

**MAPEO DE LINEAMIENTOS A PARTIR DE UN DEM (SRTM3):
DESARROLLO Y APLICACIONES PARA EL ESTUDIO DE UN AREA DE LOS
ANDES PATAGONICOS SEPTENTRIONALES**

Ernesto Gallegos, Carmen I. Martínez Dopico y Yanina Berbeglia

INGEIS-CONICET. Pabellón INGEIS (Ciudad Universitaria) Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de
Buenos Aires, Argentina. E-mail: ernestog@gl.fcen.uba.ar, carmen@gl.fcen.uba.ar,
yanina@berbeglia.com.ar

RESUMEN

Este trabajo explora la utilidad del mapeo de lineamientos sobre mapas de relieve sombreado producidos con software para análisis de imágenes satelitales a partir de modelos de elevación digital (DEM) de 3 segundos de resolución espacial. La zona de estudio se ubica entre 39°S y 39°30'S y entre 71°W y 71°30'W y se utilizaron tres mapas de relieve sombreado con luz incidente a 45° de la horizontal y azimuts de 120°, 240° y 360°. Tres operadores mapearon lineamientos de manera independiente en las diferentes imágenes con el resultado de nueve mapas independientes. Sólo los lineamientos mapeados en al menos 2 mapas de relieve sombreado por al menos dos operadores o por los tres operadores en al menos una de las imágenes fue considerado un lineamiento reproducible, de esta manera se obtuvieron 23 lineamientos. Las tendencias obtenidas son 55°, 106°, 140°, y 153°. Estos lineamientos fueron contrastados con lineamientos mapeados en una imagen GeoCover™ (Mosaico Ortorrectificado Comprimido de imágenes Landsat Enhanced Thematic Mapper), en la hoja geológica 1:200.000 (SEGEMAR) y en mapas topográficos 1:50.000 (IGM). Algunos lineamientos claramente identificables a partir del DEM no se distinguieron en los mapas geológicos o topográficos ni en la imagen Landsat. Los autores consideran que existen ciertas ventajas del uso de modelos de elevación digital para el mapeo de lineamientos regionales: 1) Los usuarios pueden controlar el ángulo de incidencia de la luz y su azimut; 2) La escala de trabajo puede ser cambiada todas las veces que sea necesario; 3) A diferencia de las fotografías aéreas, los datos satelitales no tiene ningún tipo de deformación y no muestra influencia de rasgos antropogénicos o interferencia de la vegetación en la interpretación. Otra importante ventaja del DEM SRTM3 V2 y la imagen GeoCover™ usada en este caso es que se trata de datos de acceso gratuito y que cubren casi la totalidad de la Tierra. La correlación entre lineamientos obtenidos con la técnica presentada y geología, fallas y fracturas sugiere que los DEM pueden ser un componente importante en el mapeo geológico. Sin embargo, los lineamientos regionales obtenidos deben ser contrastados con la información estructural obtenida en el campo.

Palabras Clave: DEM - SRTM - Andes Patagónicos

ABSTRACT

This paper explores the usefulness of mapping lineaments with shaded relief maps produced by satellite image analysis software from Digital Elevation Models (DEM) of three seconds spatial resolution. The area of study is located between 39°S and 39°30'S and between 71°W and 71°30'W. Three shaded relief maps were use with incident light at 45° from the horizontal and azimuths of 120°, 240° and 360°. Three operators mapped lineaments separately in the different images obtaining a result of nine independent maps. Reproducible lineaments were considered only those mapped in at least two shaded relief maps by at least two operators or by three operators in at least one image, in the end 23 lineaments were obtained.

The tendencies observed were 55°, 106°, 140° and 153°. These lineaments were compared with lineaments mapped in a GeoCover™ Landsat Enhanced Thematic Mapper Imagery orthorectified compressed mosaic, in the geologic map 1:200.000 (SEGEMAR) and in topographic maps 1: 50.000 (IGM). Some lineaments that were clearly identified with the DEM were not observed in the geological and topographic maps or in the Landsat imagery. The authors consider there are certain advantages in applying digital elevation models in the mapping of regional lineaments: 1) the users can control the incident angle and its azimuth; 2) The working scale can be change as needed; 3) in contrast to aerial photography, the satellite data have no deformation and it doesn't show any kind influences with anthropologic features or interference in the interpretation due to vegetation. Another advantage of the DEM (SRTM3 V2) and the GeoCover™ image used in this procedure is that the data is for free access and almost cover all the Earth. The correlation between the presented technique and geology, faults and fractures suggest that DEM can be a very important component in the geological mapping. The obtained lineaments must be checked with the structural information obtained in the field to be validated.

Keywords: DEM - SRTM - Patagonian Andes

INTRODUCCION

El área estudiada se localiza en los Andes Patagónicos Septentrionales de Neuquén, entre los 39°S a 39°30'S y 71°W a 71°30'W cuya superficie aproximada es de 2.500 km². La Cordillera Patagónica Septentrional está caracterizada por el desarrollo de una faja plegada y corrida de vergencia este con algunas estructuras retroconvergentes asociadas (Ramos y Cortes 1984). En la zona se observan lineamientos de direcciones NO-SE y NE-SO donde se emplazan importantes lagos y los valles fluviales de los ríos Pulmarí y Rucachoroi. Todo este conjunto de estructuración lineal se considera relacionado con el gran sistema de fallas transcurrentes denominado Bio-Bio Aluminé. Con posterioridad a la deformación orogénica miocena superior se desarrolló entre los 37°S y 40°S un ambiente extensional transtensivo durante los últimos 5 Ma. Este proceso se encuentra asociado al aumento del ángulo de subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa de Sudamérica. Esta mecánica genera como estructura principal al sistema de fallas Liquiñe – Ofqui para el cuaternario entre los 38°S y 45°S. En Argentina este sistema de fallas ingresa con rumbo NE y desarrolla cuencas, inmediatamente al norte

de la zona de estudio, entre los 37°30'S y 38°37'S (Jordan *et al.*, 2001; Folguera *et al.*, 2002; Folguera *et al.*, 2003).

El objetivo de esta contribución es obtener un mapa de lineamientos regionales a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM, por su sigla en inglés) y su comparación con imágenes satelitales, mapas topográficos y mapas geológicos del área de estudio.

La SRTM consistió de un sistema radar especialmente modificado que voló sobre el Trasbordador Espacial Endeavour (Misión STS-99) durante once días en febrero de 2000. SRTM es un proyecto internacional dentro de la esfera de la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) de los Estados Unidos y la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA) del mismo país. Los derechos de propiedad intelectual de los datos pertenecen al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y este permite el libre uso del mismo mientras se cumpla la condición de citado de la fuente. La misión obtuvo tres tipos de imágenes que consisten en datos topográficos SRTM de distinta resolución. NASA ha lanzado gratuitamente el 10 de octubre de 2005 la versión 2 del dato SRTM. La misma es el resultado de un largo trabajo de edición realizado por la NGA y resuelve en gran medida el gran problema que

presentaba SRTM V1, ya que la cantidad de píxeles con valores espurios se redujo al mínimo. Esta última versión del dato es la que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo. Un acercamiento a las técnicas utilizadas para la reducción del error de los datos en el producto SRTM V2 es presentado en Rodríguez *et al.* (2005).

Las imágenes satelitales GEOCOVER™ están compuestas por mosaicos de tres bandas Landsat ETM+, todas ellas normalizadas con la banda pancromática,: Banda 1 (se visualiza como rojo: infrarrojo medio), Banda 2 (se visualiza como verde: infrarrojo cercano) y Banda 3 (se visualiza como azul: luz visible verde). Cada uno de estos mosaicos cubre 5° de latitud y el espacio este-oeste que cubre una zona UTM (6°). La resolución espacial (tamaño del píxel) es de 14,25 metros. La fecha de obtención de las escenas varía pero se encuentra entre 1997 y 2003. El dato está proyectado en coordenadas planas UTM y se refiere a WGS84.

METODOLOGIA

La Misión Traslador de Topografía Radar (SRTM) obtuvo un dato de elevación de escala global y generó la base de datos de

topografía digital de alta resolución más completa de la Tierra (Rabus *et al.*, 2003). El dato de mayor distribución y uso es el SRTM3 (píxel de tres segundos) cuya definición equivale a un píxel de 90 m de lado sobre el Ecuador. Las imágenes SRTM3 se pueden descargar de Internet en forma de “celdas” cuadradas de un grado de lado, cada grado dividido en 1201 píxeles. Se utilizaron modelos de elevación digital SRTM3 V2 para crear mapas de relieve sombreado (*shaded relief maps*) con un ángulo de iluminación de 45° de la horizontal y tres diferentes azimut de incidencia luminosa: 120°, 240° y 360° (Fig. 1).

Esta tarea se realizó con el software libre GRASS 6 (Netler y Mitsova 2002). Dichos mapas de relieve sombreado se utilizaron para la interpretación visual de lineamientos regionales. Los lineamientos pueden reconocerse a partir de los mapas de relieve sombreado obtenidos. Tres operadores mapearon de modo independiente lineamientos sobre los juegos de tres mapas de relieve sombreado y la imagen GeoCover™ del área estudiada. Se obtuvieron 126 lineamientos basados en el DEM que mediante ensayos de reproducibilidad se redujeron a 23. Se consideran lineamientos reproducibles sólo los

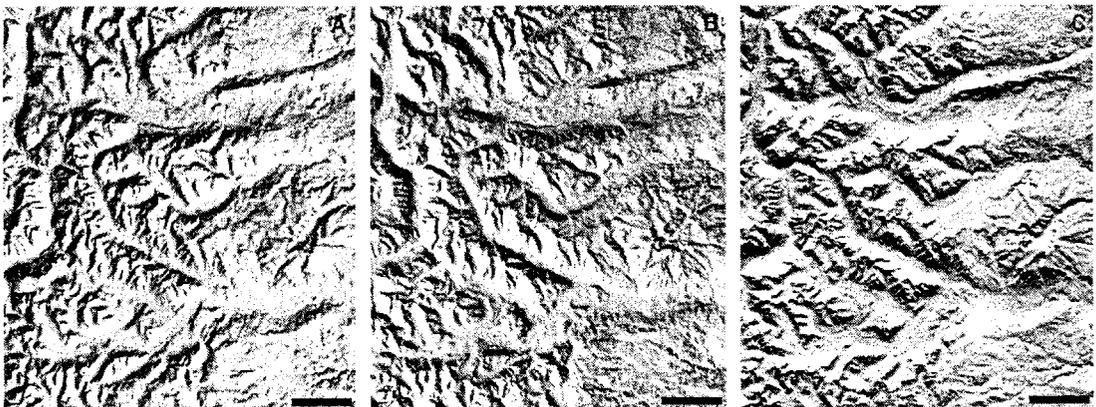


Figura 1. Mapas de relieve sombreado utilizados para el mapeo de lineamientos, con luz incidente en las direcciones A: 120°, B: 240° y C: 360° de azimut. La altitud de la luz incidente está dada en todos los casos por un ángulo de 45° respecto del plano horizontal. La barra representa 10 km en todos los casos.

obtenidos por dos operadores en al menos dos mapas de relieve sombreado o por los tres operadores al menos en uno de los mapas. Los resultados obtenidos a partir de este trabajo se observan en la Figura 2 y en la Tabla 1. Las tendencias principales de los lineamientos identificados se dividen en cuatro grupos y son 153°, 106°, 55° y 140° de azimut (Tabla 1). Estos lineamientos fueron contrastados con lineamientos reproducibles mapeados en la imagen GeoCover™, con la hoja geológica 1:200.000 3972-IV “Junín de los Andes” (Cucchi y Leanza 2005) y con mapas topográficos 1:50.000. Las tendencias principales obtenidas son consistentes con las grandes lineamientos conocidas en la región (Tunstall y Folguera 2005 y García Morabito y Folguera 2005). El grupo 1 de los lineamientos reconocidos coincide con la dirección de la fosa Bio Bio Aluminé, ubicada por García Morabito y Folguera (2005) en el sector este de la zona de estudio. Algunos

lineamientos claramente identificables a partir del DEM no fueron distinguidos a partir de mapas topográficos o geológicos previos ni en la imagen satelital utilizada.

DISCUSION

Existen ciertas ventajas en el mapeo de rasgos lineales estructurales sobre datos DEM con la técnica empleada en este trabajo:

- 1) A diferencia de lo que ocurre con las fotografías aéreas, los usuarios pueden controlar la dirección exacta de luz incidente sobre la topografía.
- 2) La escala de estudio se puede variar según la necesidad del usuario aunque el DEM utilizado en este trabajo (SRTM3) no sirve para estudios de gran detalle.
- 3) Los datos satelitales no tienen deformación como la que presentan las fotografías aéreas.
- 4) Al basarse en interferometría radar y debido a la longitud de onda utilizada, los DEM no presentan influencia de rasgos antropogénicos, biogénicos (vegetación) o factores climáticos en su interpretación.
- 5) Todos los datos utilizados en este trabajo son de acceso gratuito y cubren casi la totalidad de la Tierra.

Respecto al mapa de lineamientos obtenido, se han mapeado 126 lineamientos, 23 de ellos reproducibles, entre los que se destacan 4 tendencias regionales de direcciones: 153°, 106°, 55° y 140°. El grupo de lineamientos de azimut promedio de 153° coincide con la dirección de la fosa Bio Bio - Aluminé. En general, la correlación que suele encontrarse entre lineamientos obtenidos a partir de DEM con geología, fallas y fracturas sugiere que los DEM pueden ser un componente importante en todos los trabajos de mapeo geológico - estructural. De todos modos, si bien la técnica presentada es adecuada para obtener características estructurales regionales, debe ser corroborada a partir de datos de campo.

Tabla 1. Lineamientos reproducibles obtenidos representados en la Figura 2 y grupos en los que fueron divididas las tendencias principales de los mismos.

Lineamiento	Azimut	Grupo	Grupo	Promedio
1	150°	1	1	153°
2	100°	2	2	106°
3	45°	-	3	55°
4	108°	2	4	140°
5	111°	-		
6	180°	-		
7	122°	-		
8	0°	-		
9	11°	-		
10	151°	1		
11	154°	1		
12	158°	1		
13	141°	-		
14	110°	2		
15	108°	2		
16	78°	-		
17	76°	-		
18	61°	3		
19	53°	3		
20	51°	3		
21	58°	3		
22	142°	4		
23	135°	4		

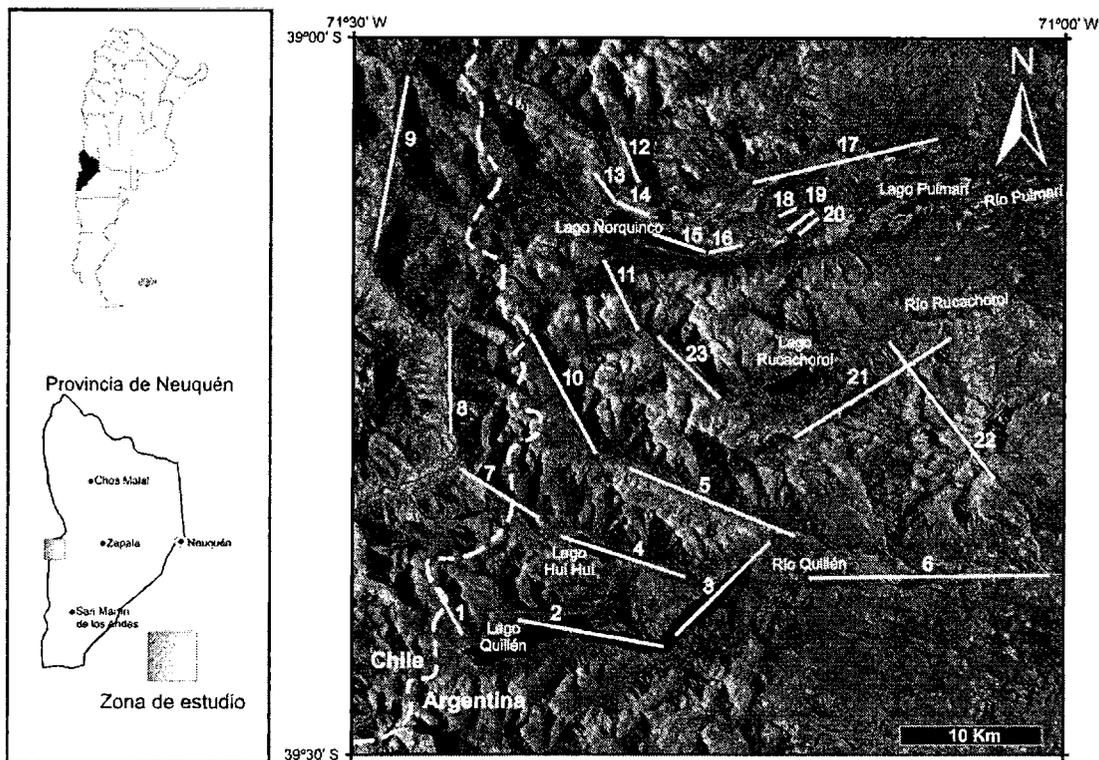


Figura 2. Imagen GeoCover™ utilizada superpuesta con el mapa de lineamientos obtenido.

Agradecimientos: Los autores quisieran agradecer especialmente a Lic. Daniel Yagupsky, Dr. Daniel Pérez, Lic. Sabrina Crosta y Lic. Víctor García por sus aportes desinteresados a las mejoras posteriores a la primera versión del presente trabajo. El dato SRTM3 V2 fue obtenido del sitio de la NASA por acceso vía FTP anónimo en <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm>. La imagen GeoCover™ también se obtuvo del sitio de la NASA en <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. El software utilizado para el manejo de los datos fue GRASS (herramienta libre para procesamiento SIG en LINUX) y fue descargado de su sitio web en <http://grass.itc.it/>

Las imágenes se pueden obtener gratuitamente en formato GeoTiff o en el formato comprimido MrSid™ en <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Los derechos de los mosaicos GeoCover™ corresponden a la Earth Satellite Corporation (<http://www.earthsat.com>), la

Agencia de Imágenes y Mapas de los Estados Unidos (NIMA) y la NASA.

REFERENCIAS

- Cucchi, R. y H.A. Leanza, 2005. Hoja geológica 3972-IV Junín de los Andes. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín N° 357. 102 pp.
- Folguera, A., D. Melnick, J. Radic, D. Iaffa and V. Ramos, 2002. 37° to 39°S intra-arc basin in the Southern Central Andes-Cenozoic activity of western Neuquén basin. 7th International Earth Sciences Congress. International Symposium "Interaction between volcanoes and their basements and related geological risks". Electronic File. Santiago de Chile.
- Folguera, A., V. Ramos y D. Melnick, 2003. Recurrencia en el desarrollo de cuencas de intraarco. Cordillera Neuquina (37°30'S). Revista

- de la Asociación Geológica Argentina 58(1): 3-19.
- García Morabito, E. y A. Folguera, 2005. El alto de Copahue – Pino Hachado y la Fosa de Loncopué: Un comportamiento tectónico episódico, Andes Neuquinos (37° - 39°S). Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(4): 742-761.
- Netler, M. and H. Mitasova, 2002. Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Kluwer Academic Publishers, Boston. 464 pp.
- Jordan, T., W. Burns, R. Veiga, F. Pángaro, P. Copeland, S. Kelley and C. Mpodozis, 2001. Extension and basin formation in the Southern Andes caused by increased convergence rate: A Mid-Cenozoic trigger for the Andes. Tectonics 20(3): 308-324.
- Rabus, B., M. Eineder, A. Roth and R. Bamler, 2003. The shuttle radar topography mission-a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 57(4): 241-262.
- Ramos, V. y J.M. Cortes, 1984. Estructura e interpretación tectónica. En Ramos, V. (1984) Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. Buenos Aires. 317-346.
- Rodríguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E.C. Chapin, J.M. Martin, W. Daffer and S. Hensley, 2005. An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp.
- Tunstall, C. y A. Folguera, 2005. Control estructural en el desarrollo de una concentración anómala de calderas en los Andes de Neuquen: Complejo volcánico Pino Hachado (38°30' S Y 71° O). Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(4): 731-741.