

La meteorización de los granitoides de Les Guilleries y su tratamiento en el mapa geológico de los procesos activos y recientes y de la actividad antrópica de Cataluña a escala 1:25 000 (mapa geoantrópico)

Mapping granite weathering in the geological map of active and recent processes and anthropogenic activity of Catalonia at 1:25.000 scale (geoAntrropic map). An example from the Guilleries granitic massif

M. J. Micheo¹, L. Culí², R. Carles³, E. Pi⁴, J. Picart⁵, J. Cirés⁶ y I. Herms⁷

¹ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, E-08038 Barcelona. fus.micheo@icgc.cat

² Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, 04510. México DF, México. lculi@geologia.unam.mx

³ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, E-08038 Barcelona. rosa.carles@icgc.cat

⁴ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, E-08038 Barcelona. eulalia.pi@icgc.cat

⁵ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, E-08038 Barcelona. joan.picart@icgc.cat

⁶ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, E-08038 Barcelona. jordi.cires@icgc.cat

⁷ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, E-08038 Barcelona. ignasi.herms@icgc.cat

Resumen: El macizo de les Guilleries, situado en el extremo noreste de la Cordillera Prelitoral, en la provincia de Girona, está constituido mayoritariamente por rocas graníticas de edad paleozoica, que raramente se presentan inalteradas. Los diferentes grados de meteorización de estas rocas se representan en el mapa geoantrópico de Cataluña como un proceso reciente que afecta de forma generalizada a todo el macizo. El proceso de meteorización se muestra en el mapa geoantrópico como un proceso no funcional, ya que las potencias observadas son propias de un clima tropical húmedo, diferente del actual. El material que constituye los mantos de alteración es el 'sauló', término usado comúnmente en las Cordilleras Costeras Catalanas para designar el *grus* o lehm granítico. En el mapa geoantrópico se definen tres grados de meteorización, basados en la escala de la *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1981). Se diferencia entre rocas ligeramente meteorizadas (equivalente a los grados I y II del ISRM), rocas moderadamente meteorizadas (equivalente al grado III y IV del ISRM) y rocas completamente meteorizadas (equivalente al grado V y VI del ISRM). Para abordar la meteorización de los granitoides en el macizo de les Guilleries, se establecieron unas áreas de trabajo correspondientes a las hojas a escala 1:25 000 de Viladrau, Sant Julià de Vilatorrada y Sant Hilari Sacalm, con una extensión total de 383 km². La cartografía de grados de alteración se ha elaborado a partir de la consecución de cuatro fases: (1) Trabajo de campo con la toma de datos de alteración del manto granítico en 8.583 puntos de observación, (2) Análisis exploratorio de los datos obtenidos; (3) Estudio de los modelos de interpolación y (4) Implementación de resultados en el mapa geoantrópico.

Palabras clave: Guilleries, granitoides, interpolación, mapa geoantrópico, meteorización.

Abstract: *The Guilleries massif, located in the northern part of the Catalan Coastal Ranges, in the Girona province, is mostly made of several types of Paleozoic granitic rocks, which often oc-*

cur from moderate to strongly weathered. Different weathering grades of these rocks have been mapped at 1:25.000 scale in the Geoanthropic Map. In these map series, weathering is shown as a non-functional process, because granitic saprolites developed in a past humid tropical climate, different from today. The material which constitutes the weathering mantles is the 'sauló', a term commonly used in Catalonia to design the grus saprolites. Based on the scale of the International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981) three grades of weathering are defined in the Geoanthropic Map: slightly weathered rocks (equivalent to grades I and II of ISRM), moderately weathered rocks (equivalent to grade III and IV of ISRM) and completely weathered rocks (equivalent to grade V and VI of the ISRM). Mapping grades of weathering has been made in four steps: (1) Field work with weathering data collection of granitic mantle in 8.583 observation points, (2) Exploratory analysis of obtained data, (3) Study of interpolation models and (4) results implementation in Geoanthropic Map.

Key words: *guilleries, granitoids, intepolation, geoanthropic map, weathering.*

INTRODUCCIÓN

El mapa geológico de los procesos activos y recientes y de la actividad antrópica 1:25 000 (geoantrópico) elaborado por el *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC), es un documento cartográfico de contenido geomático aplicado en el que se representa, el estado actual de la constitución física del territorio, resultante de la acción antrópica sobre el medio geológico y los condicionantes geológicos para la actividad humana. El mapa geoantrópico incluye elementos propios de un mapa geomorfológico, al mismo tiempo que, realiza un inventario de los procesos geológicos naturales y de las intervenciones artificiales en el medio geológico. Clasifica los procesos naturales en función de su actividad y su génesis y los ordena según las áreas de generación de los materiales involucrados, los mecanismos de transporte, las áreas de deposición y las características y propiedades geológicas de los depósitos. De igual manera, clasifica los elementos y los depósitos artificiales en función de las actividades que los han generado.

En los mapas geológicos de rocas ígneas, el objetivo principal es mostrar las caracte-

rísticas petrológicas de los distintos tipos de rocas que afloran en superficie, sin entrar en la mayoría de los casos en el estudio de la determinación del grado de meteorización de la roca de las zonas aflorantes. Para la elaboración del mapa Geoantrópico en zonas con rocas ígneas, se ha implementado la ejecución de campañas de campo de recogida de datos con el objeto de caracterizar los distintos grados de alteración de las rocas aflorantes.

AMBITO DEL ESTUDIO Y CONTEXTO GEOLÓGICO

Este trabajo expone la metodología y los resultados obtenidos de la elaboración de la cartografía de mantos de alteración en el ámbito geográfico del macizo de las Guilleries (Girona).

Las rocas ígneas objeto de estudio forman parte de los grandes batolitos emplazados a finales de la orogenia Varisca, aproximadamente desde el Pensilvaniense al Pérmico. En Cataluña, estas rocas afloran en los Pirineos y en las Cordilleras Costero Catalanas. El área de trabajo se centra en el batolito del Mont-

seny-Guilleries, constituido por diferentes tipos de rocas plutónicas e hipoabisales relacionadas genéticamente (Fig. 1). Las rocas plutónicas están intruidas por multitud de rocas hipoabisales que forman parte del mismo episodio magmático (Soler *et al.*, 2011; Durán, 1985; Viladevall, 1978; Culi, 2013a y 2013b).

La edad y la génesis de los mantos de alteración están relacionadas, en su mayor parte, a períodos cálidos del Neógeno y del Cuaternario.



FIGURA 1. Mapa de la cartografía geológica de la zona de estudio, con el límite de las tres hojas a escala 1:25.000 objeto de estudio

METODOLOGÍA

- Los trabajos se realizaron a lo largo de tres años (2012, 2013 y 2014) y se distribuyeron en cuatro fases:

Fase 01. Captura de datos de campo. En las observaciones se han utilizado los valores de referencia establecidos en la escala de la *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1981) que distingue seis grados de meteorización (Fig. 2). Se realizaron un total de 8.583 observaciones de campo (Fig. 3) entre las hojas 1.25 000 de Sant Julià de Vilatorrada, Viladrau y Sant Hilari de Sacalm, de los cuales un total de 2.817 observaciones corresponden a la hoja de Viladrau.

Grado de meteorización	Roca ígnea (e.g. roca volc.)	Roca ígnea (e.g. granito)	Descripción del material
Suave residual (VI)	[Diagrama de roca ígnea suave residual]	[Diagrama de roca ígnea suave residual]	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo residual. Se ha destruido la estructura original del macizo y la litología del material.
Completamente meteorizada (V)	[Diagrama de roca ígnea completamente meteorizada]	[Diagrama de roca ígnea completamente meteorizada]	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
Altamente meteorizada (IV)	[Diagrama de roca ígnea altamente meteorizada]	[Diagrama de roca ígnea altamente meteorizada]	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o disociada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
Moderadamente meteorizada (III)	[Diagrama de roca ígnea moderadamente meteorizada]	[Diagrama de roca ígnea moderadamente meteorizada]	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o disociada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
Ligeramente meteorizada (II)	[Diagrama de roca ígnea ligeramente meteorizada]	[Diagrama de roca ígnea ligeramente meteorizada]	La decoración indica alteración del material suaves y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decorado por meteorización.
Roca fresca (I)	[Diagrama de roca ígnea fresca]	[Diagrama de roca ígnea fresca]	No aparecen signos de meteorización. Sólo se observa una decoración ligera en las principales superficies de discontinuidad.

FIGURA 2. Descripción del grado de meteorización de la roca según la ISRM (1981)

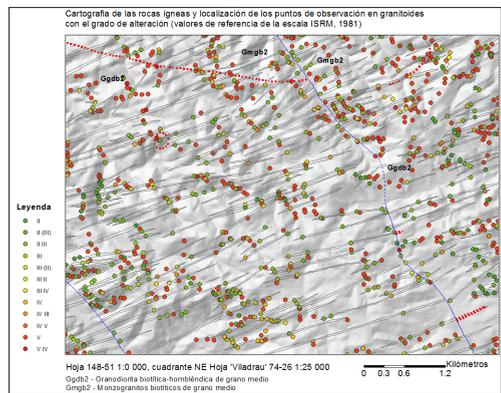


FIGURA 3. Cuadrante NE de la hoja 1:25 000 de Viladrau. Se observa la localización de los puntos

- Fase 02: Análisis exploratorio de datos y depuración:** El trabajo ha consistido en realizar un estudio de la distribución de datos, determinar los estadísticos básicos, analizar la autocorrelación de los datos y calcular el semivariograma experimental.
- Fase 03: Evaluación de los modelos de interpolación de datos y resultados. Elección del modelo de interpolación espacial final.** Se han aplicado técnicas determinísticas (método IDW *Inverse Distance Weighting*) y geoestadística (kriging simple) de regionalización de los datos. En la Fig. 4, se presenta el modelo obtenido con el método IDW en el cuadrante NE de la hoja de Viladrau.

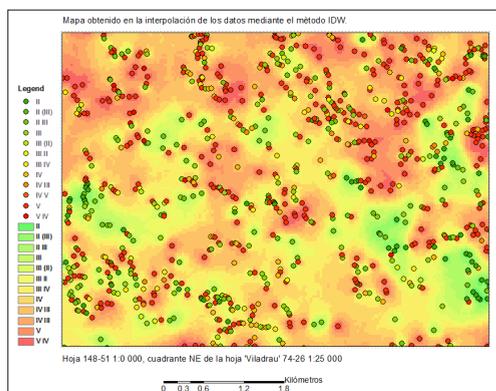


FIGURA 4. Cuadrante NE de la hoja 1:25 000 de Viladrau. Modelo de interpolación de datos obtenido mediante IDW

Los resultados obtenidos se evalúan mediante la aplicación de métodos de validación cruzada (*cross-validation*), y se estima el error cuadrático medio de los modelos obtenidos (RMSE).

- Fase 04. Implementación de resultados de la interpolación al mapa geoantrópico.** A partir de los valores obtenidos con la interpolación, se ha efectuado un análisis de los resultados que ha finalizado con la delimitación de los contornos de separación de las diferentes y principales áreas de meteorización. Para expresar los resultados, los valores de meteorización obtenidos del trabajo de campo (1 – 7) se correlacionan con las tres clases establecidas en el mapa geoantrópico: ligeramente meteorizado moderadamente meteorizado y completamente meteorizado (Fig. 5).

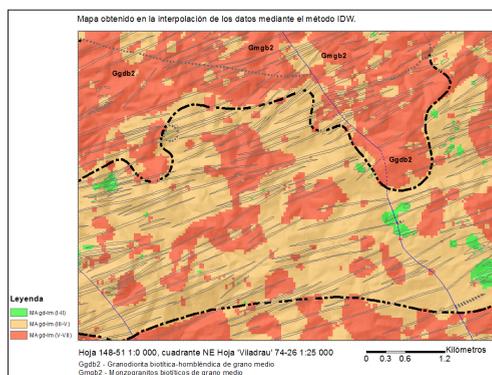


FIGURA 5. Interpolación de los datos depurados con los tres rangos de expresión del mapa Geoantrópico para la hoja de Viladrau (74-26, 332-2-2). Las líneas negras gruesas corresponden a los límites de las zonas con diferentes grados de meteorización. Ejemplo de la hoja de Viladrau (74-26, 332-2-2)

RESULTADOS

En el mapa Geoantrópico, los mantos de alteración se representan en el mapa principal y se clasifican según el grado de meteorización de la roca ígnea a la que afectan (Fig. 6).

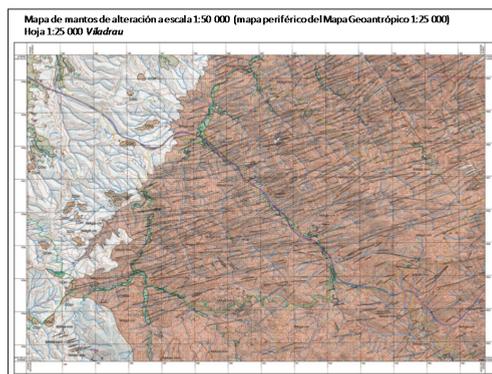


FIGURA 6. Mapa periférico del mapa geoantrópico de Catalunya a escala 1:50 000 de la hoja de Viladrau (74-26, 332-2-2) donde se representan los diferentes grados de alteración de las rocas graníticas

APLICACIONES DE LA CARTOGRAFÍA DE MANTOS DE ALTERACIÓN

La cartografía de los mantos de alteración ofrece aplicaciones en el campo de la hidrogeología, ya que establece una relación directa con la presencia de acuíferos superficiales. También es útil en la *planificación* territorial y en la ejecución de infraestructuras, debido

a que las propiedades geomecánicas del “*sauló* o *grus*” difieren en gran medida de las de la roca granítica original (Aristizábal, *et al.* 2011; Gonzalez, 2002). Además, el estudio de los mantos de alteración de rocas graníticas puede aportar datos sobre cómo reducir la cantidad de gases invernadero en la atmósfera, ya que en su formación han actuado como sumideros naturales de CO₂.



FIGURA 7. Imágenes de dos afloramientos de les Guillerries, donde se observan los diques de leucogranitos aplíticos de grano fino inalterados, mientras que la gran masa de granodiorita biotítica hornbléndica se observa completamente meteorizada

REFERENCIAS

- Aristizábal, E., Valencia, Y., Guerra, A., Vélez, M., y Echeverri, O. 2011. Caracterización geotécnica de perfiles de meteorización desarrollados sobre rocas ígneas en ambientes tropicales. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Número 30, 93-106.
- Culí, L. 2013a. *Cartografia dels granitoides i dels metasediments paleozoics dels fulls a escala 1:25.000 de Sant Julià de Vilatorrada (74-25, 332-2-1) i Viladrau (74-26, 332-2-2)*. Informe inédito. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), 122 p.
- Culí, L. 2013b. *Treballs de cartografia geològica dels granitoides i dels metasediments paleozoics del full a escala 1:25.000 de Sant Hilari Sacalm (75-26, 333-1-2)*. Informe inédito. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), 65 p.
- Durán, H. 1985. *El Paleozoico de les Guillerries*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, 1-24.
- Gonzalez, L. 2002. Meteorización de los materiales rocosos. En: *Ingeniería Geológica*, 134-139.
- Soler, D., Pallí, Ll. y Brusi, D. 2013. *Geologia de les Guillerries i el Collsacabra: 4 itineraris pel sector gironí*. Universitat de Girona, Geodinàmica externa, 148 p.
- Viladevall, M. 1978. *Estudio petrológico y estructural de las rocas metamórficas y graníticas del sector nord-oriental del macizo del Montseny-Guillerries*. Resumen Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 1-12.