un modelo digital de terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, Felicísimo (1992). Mientras en la cartografía convencional la descripción hipsométrica constituye la infraestructura básica del resto de los mapas, en los MDT este papel lo desempeña el modelo digital de elevaciones (MDE). Los modelos digitales de elevaciones (MDE) describen la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados. Esta herramienta ha resultado de suma utilidad para el análisis y comprensión del proceso de captura fluvial que se describe en el presente trabajo mediante la obtención de productos derivados del MDE del sensor ASTER como la generación de perfiles longitudinales y el cálculo de gradientes hidráulicos. ASTER, a bordo del satélite TERRA, posee capacidad estereoscópica en el sentido de la órbita mediante la utilización de las bandas del infrarrojo cercano. Para adquirir datos estéreo ASTER tiene 2 telescopios, uno en posición nadir y el otro con vista hacia atrás con una relación base altura de 0,6, Yamaguchi et al. (1998). El nivel de datos 1A se usa como fuente de datos para generar el MDE de alta calidad, Fujisada et al. (2001), la resolución espacial es de 15m, la precisión en el plano X, Y es superior a 50m sin corrección con puntos de control de campo y la precisión en Z es superior a los 15m.

2. Ubicación

El área de estudio se localiza en el sureste de la Provincia del Neuquén, en el extremo sur de la "Depresión" o "Fosa de Collon Cura" (Ramos 1978), aproximadamente entre las siguientes coordenadas: 40°30'S - 40°40'S y 70°50'O - 71°07'O, **Figura 1**.

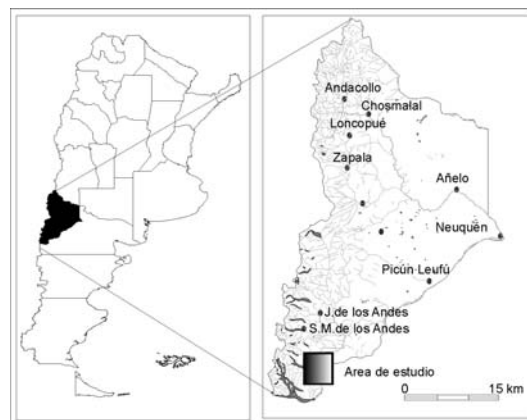


Figura 1. Mapa de ubicación e imagen ASTER VNIR del área

La zona se sitúa entre los ríos Limay (sur) y Caleufu (norte) **Figura 2** y abarca la cuenca del arroyo Alicurá con sus principales tributarios: Aguada del Negro, Mallín Grande y Pantanoso y la del arroyo Limay Chico. La dirección del drenaje regional en la depresión tectónica tiene una orientación oeste-este y suave pendiente hacia el este. Su nivel de base local es el río Collon Cura, cuyo valle está controlado por la falla oriental de la "Fosa de Collon Cura" e interpretado como un valle *de falla* o *longitudinal*.

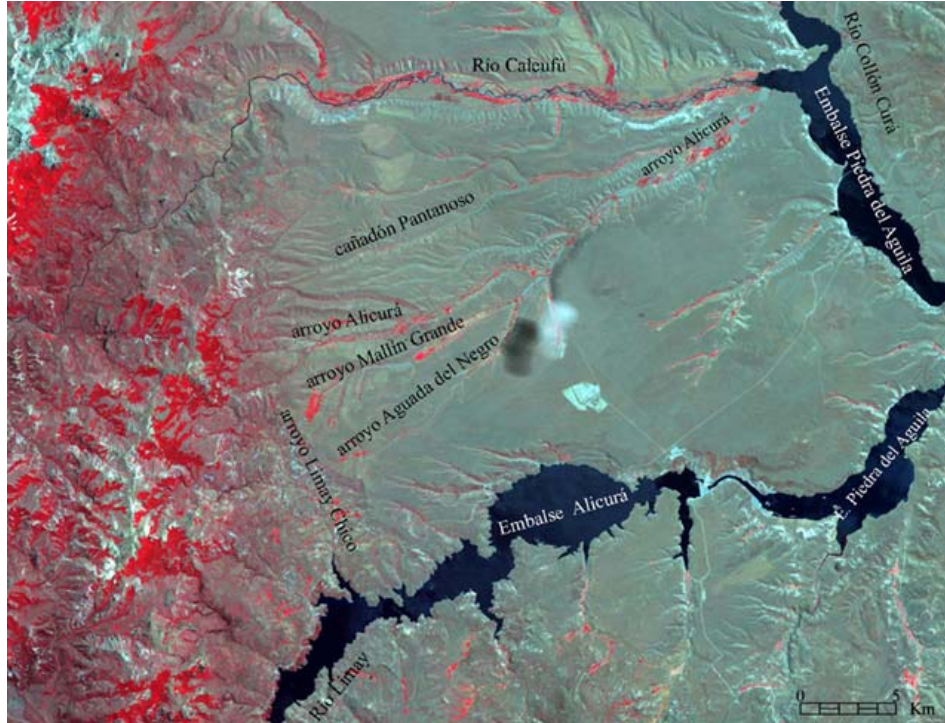


Figura 2. Subescena de ASTER, composición color RGB: 321

Por su parte, el arroyo Limay Chico se localiza a lo largo del tramo sur de la "Falla del Limay Chico" con rumbo norte-sur y por lo tanto con disposición transversal al drenaje regional de la "Fosa de Collon Cura", **Figura 2**. Sus cabeceras drenan la mencionada escarpa de falla, su curso tiene pendiente al sur y afluencia al nivel de base local, el río Limay. Los mencionados niveles de base locales tienen situaciones diferentes, hallándose en una posición inferior aquel del arroyo Limay Chico (río Limay), respecto del río Collon Cura. Los valles de estos ríos se encuentran en la actualidad parcialmente inundados debido a la construcción de las represas Alicurá y Piedra del Aguila respectivamente lo que originó el ascenso en los niveles de base originales.

3. Metodología

La interpretación de este fenómeno local de captura fluvial, es el resultado de las investigaciones de campo alcanzadas en oportunidad del relevamiento geológico de la región de la Hoja 39b (LagoTrafal) para el Servicio Geológico Nacional, González Díaz (1979), del análisis fotogeológico del área y de la interpretación de datos ASTER.

Se utilizó una imagen ASTER nivel 1A del 4 de marzo del 2001 la que fue procesada con el programa SILCAST (V1:1) desarrollado por Sensor Information Laboratory Corporation en lenguaje IDL y se obtuvo el MDE y las 14 bandas ortorrectificadas. Se utilizaron principalmente las bandas del subsistema VNIR en la composición color RGB: 321 para la interpretación visual de las geoformas y de la estructura y para la confección del mapa geomorfológico, González Díaz y Castro Godoy (2006), **Figura 3**. A partir del modelo digital de elevaciones se generaron los perfiles longitudinales de los arroyos Limay Chico, Aguada del Negro, Mallín Grande, Pantanoso, Alicurá y Calcufu. Para el cálculo de gradientes hidráulicos en primer lugar se digitalizaron los arroyos en un ambiente de Sistema de Información Geográfica (SIG) con el programa Arc-Info, así se obtuvo el valor de la longitud de los cauces y luego se exportaron los datos al formato *shape file*.

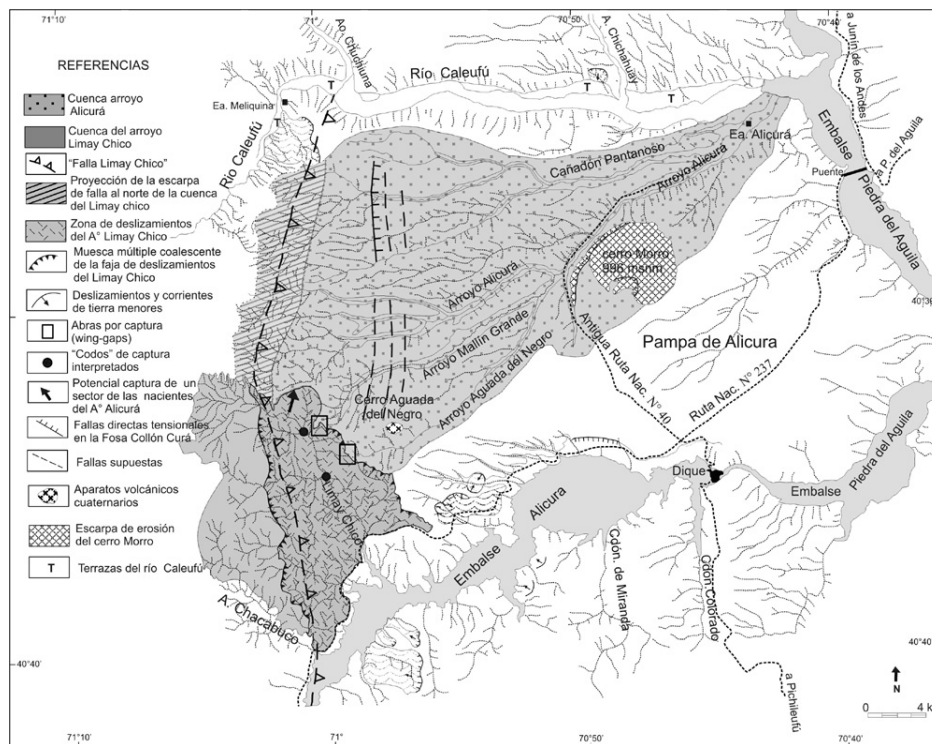


Figura 3. Mapa Geomorfológico (tomado de González Díaz y Castro Godoy, 2006)

Luego con el programa ENVI se superpuso la traza de los cursos fluviales sobre el modelo digital de elevaciones y se generó el perfil longitudinal de cada uno de los arroyos, como se aprecia en la **Figura 4**. Con los datos de altura (elipsoidal) y la longitud de los cauces, se realizó el cálculo de gradientes hidráulicos.

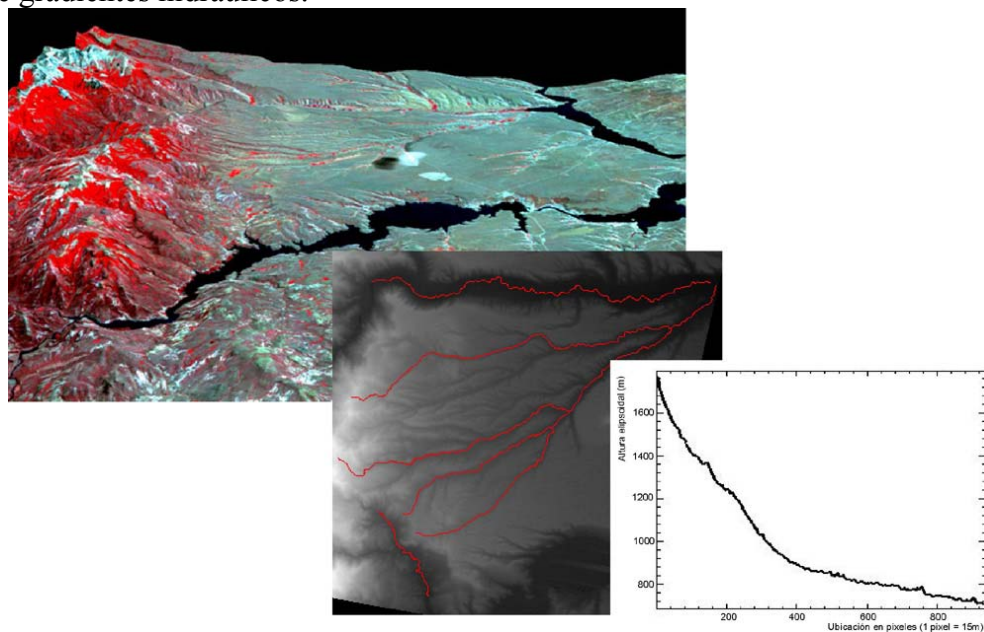


Figura 4. Modelo digital de elevaciones ASTER y perfiles longitudinales

4. Arroyo Limay Chico, ejemplo de captura fluvial

El ejemplo de captura fluvial fue reconocido por González Díaz (1979) durante el relevamiento de la Hoja Geológica 39b (Lago Traful) para el ex Servicio Geológico Nacional, mencionado en el texto de la Licenciatura de Fauque (1980) y descrito en González Díaz y Castro Godoy (2006).

La expansión de las cabeceras del arroyo Limay Chico hacia el norte, se debió a la particular localización del valle del arroyo Limay Chico y la concentración de la erosión a lo largo de una faja de debilidad estructural y litológica regional, representada por la zona de la "Falla del Limay Chico". Con activa erosión retrógrada el arroyo Limay Chico prosperó dinámicamente aguas arriba, promoviendo la captura (*stream piracy*) de los arroyos Aguada del Negro y Mallín Grande, los que drenaban el sector austral de la escarpa de falla, **Figura 3**.

En un primer momento y debido a la captura del tramo superior de arroyo Aguada del Negro y su incorporación a la cuenca del arroyo Limay Chico, éste debió incrementar su descarga y en consecuencia su capacidad erosiva. Posteriormente, al dinamizar su erosión retrógrada, logró alcanzar otro tramo de las cabeceras del arroyo Alicurá, el arroyo Mallin Grande, generando así una nueva captura. De este modo un sector de la cuenca del arroyo Alicurá adquirió el carácter de "decapitado" (*beheaded*).

La suma de factores estructurales, litológicos y topográficos favorecieron la captura. Desde el punto de vista estructural la situación estuvo favorecida por el desarrollo del valle del arroyo Limay Chico a lo largo de una zona de debilidad (Falla del Limay Chico). Otro factor fue la posición topográfica inferior del nivel de base local (río Limay) respecto de aquel (río Collon Cura) del arroyo Alicura y la disposición transversal de ambas cuencas. Un factor eficaz en el progreso de la erosión retrocedente y las posteriores capturas, fue la variación del nivel de base local del arroyo Limay Chico que consistió en sucesivos descensos relacionados con mayores descargas durante el cambio climático del Cuaternario Tardío.

Debido a la proximidad de un sector del tramo norte-sur de las cabeceras del arroyo Limay Chico a una parte de las nacientes del arroyo Alicurá se presume la posibilidad de nuevas capturas por la propagación de la erosión retrocedente aguas arriba.

Otra característica del área es la presencia de deslizamientos rotacionales sobre la abrupta escarpa de falla de la "Falla del Limay Chico" **Figura 3** generando un irregular paisaje en el faldeo occidental del valle del arroyo Limay Chico, mientras que el proceso es limitado en el flanco oriental. González Díaz y Folguera (2006) sugieren que la ocurrencia de los numerosos deslizamientos rotacionales, ha sido inducida por intensas precipitaciones (o un prolongado período de lluvias) y una fase de activa y localizada erosión fluvial en el valle del arroyo Limay Chico, relacionada con el rejuvenecimiento estático promovido por las capturas.

Estimaciones de los gradientes

Como parte de la metodología de trabajo y para una mejor comprensión de la incidencia de los gradientes (Φ) en la captura, se elaboraron los perfiles longitudinales del arroyo Limay Chico, de los arroyos de la cuenca Alicurá y del río Caleufu. Para ello se digitalizaron los cauces en entorno SIG y se extrajo el valor de su longitud (L), mientras que el valor de alturas elipsoidales se tomó del MDE (h).

1) Cuenca del arroyo Limay Chico, **Figura 5**: El gradiente general del curso (Φ_{AB}) es de 6,86% y fue estimado a partir del punto de cota más elevado en sus cabeceras (A) y el de cota mínima (B) en la margen del embalse Alicurá. Sin embargo este curso presenta un brusco cambio en la

pendiente, al pie de la escarpa de falla (C), motivo por el cual se calculó el gradiente de la parte superior del curso, tramo A-C, cuyo valor de Φ_{AC} es de 17,7% y el de la parte inferior, tramo C-B, el Φ_{CB} es de 1,96%, siendo esto últimos los valores más representativos de las características del curso.

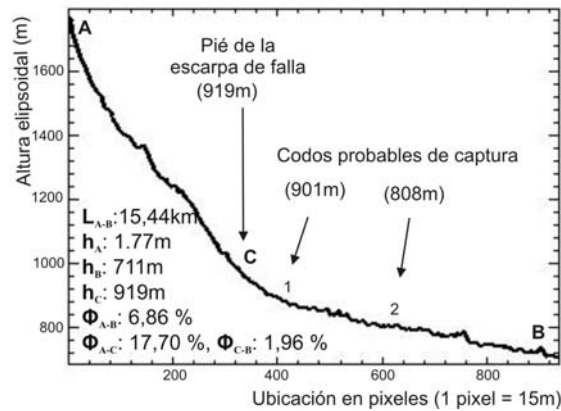


Figura 5. Perfil longitudinal del arroyo Limay Chico

2) Cuenca del arroyo Alicurá:

- Arroyo Aguada del Negro, **Figura 6:** presenta un gradiente suave y uniforme desde las cabeceras hasta su afluencia en el arroyo Mallín Grande (Φ_{AB}) del 1,81%

- Arroyo Mallín Grande, **Figura 7:** su gradiente también es uniforme (Φ_{AB}) del 1,79% desde sus cabeceras hasta su desembocadura en el arroyo Alicurá.

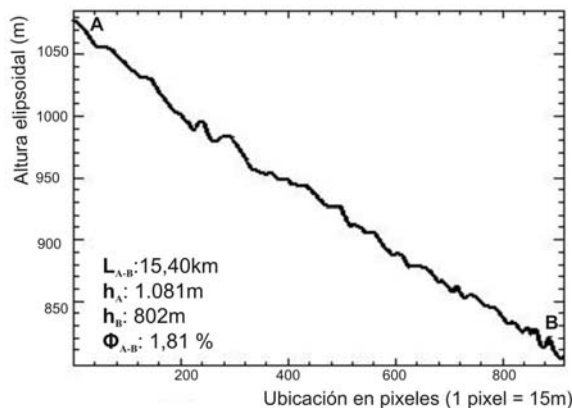


Figura 6. Perfil del arroyo Aguada del Negro Grande

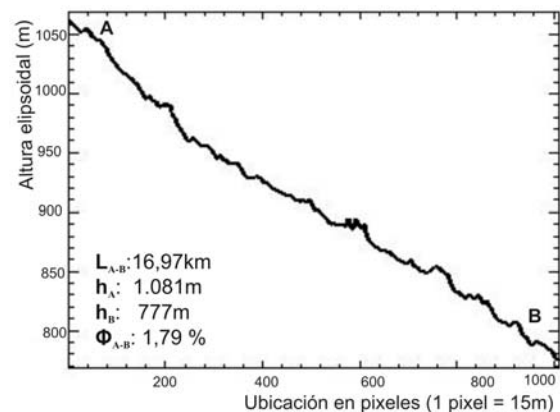


Figura 7. Perfil del arroyo Mallín Grande

- Arroyo Alicurá, **Figura 8:** su gradiente general (Φ_{AB}) desde sus cabeceras hasta su desembocadura en el embalse Piedra del Aguila es del 2,6%, pero presenta un quiebre de pendiente (C) al pie de la escarpa de falla. El gradiente del tramo superior Φ_{AC} es del 8,85% y el del inferior Φ_{CB} es del 1,44%.

- Arroyo Pantanoso, **Figura 9:** la estimación del gradiente general Φ_{AB} se realizó entre el pie de la escarpa de falla y la afluencia al arroyo Alicurá y su valor es de 2,94%. Presenta el quiebre debido a la escarpa de falla en C y el gradiente del tramo superior es del 9,81% mientras que el del inferior del 1,65%.

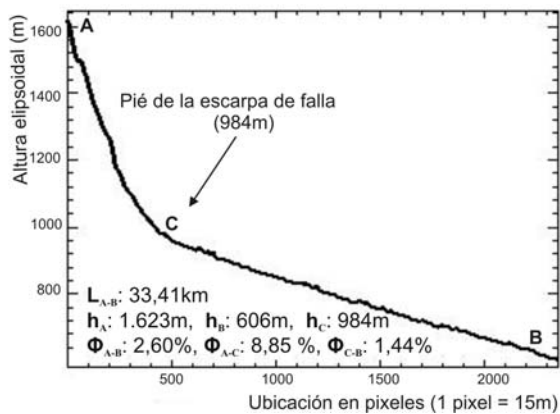


Figura 8. Perfil del arroyo Alicurá

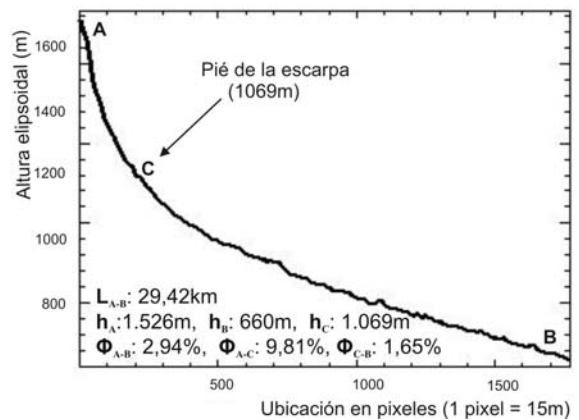


Figura 9. Perfil del arroyo Pantanoso

3) Río Calefú, **Figura 10**: el gradiente general Φ_{AB} fue calculado entre la Estancia Meliquina y el embalse Piedra del Aguila en la zona del valle del Collón Curá, cuyo valor es 0,43%.

El cálculo de gradientes fue de suma utilidad ya que en una primera aproximación se planteó la hipótesis que uno de los factores favorecedores del proceso de captura era el mayor gradiente (y pendiente) del arroyo Limay Chico con respecto a aquellos de la cuenca del arroyo Alicurá. Sin embargo de la observación y comparación de los valores obtenidos a partir del procesamiento de datos ASTER (DEM y perfiles longitudinales) se minimizó esta incidencia ya que los arroyos no presentan diferencias importantes en sus gradientes.

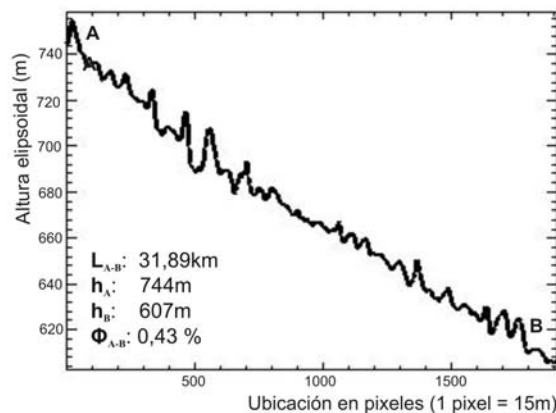


Figura 10. Perfil longitudinal del Río Calefú

Conclusiones

Un proceso local de activa erosión retrógrada desarrollada en la cuenca del arroyo Limay Chico, provocó capturas fluviales sucesivas en la zona de las nacientes de la cuenca del arroyo Alicurá, situada en el sector suroccidental de la "Fosa de Collon Cura" (provincia del Neuquén).

La alta resolución espacial del sensor ASTER (15m) facilitó la interpretación visual y la confección de la cartografía geomorfológica del área.

La capacidad estéreo de este sensor permitió la generación del MDE a partir del cual se construyeron los perfiles longitudinales de los arroyos y se realizó la estimación de los gradientes

hidráulicos. Esto aportó datos de las características de los arroyos de las cuencas del Limay Chico, Alicurá y Caleufu y permitió realizar una interpretación mas ajustada de los factores favorecedores del fenómeno de captura fluvial.

Las características que favorecieron el desarrollo del proceso de capturas fueron: la disposición transversal de las cabeceras de ambas cuencas, la situación topográfica de sus respectivos niveles de base locales (ríos Limay y Collon Cura), la rápida respuesta erosiva retrógrada facilitada por la localización del valle del Limay Chico a lo largo de una zona de debilidad estructural ("Falla Limay Chico") y los descensos de su nivel de base local (río Limay), relacionados con las fluctuaciones climáticas del Cuaternario Tardío (mayores precipitaciones = mayores descargas). Además se interrumpió localmente el desarrollo del ciclo fluvial (rejuvenecimiento) en la cuenca lo que contribuyó a la desestabilización de las pendientes de la escarpa de falla occidental (deslizamientos rotacionales coalescentes).

Agradecimientos

Agradecemos a las autoridades del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), por permitir la publicación de este trabajo.

Referencias

- Fauque, L. 1980. Geología **del área aledaña a los valles de los ríos Limay, Limay Chico y la Pampa de Alicurá**. Trabajo Final de Licenciatura, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA).
- Felicísimo, A., 1992. **Aplicaciones de los modelos digitales del terreno en las ciencias ambientales**. Tesis doctoral, 235pág. Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT), Universidad de Oviedo.
- Fujisada, H., Iwasaki A. Y Hara S. 2001. ASTER stereo system performance. **International Society for Optical Engineering SPIE Proc.** 4540: 39-49.
- González Díaz, E.F., 1979. **Cartas geológicas de las Hojas Geológicas 39a (Portezuelo de Puyehue) y 39b (Lago Traful), provincia del Neuquén**. Servicio Geológico Nacional. Inéditas.
- González Díaz, E.F. y A. Folguera, 2006. **Los deslizamientos en la Cordillera neuquina al sur de los 38° S: su inducción**. (en arbitraje).
- González Díaz, E.F. y S. Castro Godoy, 2006. **Arroyo Limay Chico: Un ejemplo de captura fluvial en la cuenca superior del Rio Limay (SE del Neuquén)**. (en arbitraje)
- Ramos, V.A., 1978. **Estructura**. 7° Congreso Geológico Argentino (Neuquén). En: Geología y Recursos Naturales del Neuquén (E.O. Rolleri, ed.), Relatorio: 99-118. Buenos Aires.
- Yamaguchi Y., Kahle A.B., Tsu H., Kawakami T. Y Pniel M. 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36, N°4.