

## **ANÁLISIS GEOMORFOMÉTRICO DIGITAL DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN EL AREA DEL BARRIO SISMOGRÁFICA (COMODORO RIVADAVIA-CHUBUT)**

Carlos Gabriel ASATO  
Gabriela ZANOR  
Diego ROVERANO  
María Alejandra GONZALEZ

[gasat@secind.mecon.gov.ar](mailto:gasat@secind.mecon.gov.ar)  
Servicio Geológico Minero Argentino

### **RESUMEN**

A pedido de la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (SEGEMAR) y con el fin de evaluar los movimientos de ladera que se producen en el área del Barrio Sismográfica (Comodoro Rivadavia, prov. de Chubut), se realizó un modelo digital de terreno, mapas y modelos derivados a partir de datos fotogramétricos provistos por la provincia. La metodología empleada consistió en el desarrollo de técnicas de extracción de datos de elevación de las curvas de nivel previamente digitalizadas, selección de metodología de interpolación (IDW), y evaluación de los productos obtenidos. A partir del MDT se crearon un mapa sombreado para realizar interpretaciones morfológicas, mapas de exposición de laderas para evaluar la insolación, un mapa de pendientes para estudios topográficos y geo-ambientales. Se obtuvieron perfiles transversales y se estimó el volumen de material movilizado en la ladera utilizando una metodología basada en el análisis de tendencias de las superficies (trend surface analysis).

Los productos cartográficos así obtenidos permitieron interpretar la morfología del movimiento en los distintos sectores de la ladera. El mapa de pendientes resaltó la geometría de las cicatrices de arranque de material y la morfología del depósito. El mapa de exposición confirmó la presencia de bloques basculados que presentan una inclinación opuesta a la pendiente (N-NE-NW) y la realización de un análisis por consulta de laderas orientadas al sur cuantificó la superficie de menor insolación, y por lo tanto de mayor humedad.



## **ANÁLISIS GEOMORFOMÉTRICO DIGITAL DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN EL AREA DEL BARRIO SISMOGRÁFICA (COMODORO RIVADAVIA-CHUBUT)**

Carlos Gabriel ASATO  
Gabriela ZANOR  
Diego ROVERANO  
María Alejandra GONZALEZ

[gasat@secind.mecon.gov.ar](mailto:gasat@secind.mecon.gov.ar)  
Servicio Geológico Minero Argentino

### **RESUMEN**

A pedido de la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (SEGEMAR) y con el fin de evaluar los movimientos de ladera que se producen en el área del Barrio Sismográfica (Comodoro Rivadavia, prov. de Chubut), se realizó un modelo digital de terreno, mapas y modelos derivados a partir de datos fotogramétricos provistos por la provincia. La metodología empleada consistió en el desarrollo de técnicas de extracción de datos de elevación de las curvas de nivel previamente digitalizadas, selección de metodología de interpolación (IDW), y evaluación de los productos obtenidos. A partir del MDT se crearon un mapa sombreado para realizar interpretaciones morfológicas, mapas de exposición de laderas para evaluar la insolación, un mapa de pendientes para estudios topográficos y geo-ambientales. Se obtuvieron perfiles transversales y se estimó el volumen de material movilizado en la ladera utilizando una metodología basada en el análisis de tendencias de las superficies (trend surface analysis).

Los productos cartográficos así obtenidos permitieron interpretar la morfología del movimiento en los distintos sectores de la ladera. El mapa de pendientes resaltó la geometría de las cicatrices de arranque de material y la morfología del depósito. El mapa de exposición confirmó la presencia de bloques basculados que presentan una inclinación opuesta a la pendiente (N-NE-NW) y la realización de un análisis por consulta de laderas orientadas al sur cuantificó la superficie de menor insolación, y por lo tanto de mayor humedad.

### **INTRODUCCIÓN**

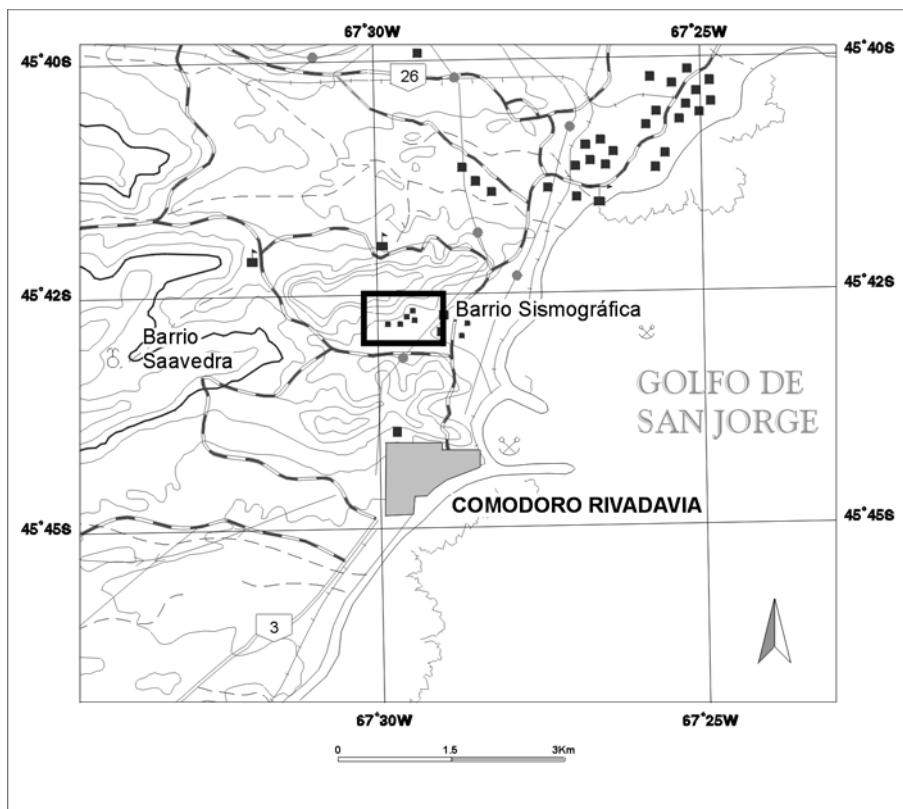
La denominación de procesos de movimientos de laderas, tal como lo define Varnes (1978), se aplica a todos los fenómenos que involucran el transporte de materiales rocosos pendiente abajo. Tal cual lo señala Fauqué y Tchilinguirian (2001), estos procesos tienen un impacto importante en la actividad humana dado que estos constituyen un factor de riesgo natural que puede afectar a la población.

Durante el año 2001, la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (DGAA, SEGEMAR), realizó estudios sobre los movimientos de remoción en masa que afectan al Barrio Sismográfica, (Gonzalez et al, 2002), en el contexto de un convenio firmado entre la municipalidad de Comodoro Rivadavia y el SEGEMAR. Estos estudios tuvieron como fin identificar y definir los procesos geológicos actuantes en la ladera sur del Cerro Hermitte, lograr la zonificación de dichos procesos, estudiar los factores condicionantes y desencadenantes de los mismos y proceder a realizar el análisis de la peligrosidad geológica existente en el área.

La importancia de estos estudios se debe a que los movimientos de ladera constituyen el principal proceso geológico presente en el Barrio Sismográfica y alrededores, debido al gran volumen de material involucrado y a la peligrosidad geológica que causan,

más específicamente, a los daños actuales y potenciales que se pueden producir sobre las viviendas y elementos de infraestructura urbana ( Gonzalez et al, 2002).

En este contexto, en la Unidad de Sensores Remotos y SIG (USRySIG, SEGEMAR), se realizaron una serie de análisis utilizando herramientas de análisis espacial a fin de proveer a los investigadores de la DGAA de mapas y elementos auxiliares para el estudio de los procesos de remoción en masa actuantes en la zona (Zanor, 2002).



**Figura 1: Area de Estudio**

Los elementos y mapas desarrollados fueron realizados básicamente a partir de la construcción y análisis de un modelo digital de terreno del área. De esta manera se generaron datos tales como: mapas de pendientes, mapas de áreas de menor insolación, realce morfoestructural de la topografía del área, construcción de perfiles transversales, cálculo del área afectada, volumen del material movilizado, y mapa isopáquico o de espesores.

#### **AREA DE ESTUDIO**

El barrio Sismográfica se encuentra ubicado aproximadamente a 3 km al norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia, Departamento de Escalante, provincia de Chubut (fig. 1).

El área del barrio abarca aproximadamente una superficie de 11 hectáreas, con el eje mayor en dirección Este - Oeste. Hacia el sur está limitado por el campo de golf Santa

Lucía, la cancha de fútbol de Talleres Junior y el barrio Paso. Hacia el norte se encuentra limitado por el cerro Hermitte.

El barrio se encuentra ubicado sobre un depósito de remoción en masa que tiene su origen en el deslizamiento de material de las laderas del cerro Hermitte (Gonzalez et al 2002).

Desde el punto de vista histórico, el barrio se estableció en la década del '50, para albergar a los obreros que trabajaron en los estudios sísmicos realizados en la cuenca petrolera del golfo San Jorge. En sus comienzos, lo poblaron unos pocos habitantes que trabajaban en los talleres que allí se instalaron. Luego, durante las décadas de los 80 y 90 tuvo una gran expansión, pasando de 25 familias a aproximadamente 130 en la actualidad (Roverano, 2002).

Los antecedentes que describen los movimientos en el área pueden ser consultados en Windhausen (1925), Fossa mancini (1935), Feruglio (1950), Hirtz (Hirtz, et al. 1989 y 1994) y Gonzalez et al (2002).

#### **DATOS Y MATERIALES DE TRABAJO**

Para la realización de los análisis geográficos y productos cartográficos se utilizó una computadora con sistema operativo Windows NT versión 4, con los siguientes programas: el SIG Arc-Info versión 8, ArcView v 3.2 a más la extensión Spatial Analyst, módulo especial para el manejo y procesamiento de información raster.

La información utilizada para los estudios fue provista por la Dirección de Catastro e Información Territorial (Rawson, prov. de Chubut), en formato vectorial shapefile (ESRI), con proyección Gauss-Kruger WGS84.

Los datos provistos consisten en datos altimétricos a escala 1:20.000, realizados a partir de relevamientos aerofotogramétricos con curvas de nivel con una equidistancia de 1m y puntos acotados, contándose además con información vectorial del trazado urbano.

#### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El diseño de la rutina de trabajo se basó en la construcción y el análisis del modelo digital de elevación del área e información derivada. Para ello se diseñaron rutinas de extracción de información de elevación de curvas de nivel previamente digitalizadas, se definió la metodología de interpolación, se crearon mapas derivados, se obtuvieron perfiles y se calculó el volumen del material deslizado.

#### **GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN**

Los modelos digitales de elevación (MDE) son estructuras digitales de datos que representan la variación del relieve en el espacio geográfico (Burroughs, 1986). El uso y análisis de esta estructura de datos geográficos en particular, es de probada eficacia en el análisis numérico del relieve topográfico (geomorfometría). El impacto del análisis de MDE mediante SIG, se extiende a campos diversos como las ciencias ambientales, el estudio y evaluación de riesgos naturales, etc., tal como lo han señalado diversos autores (Borroughs, 1986; Evans, 1980).

Si bien existen varios sistemas para modelar el relieve topográfico (Mc Cullag, 1988), en este caso en particular se trabajó con MDE basados en estructuras de datos raster o de matriz regulares de altitud, estructura de datos de elevación sencilla y clásica en los SIG.

Para la realización del MDE se siguieron los siguientes pasos:

1. Evaluación de los datos digitales originales
2. Extracción de información de elevación de los datos vectoriales (rutina de conversión de datos)
3. Definición del algoritmo de interpolación y sus parámetros
4. Creación del archivo MDE y visualización
5. Evaluación del MDE

#### Evaluación de los datos digitales

Esta etapa engloba a todos los procedimientos de normalización de la información, detección de errores en la digitalización o entrada de datos, así mismo la comprobación de la proyección, calidad de la digitalización y valoración de la información. Si bien no se contó con la documentación metafile para constatar la calidad de los datos digitales, la valoración del método de relevamiento topográfico (levantamiento fotogramétrico), la comparación de la información con fotografías aéreas, imágenes satelitales y observaciones de campo permitieron afirmar que los datos son de calidad y adecuados para el análisis geomorfométrico.

#### Extracción de información de elevación de datos vectoriales

Dado que Arc-View/Spatial Analyst genera los MDE a partir de coberturas de puntos, fue necesario desarrollar una rutina de extracción de vértices de los arcos que forman las curvas de nivel. El proceso consistió básicamente en la conversión de los vértices de las curvas a puntos de elevación. Para evitar el problema de redundancia de datos, se filtró la información realizando un muestreo de puntos cada cinco metros, tomándose a lo largo de cada una de las curvas. Como resultado se obtuvo una cobertura de puntos con una buena cobertura areal del barrio, con suficiente densidad de puntos como para proceder a la interpolación.

### DEFINICIÓN DEL ALGORITMO DE INTERPOLACIÓN Y SUS PARÁMETROS

La interpolación de los datos fue realizada utilizando el método de interpolación local denominado inversa distancia (Inverse Distance Weighted, IDW). Este algoritmo de interpolación asume que cada punto de entrada tiene una influencia local, de modo tal que la influencia de cada punto va decreciendo, en función de una ley, a medida que aumenta la distancia (Mc Cullag, 1988). El parámetro peso, es el factor que regula el cambio de influencia con respecto a la distancia, y en este caso en particular se lo fijó a 1.

El MDE generado en estas condiciones, fue examinado en forma visual y numérica. Los artefactos típicos de este método de interpolación (crestas y valles, en el sentido de Mc Cullag, 1988), se detectaron solamente en las áreas más llanas, anomalías que no impidieron utilizar el MDE para procesos posteriores.

### MAPAS DERIVADOS DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Los mapas derivados del modelo digital, se generaron para contar con información auxiliar que permitiera caracterizar y detectar rasgos topográficos y controles del deslizamiento.

Se generó un mapa de pendientes, el cual fue reclasificado siguiendo el criterio de clasificación de pendientes de Derek (1972) y Marsh (1979):

Pendiente (grados)	Tipo
0 – 5	Pendiente suave
5 – 10	Pendiente moderada
10 – 15	Pendiente fuerte

15 – 25	Pendiente bastante fuerte
25 – 90	Pendiente muy fuerte

Con el fin de realizar la morfología del terreno y detectar estructuras se realizaron mapas de exposición de laderas (aspect), y modelos sombreados (hillshading) con distintas orientaciones de iluminación y elevación.

Los mapas de realce topográfico o modelos topográficos sombreados fueron generados utilizando un programa de hillshading de tipo analítico, que se caracteriza por producir sombreados que solo oscurecen las laderas no iluminadas y por lo tanto no proyectan las sombras por sobre las morfologías vecinas. Este tipo de producto permite detectar pequeñas variaciones en la morfología del terreno, variando parámetros como dirección y elevación de la fuente de iluminación.

El cálculo de mapas de aspectos generó un mapa correcto, salvo en las áreas de pendiente baja, donde los artefactos producidos por el método de interpolación y las pequeñas irregularidades del terreno dieron como resultado un área con información confusa. Si se tiene en cuenta que para las áreas de poca pendiente no tiene mucho sentido definir la exposición de las laderas, a fines prácticos, se concluye que estas áreas deben ser tratadas y clasificadas con otros criterios deferentes que el cálculo de la derivada horizontal. El procedimiento de reclasificación se realizó generando una máscara a partir del MDE de pendientes, la cual se utilizó para seleccionar las áreas de pendiente suave en el mapa de exposición y clasificarlas como áreas de exposición cenital.

Un producto derivado del MDE de exposición de laderas, es el mapa de áreas de menor insolación o mayor humedad. Este mapa se generó detectando y reclasificando el MDE de exposición de laderas.

#### CALCULO DE VOLUMEN DEL MATERIAL MOVILIZADO

El cálculo de volumen de material movilizado por el deslizamiento se realizó por medio de un procedimiento de integración numérica ( cálculo de espesores ) entre el med del techo del deslizamiento y el med de la base del mismo, utilizando las siguientes fórmulas:

$$[\text{Mapa isopáquico}] = (\text{techo} - \text{base})$$

$$\text{Volumen} = \text{sup} * \sum [\text{Mapa isopáquico}]_{ij}$$

Donde:

techo	MDE del techo del deslizamiento
base	MDE de la base del deslizamiento
[Mapa isopáquico]	MDE correspondiente al mapa de espesores
sup	superficie de la celda ( 25 m <sup>2</sup> )
Volumen	volumen del deslizamiento expresado en m <sup>3</sup>

El MDE del techo del deslizamiento fue extraído mediante una máscara con los límites del mismo aplicado al MDE de relieve topográfico.

Para realizar el MDE de la base, se reconstruyó la base de los deslizamientos siguiendo un criterio de análisis por tendencias de superficies. Básicamente, por análisis de tendencias de una superficie se conocen a los métodos matemáticos para separar los datos de un mapa en dos componentes (Davis, 1986). Una componente regional, es decir la predominante en el área, y otra componente local o anómala, entendida esta última como una desviación con respecto a la generalidad.

En el contexto de este análisis, el depósito de materiales producido por el deslizamiento puede ser entendido como una anomalía topográfica que altera la pendiente regional del área y el perfil del talud del Cerro Hermitte. Teniendo en cuenta este criterio, se

trazaron varios perfiles transversales al depósito de remoción en masa y se reconstruyó, en base a la pendiente regional y el perfil normal del talud, la base del movimiento.

A partir de estos datos se extrajeron puntos de elevación y se interpolaron los datos para generar el MDE de la base del depósito.

Si bien este método matemático no es el ideal para definir el perfil del depósito, hasta el momento no existen mejores datos, como los sísmicos o de pozo, que permitan determinar la verdadera forma del deslizamiento.

Como se explicó en la fórmula anterior, la diferencia entre el MDE del techo y la base, produjo un mapa de espesores. De la integración de todos sus elementos se obtiene como resultado el volumen estimado de 20.500.000 m<sup>3</sup> de material movilizado.

### **EVALUACIÓN DE LOS MODELOS OBTENIDOS**

Los productos cartográficos así obtenidos permitieron interpretar la morfología del movimiento en los distintos sectores de la ladera. El mapa de pendientes resaltó la geometría de las cicatrices de arranque de material y la morfología del depósito. El mapa de exposición confirmó la presencia de bloques basculados que presentan una inclinación opuesta a la pendiente (N-NE-NW), y el análisis por consulta realizada de laderas orientadas al sur, cuantificó la superficie de menor insolación y por lo tanto de mayor humedad.

### **CONCLUSIONES**

El modelo de sombras, realizado a partir del MDE, fue adecuado para realizar una interpretación morfológica del deslizamiento en distintos sectores de la ladera.

El mapa de exposición confirmó la presencia de bloques basculados que presentan una inclinación opuesta a la pendiente (N-NE-NW)

La metodología de detección de áreas de menor insolación por medio del mapa de aspectos, demostró ser una técnica adecuada para los estudios de remoción en masa, de modo que se pudo cuantificar la superficie de menor insolación (laderas mirando al sur) y por lo tanto de mayor humedad.

Mediante la integración numérica del MDE se pudo calcular el volumen del material desplazado por los procesos de remoción en masa que afectan el área. Este modelo matemático, realizado aplicando criterios de extracción de datos a partir de detección de anomalías locales con análisis de tendencias, dio como resultado un volumen de 20.500.000 m<sup>3</sup> de material deslizado.

El error de estimación del volumen de material, según la metodología empleada, está fundamentalmente controlado por la imprecisión del modelo de detección anomalías topográficas, modelo que se basa en la estimación de la tendencia de la superficie regional y el perfil normal del Cerro Hermitte. La estimación del volumen del deslizamiento podrá ser mejorada a futuro por medio de la realización de perfiles transversales de detalle que definan el perfil real, utilizando para ello información sísmica o de pozo.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradece al SEGEMAR la lectura y el permiso para publicar este trabajo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Burrough, A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Claredon Press – Oxford.
- Davis, J.C., 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. 2da ed. John Wiley & Sons, 1986. Singapore.
- Derek, K.J., 1972 Manual of Detailde geomorphological Mapping. Academia Praga 368 pp.
- Evans, I.S. 1980. An integrated System of Terrain Analysis and Slope Mapping. Zeitschrift fur Geomorphologie Suppl. 36, 274-295.
- Fauque, L.E. Y Thilinguierian, P. 2001. Villavil Rockslides, Catamarca Province, Argentina. Catastrophic Landslides, S.G. Evans and J.V. de Graff, Ed. Geological Society of America Review in Engineering Geology, v14.
- Feruglio, E. 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Vol. II:238-239.
- Fosa Mancini, E. 1965. Las fallas de Comodoro Rivadavia en los Estratos Petrolíferos y en los Afloramientos. BIP XII 136:65-95.
- Gonzalez, M.A., D. Roverano y L. Fauque, 2002. Estudio de Peligrosidad Geológica en el Barrio Sismográfica, Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut. Serie de Contribuciones Técnicas, Peligrosidad Geológica nro. 4. Servicio Geológico Minero Argentino, Ed. Mayo de 2002.
- Hirtz, N. H. Prez, J.C. Rodríguez, 1994. Estudio de estabilidad en el Sector Barrio Sismográfico de Comodoro Rivadavia. Actas de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería. Vol VII:46-57.
- Marsh, W.M., 1978. Environmental Analysis for Land Use and Site Planning. Mc Graw-Hill, New York.
- Mc Cullag, H.J., 1988. Terrain and Surface Modeling Systems: Theory and Practice. Photogrammetric Record, Octubre 1988.
- Roverano D., M.A. Gonzalez y L.E. Fauque, 2002. Crecimiento Poblacional en una Zona no Apta para el Asentamiento Urbano. Caso Bo. Sismográfica, Comodoro Rivadavia, Chubut Argentina. Simposio Internacional de geología Ambiental para Planificación del Uso del Territorio, Pto. Varas, Chile. Noviembre 2002.
- Varnes, D.J., 1978. Slope Movements Types and Processes. Transportation Research Board. National Academy. National Research Council. Special Report 176 (11-33)
- Windhausen, A. 1925. Líneas generales de la Constitución Geológica de la región Situada al Oeste del Golfo de San Jorge. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Tomo 27, p.256.
- Zanor, G.A. 2002. Tecnología MED en la Evaluación de Movimiento de Ladera en el Area del Barrio Sismografica (Comodoro Rivadavia –Chubut). Sistema de Formación de Jóvenes Técnicos y Profesionales, Convocatoria 2001, Informe de Beca de Iniciación (Inédito), SEGEMAR.

**Carlos Gabriel ASATO**

Licenciado en Ciencias Geológicas (FCEN-UBA). Se especializó en sensores remotos y sistemas de información geográfica en el INPE-Brasil. Participó de proyectos internacionales en estos temas en AGSO-Australia, CGS-Canadá y MMAJ-Japón. Desde 1994, desarrolla tareas en el SEGEMAR como administrador del SIG, especializándose en sistemas institucionales, desarrollo de normas, investigación, desarrollo e integración de datos.

**Gabriela ZANOR**

Geóloga egresada de la Universidad Nacional de Córdoba. Finalizó la beca de Formación de Jóvenes Profesionales y Técnicos del SEGEMAR, en SIG. Actualmente desarrolla su trabajo de doctorado en la UNC con una beca de CONICET.

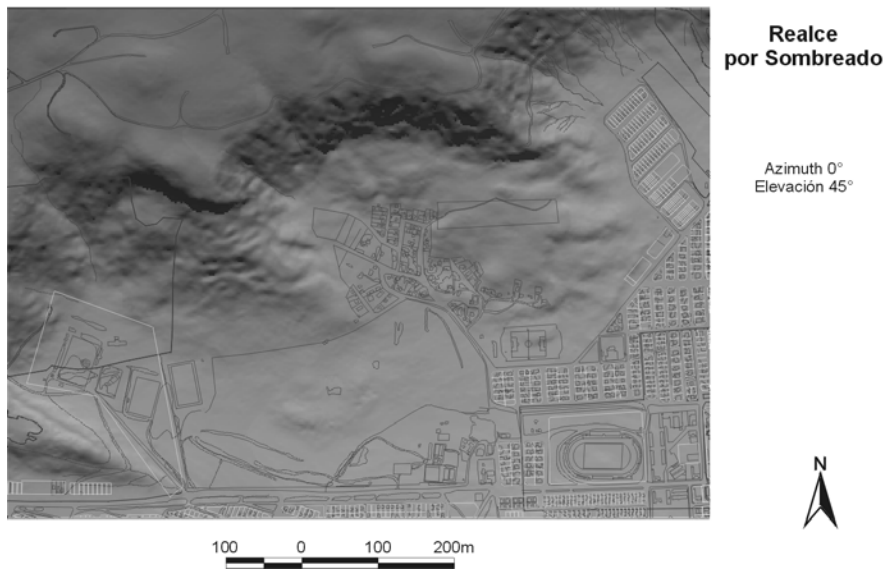
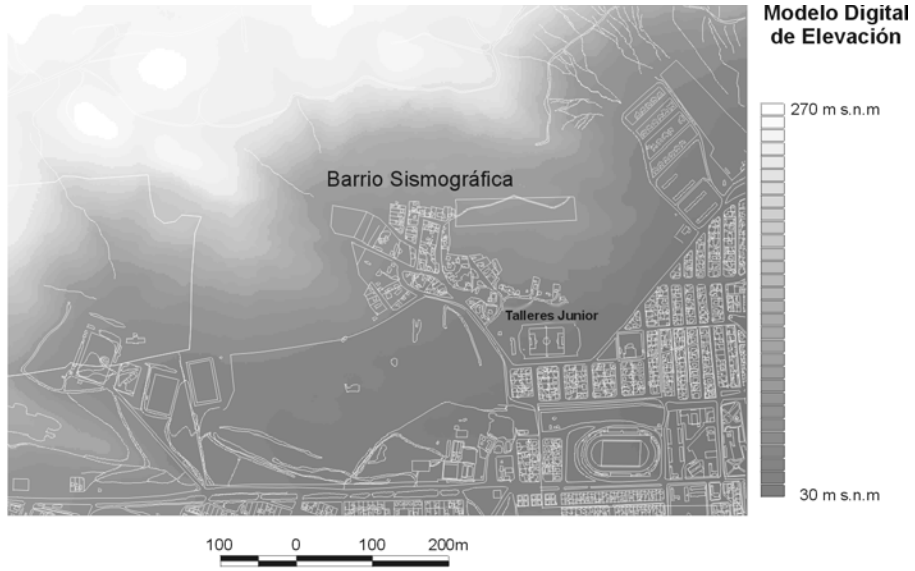
**Diego ROVERANO**

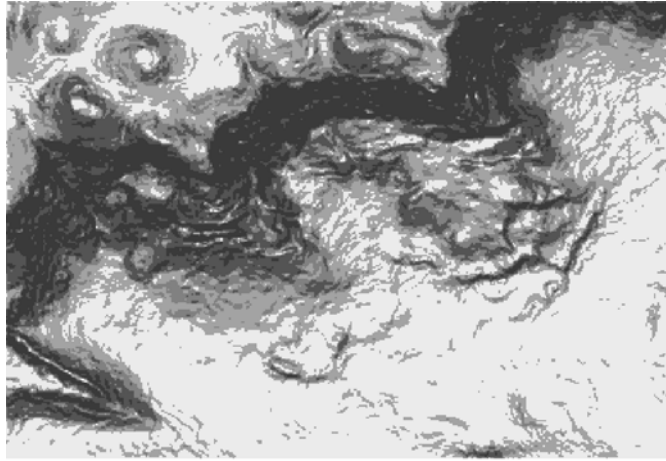
Licenciado en Geología (UNLP), Finalizó la beca de Formación de Jóvenes Profesionales y Técnicos del SEGEMAR, y actualmente desarrolla trabajos de medio ambiente y peligrosidad geológica en el SEGEMAR.

**María Alejandra GONZALEZ**






Licenciada en Ciencias Geológicas (FCEN-UBA) especialista en estabilidad de taludes y peligrosidad geológica. Desarrolla tareas de mapeo geológico y de peligrosidad geológica en el Servicio Geológico Minero Argentino.

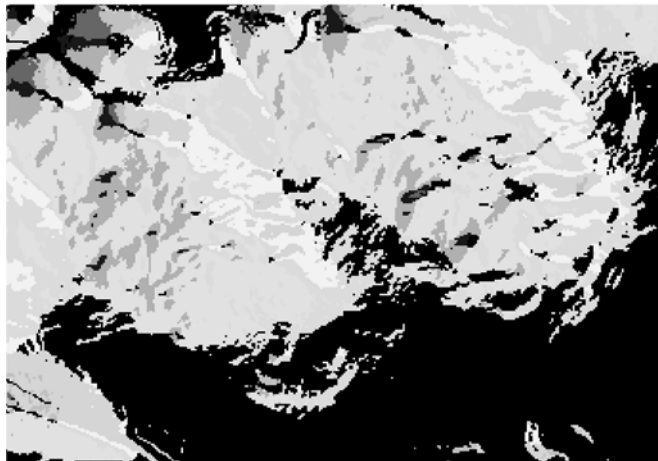






Mapa de Pendientes

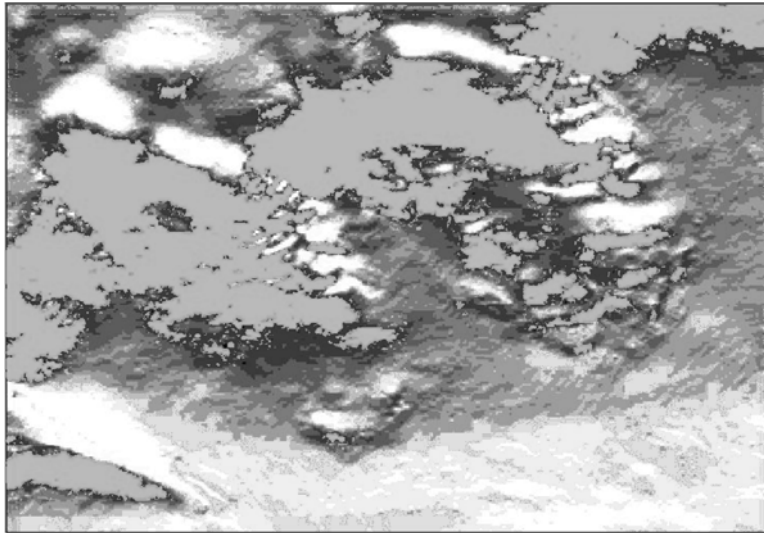
-  Pendiente Suave
-  Pendiente Moderada
-  Pendiente Fuerte
-  Pendiente Bastante Fuerte
-  Pendiente Muy Fuerte



Mapa de Exposición de Laderas

-  Norte
-  Noreste
-  Este
-  Sureste
-  Sur
-  Suroeste
-  Oeste
-  Noroeste
-  Cenit

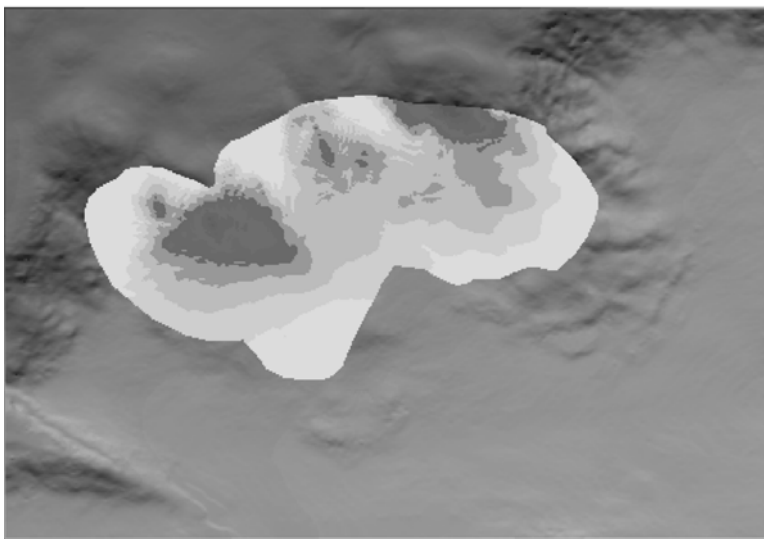













**Mapa de Areas No Insoladas**

Baja Insolación  


100 0 100 200m  

**Mapa de Espesores**

 0-12  
 12-24  
 24-35  
 35-47  
 47-60  
 60-74  
 74-83  
 83-95  
 95-106

100 0 100 200m  