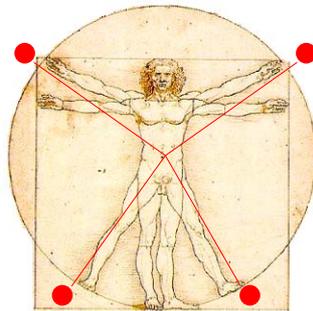


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XII. AÑO 2014

SEPARATA



IDENTIFICACIÓN DE FASES EROSIVAS EN LA PEDRIZA DE MANZANARES A PARTIR DE FORMAS DE ALTERACIÓN EXPUESTAS

Manuel García-Rodríguez y Juan D. Centeno



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Manuel García Rodríguez y Juan D. Centeno
Mayo, 2014.

<http://www.uax.es/publicacion/identificacion-de-fases-erosivas-en-la-pedriz-de-manzanares-a-partir-de.pdf>

© De la edición: Revista Tecnológ@ y desarrollo
Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

IDENTIFICACIÓN DE FASES EROSIVAS EN LA PEDRIZA DE MANZANARES A PARTIR DE FORMAS DE ALTERACIÓN EXPUESTAS

Manuel García-Rodríguez ⁽¹⁾ y Juan D. Centeno ⁽²⁾

(1) Dpto. Ciencias Analíticas, Fac. de Ciencias UNED. Paseo Senda del Rey 9. C.P. 28040. Madrid
E-mail: manu.garo@ccia.uned.es; (2) Dpto. Geodinámica, Fac. CC. Geológicas, UCM, 28040 Madrid.
E-mail: juande@ucm.es

RESUMEN

La Pedriza de Manzanares representa una parte importante del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Está formada por granitos que intruyeron durante la Orogenia Varisca y alcanzaron su posición actual durante la Orogenia Alpina. La Pedriza es bien conocida por un paisaje de formas graníticas características, que desde antiguo han sido un reclamo por parte de turistas, naturalistas, educadores y escaladores de roca. Estos granitos definen un paisaje formado por alternancia de regolito y afloramientos de granito fresco, entre los que abundan bloques sueltos. El estudio de las huellas que han dejado sobre las rocas los procesos de alteración edáfica, va a permitir reconstruir, en primera instancia, algunas etapas erosivas de la Pedriza de Manzanares. Las fases de erosión se pueden reconstruir midiendo la posición y dimensiones de la zona expuesta del granito que se meteorizó en condiciones edáficas. En este trabajo se han establecido relaciones entre las formas y tamaños de los tafoni y pendientes invertidas, con los espesores del regolito y/o coluviones, que han permitido diferenciar varias fases erosivas.

PALABRAS CLAVE: *Tafoni, pendientes invertidas, meteorización de granito, Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.*

ABSTRACT

Pedriza de Manzanares is the main part of the Sierra de Guadarrama National Park. The area is part also of the Late Paleozoic granites of the Spanish Central Range, intruded during the Variscan orogeny, and uplifted to its present position during Alpine orogeny. Pedriza is a well known area for its granite landforms which attract tourism, educators and rock climbers. The granite defines a landscape with alternance of regolith and fresh granite outcrops with abundant bornhards and boulders. We afford a first approach of this kind of erosion history in the area of Pedriza de Manzanares. The phases of erosion can be reconstructed measuring the position and dimensions of exposed granite underground weathering landforms. We can identify some correlation between variables like taffoni and flared slopes magnitude, regolith-outcrop ratio and taffoni organization in levels. In addition, these levels of taffoni allow us to identify several phases of regolith erosion in different settings and altitudes, and in relation to the geomorphic edaphic processes.

KEY-WORDS: *Tafoni, flared slope, granite weathering, Sierra de Guadarrama National Park.*

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Contexto, 3. Metodología, 4. Resultados, 5. Resumen y conclusiones, 6. Bibliografía.

1. Introducción

Los tafoni son un tipo especial de cavidades que se encuentran en rocas de litologías muy diferentes, siendo muy frecuentes en rocas graníticas. Fueron descritos por vez primera en la sierra de Guadarrama por Casiano de Prado (1864) y posteriormente por Reusch (1883) en Córcega. La discusión sobre su origen y los procesos implicados en su desarrollo mantienen interés de estudio hasta la actualidad. Los tafoni suelen generar un relieve invertido que profundiza hacia el interior de la roca, quedando enmarcados en la zona exterior por una visera. Pueden localizarse a diferentes alturas con respecto al suelo, siendo frecuentes aquellos situados en la base de los bloques o paredes.

Cuando encontramos tafoni en la zona de contacto entre la roca sana y roca alterada, su origen puede explicarse por un procesos de meteorización subsuperficial donde la hidrólisis e hidratación son las principales reacciones que contribuyen a desagregar la roca una vez que el regolito se va erosionando (Twidale, 1982; Twidale, 1986). El origen subsuperficial de este tipo de tafoni es similar al de las pendientes invertidas. Cuando la cavidad se inicia en la base de un bloque aislado, la meteorización está asociada al movimiento del agua y a la concentración de humedad.

Con frecuencia en el entorno del tafoni se desarrolla una concentración de óxido de hierro y posiblemente de sílice que puede ser debido a agentes externos (líquenes, musgos, concentración por capilaridad). Campbell and Twidale, (1995) también señalan que esa concentración de óxidos de hierro y sílice puede ser igualmente un relicto de características asociadas con el frente de alteración, en los que las concentraciones de hierro comúnmente alcanzan valores de dos a tres veces superiores a los de la roca fresca.

El proceso de avance del interior del tafoni incluye dos mecanismos, bien por desagregación granular, bien por desagregación de pequeñas placas que se van desprendiendo paralelamente al frente del tafoni. Estos mecanismos se hacen activos por procesos de meteorización tanto mecánicos como químicos. La mayoría de los trabajos sobre el desarrollo de los tafoni apuntan a las modificaciones periódicas de humedad junto a la cristalización de sales como los principales mecanismos responsables de la primera fase de su crecimiento (Sancho y Benito, 1990). Otros mecanismos descritos para explicar el desarrollo de los tafoni incluyen procesos de hielo y deshielo, condensación de humedad, oscilaciones térmicas o debido a microorganismos. Vidal

Romaní (2008) atribuye la formación de algunos tafoni a procesos endógenos relacionados con hipótesis tectónicas.

Los tafoni se han encontrado en ambientes climáticos muy diferentes; áridos, húmedos, periglaciares, en zonas costeras o en ambientes continentales. Debido a la variabilidad de ambientes en lo que se han encontrado, es difícil atribuir ninguno de los procesos anteriores como único responsable de formación, sino que dependiendo del ambiente concreto predominará uno u otro mecanismo. En regiones áridas, es aceptado que las sales son las principales responsables del proceso de meteorización que interviene en la formación de los tafoni. El yeso y la halita han sido aceptadas (Bradley et al., 1978) como las sales responsables de formación de tafoni en rocas graníticas. Las sales incrementan la solubilidad de los silicatos en periodos húmedos, y cristalizan en periodos secos produciendo una meteorización mecánica (Mustoe, 1982; Young, 1987). Para explicar la presencia de sales en zonas donde la roca original carece de ellas, Brandmeier et al., (2011) justifican su presencia atribuyendo su origen a transporte por el aire desde zonas desérticas, así como por la presencia de polución industrial. Ishimaru and Yoshikawa (2000) atribuyen el gradiente térmico como uno de los principales procesos de la micro descamación que interviene en el desarrollo de los tafoni (Hall and André, 2003). En zonas climáticas frías el desarrollo de los tafoni se debe en buena parte a la acción de las heladas.

Matsukura and Tanaka (2000) resumen el proceso de formación de un tafoni en los siguientes pasos: (1) Formación de bloques, (2) meteorización química e incremento de los poros del granito, (3) incremento de la permeabilidad de los poros y aumento de la infiltración de agua, (4) evaporación del agua y concentración de sales, (5) desecación y cristalización de sales aumentando la presión en el poro produciendo exfoliación de la superficie de la roca y avance del tafoni.

Un tipo de forma que guarda relación con los tafoni edáficos descritos por Twidale (1982) son las pendientes invertidas o "Flared slope". Se trata de una morfología especial en la que el frente de meteorización se desarrolla en las zonas de piedemonte o sobre bloques, y demuestran que la excavación se produjo in situ antes de la eliminación del regolito (Twidale, 1962; Twidale and Bourne, 1975). La incisión de la concavidad que se forma en la roca tiene relación con la profundidad y espesor de la zona en la que persiste la humedad del suelo. La anchura de estas formas puede variar de unos pocos metros a varias centenas de metros en los que las depresiones formadas reflejan una rápida meteorización de la base de la ladera o del bloque. Con frecuencia las pendientes invertidas suelen tener tafoni asociados, que sugieren que se iniciaron como resultado de

una intensa meteorización bajo la superficie (Centeno, 1989; Álvarez de Buergo, et al., 2013).

En este trabajo se estudian bloques de granito situados en zonas de pendientes topográficas variables, mostrando diferentes niveles de tafoni y de pendientes invertidas, que hemos relacionado con distintas etapas de erosión del regolito y/o coluvión que enterraba dichos bloques. Los resultados que se presentan apoyan las tesis de algunos trabajos como los de Campbell and Twidale, (1995), Twidale (1982) y Twidale and Vidal Romaní, (2005). Los objetivos particulares de este artículo han sido dos: a) establecer relaciones entre las fases erosivas del regolito y/o coluvión, con la presencia de tafoni y pendientes invertidas identificados sobre bloques de granito, y b) elaborar un documento didáctico que permita a los visitantes del Parque Nacional disponer de una guía con algunas nociones básicas que les ayuden a interpretar determinadas formas graníticas de La Pedriza.

2. Contexto

La Pedriza de Manzanares ocupa cerca de 5000 Ha en las laderas meridionales de la sierra de Guadarrama, formando una vertiente compleja, entre las cumbres de la sierra de Cuerda Larga y la plataforma de arrasamiento cerca de la población de Manzanares el Real. Su atractiva geomorfología y su ecosistema complejo (y relativamente bien conservado) convirtieron a la Pedriza en uno de los primeros espacios protegidos españoles, allá por 1924, hasta incorporarse recientemente a la declaración del Parque Nacional de Guadarrama. El clima de la región podría ser clasificado como Mediterráneo templado - frío, húmedo, con una pluviometría y temperatura medias anuales de 800-900 mm/año y 11-12°C respectivamente para altitudes de 800-1200 m, y de unos 1000-1500 mm/año y 9-10°C para altitudes comprendidas entre 1200-1600 m (IGME, 1988).

El Sistema Central Español fue la zona axial de la cordillera Ibérica formada durante la orogenia Varisca, y ha sido estudiado desde mediados del siglo XX (Peinado et al., 1981). Al final de esta orogenia se produjo la intrusión de cuerpos plutónicos en diversas fases, de los que la Pedriza representa un episodio tardío (Pérez-Soba y Villaseca, 2010). Tras la orogenia siguió un largo periodo de arrasamiento, cuyos restos de superficies erosivas han sido reconocidos desde los trabajos de De Pedraza (1975) y Centeno (1989). La orogenia Alpina levantó el Sistema Central actual reactivando las fracturas variscas y creando un relieve de horst y graben limitados por fallas inversas. Este levantamiento alpino se produce en tres grandes fases desde el Oligoceno hasta el

Cuaternario, iniciando un proceso erosivo que da lugar a sedimentos correlativos en la cuenca de Madrid.

En el caso concreto de la Pedriza, el levantamiento alpino produce una vertiente escalonada en la que se forman relieves grabados conforme la meteorización penetra a favor de las fracturas y el levantamiento permite la evacuación de regolito hacia la cuenca del Tajo (De Pedraza et al., 1989; Centeno, 1989). La gran red fracturación y la intensa meteorización del macizo rocoso que se inició en condiciones de enterramiento o sub-aéreas, ha permitido que las piedras caballeras sean una forma muy común en la Pedriza, no siendo difícil reconocer hasta cuatro bloques apilados uno encima de otro. La red de fracturación preferente es de dirección E-W, ENE-WSW.

La Pedriza de Manzanares comprende dos zonas bien definidas con características mineralógicas y geomorfológicas algo diferentes, conocidas como Pedriza posterior y Pedriza anterior. La Pedriza posterior se sitúa al norte de la Pedriza anterior e incluye las zonas de mayor altura, como por ejemplo las Torres (2029 m). La Pedriza anterior se extiende desde la localidad de Manzanares el Real hasta la falla del collado de la Dehesilla al collado Cabrón, con altitudes que oscilan entre unos 900 m en el pueblo de Manzanares el Real, y 1719 m en la cima del Yelmo (Fig.2.1).

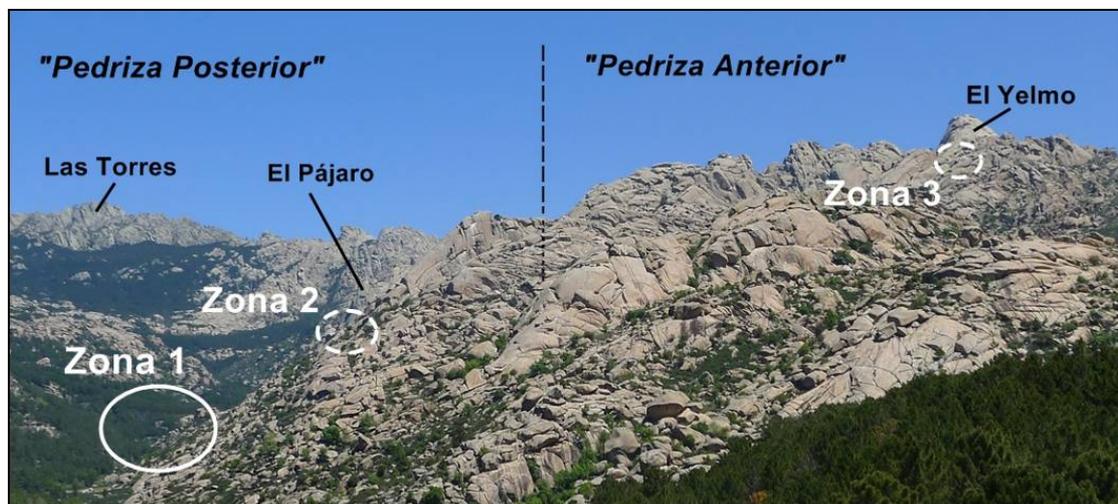


Figura 2.1. La Pedriza de Manzanares con indicación de las zonas estudiadas.

Los granitoides de la Pedriza son adamellitas leucocráticas (De Pedraza et al., 1989), con cristales en general irregulares y subidiomorfos, y con tamaños de grano que varía desde grueso a fino. Están formados por feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y por biotita como el principal mineral máfico (Pérez-Soba y Villaseca, 2010). Las rocas filonianas aparecen representadas como diques dentro de la masa de rocas graníticas, siendo los más notables aquellos de dirección E-W, de composición aplítica, microdiorítica, y de pórfidos graníticos.

La zona estudiada se caracteriza por presentar formas muy comunes de los paisajes graníticos, que De Pedraza et al., (1989) clasificaba en dos grandes grupos; formas graníticas mayores y formas graníticas menores. Al primer grupo corresponden los lanchares, pedrizas, berrocales, domos y crestones. Las formas graníticas menores incluyen las pilas, pilancones, tafoni y agrietamientos poligonales (García-Rodríguez et al., 2013) entre otras.

3. Metodología

En La Pedriza es posible reconocer multitud de tafoni localizados sobre emplazamientos muy distintos. Por ejemplo, se encuentran sobre paredes verticales de más de 20 m de altura, sobre los laterales y base de piedras caballerías, o bien en la base de bloques de granito relacionados con procesos edáficos recientes (Centeno et al., 2010; García-Rodríguez et al., 2012). Las morfologías que presentan los tafoni son también muy variadas en cuanto a las dimensiones que presentan y al tipo de asociación entre las diversas oquedades (De Uña, 2012). Según los objetivos propuestos en este trabajo, únicamente se han estudiado los tafoni relacionados con procesos edáficos, localizados cerca de la superficie topográfica. Su análisis junto con el estudio de pendientes invertidas ha permitido establecer relaciones entre su origen en condiciones de enterramiento, con fases posteriores de exposición a condiciones aéreas, por erosión de la superficie del terreno (García-Rodríguez et al., 2012).

Se han seleccionado tres zonas que incluyen un total de nueve bloques con tafoni y pendientes invertidas. La Tabla 3.1 recoge los datos con el inventario de los bloques estudiados indicando el tipo de formas identificadas sobre alguno de los laterales o en la zona frontal de los bloques. Se ha denominado zona lateral del bloque a los laterales de los bloques situados en la dirección de la pendiente del terreno, y frente del bloque a la parte de los bloques situada pendiente abajo.

Bloque	Zona	Figura	Orientación lateral/frontal	Formas lateral/frontal
B.1	Z. 1	Fig. 4.1	Lateral: NW Frente: SE	L: Pendiente invertida. F: Pendiente invertida, tafoni.
B.2	Z. 1	Fig. 4.1	Lateral: E Frente: S	L: Pendiente invertida. F: Pendiente invertida.
B.3	Z. 1	Fig. 4.1	Lateral: SE Frente: SW	L: Pendiente invertida, tafoni. F: Pendiente invertida, tafoni.
B.4	Z. 2	Fig. 4.2	Lateral: E Frente: S	L: Pendiente invertida, tafoni. F: Tafoni.
B.5	Z. 2	Fig. 4.3	Lateral: E Frente: S	L: Pendiente invertida. F: Tafoni.
B.6	Z. 2	Fig. 4.4	Lateral: E Frente: S	L: Pendiente invertida. F: Tafoni.
B.7	Z. 2	Fig. 4.5	Lateral: W Frente: S	L: Pendiente invertida, tafoni. F: Tafoni.
B.8	Z. 2	Fig. 4.5	Lateral: NW Frente: SW	L: Tafoni F: Tafoni
B.9	Z. 3	Fig.4.6	Trasera: NE Frente:SW	L: Pendiente invertida, tafoni. F: Pendiente invertida, tafoni.

Tabla 3.1. Inventario de los bloques de granito estudiados.

La zona 1 comprende el estudio de tres bloques, la zona 2 incluye siete bloques y la zona 3 sólo un bloque de características particulares. Las medidas realizadas en cada bloque de granito han sido:

- Altura de los tafoni y/o pendientes invertidas, medida desde el suelo hasta la visera de cada forma. Profundidad máxima de los tafoni y/o pendientes invertidas, medida respecto a la vertical desde su visera.
- Identificación de niveles con tafoni superpuestos.
- Pendiente (medida en grados) de la línea que define las pendientes invertidas y/o alineaciones de los tafoni, y pendiente del terreno (visual) respecto a las líneas definidas.

4. Resultados

Los resultados que se presentan en este artículo representan “resultados preliminares” en términos cualitativos, de un estudio más amplio que tiene como

objetivo la cuantificación en el espacio y tiempo de los procesos de erosión del regolito y/o coluviones que envuelven los bloques de granito en distintas zonas de La Pedriza. La Tabla 4.1 recoge un resumen con los resultados de las medidas realizadas, incluyendo la interpretación del número de episodios erosivos identificados.

Bloque	Figura	Nº de fases erosivas (*)	Altura / incisión (**)	Inclinación (***)
B.1	Fig. 4.1	L: 2 F: 2	L: 150/35 F: 150/25	L: 18° F: 0°
B.2	Fig. 4.1	L: 2 F: 2	L: 92/30 F: 95/83	L: 7° F: (-)
B.3	Fig. 4.1	L: 2 F: 2	L: 170/20 F: (?)/85	L: 14°-17° F: (?)
B.4	Fig. 4.2	L: 2, (3?) F: 2, (3?)	L: 65/20 F: (?)/160	L: 17°-20° F: (?)
B.5	Fig. 4.3	L: 2, (3?) F: 2, (3?)	L: 148/25 F: 150/220	L: 18°-22° F: (?)
B.6	Fig. 4.4	L: 2 F: 2	L: 115/27 F: 115/130	L: 18°-20° F: 0°
B.7	Fig. 4.5	L: (4?) F: (4?)	L: 160/22 F: 300/40	L: (-) F: (-)
B.8	Fig. 4.5	L: (4?) F: (4?)	L: (-) F: 180/40	L: (-) F: (-)
B.9	Fig. 4.6	T: 1 (pre-vuelco) F: 3	L: (-) F: 115/130	L: (-) F: 0°

Notas:

(*). Fases de estabilización del suelo y erosión del regolito. Incluye la fase actual.
L: lateral del bloque; F: frente del bloque.

(**). Altura e incisión máximas medidas en los bloques (en cm).
L: lateral del bloque; F: frente del bloque.

(***). Inclinación (ángulo en grados) de la visera de la pendiente invertida o líneas de tafoni respecto a un plano horizontal.

(3?). Máximo de fases erosivas supuestas.

(?). Información no disponible por imposibilidad de medición.

(-). Medida que no procede por la disposición del bloque.

Tabla 4.1. Resumen de medidas realizadas e interpretación de número de episodios erosivos.

Zona 1

Comprende el estudio de tres bloques (Fig. 4.1) localizados en una zona topografía de características similares y de pendiente también homogénea (localización en Fig.2.1).

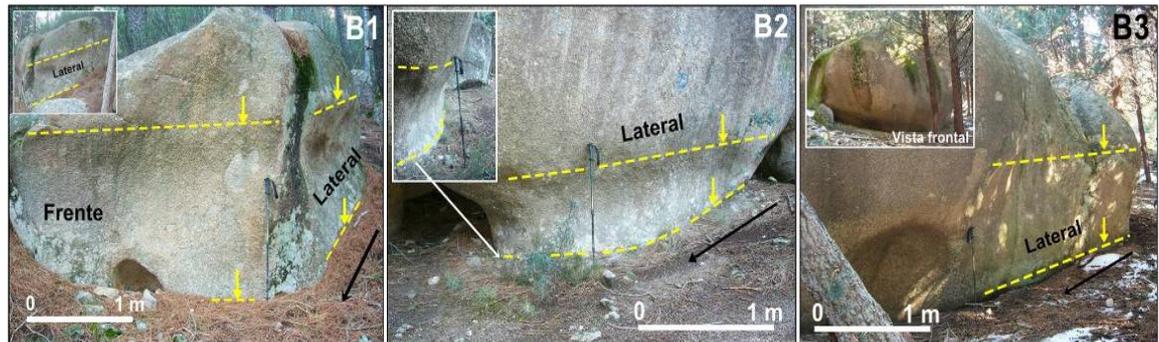


Figura 4.1. Bloques B1, B2 y B3 de la zona 1. Las líneas amarillas discontinuas representan los niveles de estabilización del suelo. Indican la parte más alta de los “abrigos” o “pendientes invertidas” formados en condiciones sub-aéreas. La flecha negra dibujada en el suelo es paralela a la línea de máxima pendiente del terreno y coincide con la inclinación de la visera de las pendientes invertidas en los bloques.

Los laterales de los bloques B1 y B2 presentan un primer nivel de estabilización del suelo de entre unos 90 y 150 cm de altura, con pendiente de la visera de la pendiente invertida que guarda paralelismo con la pendiente de la ladera del terreno. El segundo nivel de estabilización del suelo corresponde a su posición actual, donde ya se ha formado una visera correspondiente a un segundo nivel de formación de pendiente invertida que se ha iniciado bajo el suelo. B1 tiene un tafoni en la base de la zona frontal. El bloque B3 se localiza en una zona con algo más de pendiente topográfica y la altura del nivel de estabilización del suelo se sitúa a unos 170 cm. Asociado a la pendiente invertida B3 presenta un tafoni en la zona de inflexión entre el lateral y frontal, de 1 m de altura. El segundo nivel erosivo del B3 es visible en el lateral, y empieza a quedar expuesto a pocos centímetros del suelo.

Zona 2

La zona 2 (ver Fig. 2.1) se localiza en una ladera de pendiente pronunciada y de bosque. La abundancia de bloques en el área ha permitido identificar un total de 5 bloques con pendientes invertidas y/o tafoni asociados a procesos edáficos. El bloque B4 (Fig.4.2) presenta dos niveles de estabilización del suelo bien diferenciados por

pendientes invertidas, y otro nivel intermedio interpretado a partir de la alineación de viseras de tafoni. La pendiente invertida del lateral está cubierta de abundantes tafoni cuyo origen puede haberse iniciado en condiciones de enterramiento o sub-aéreas y evolucionar en condiciones aéreas en el exterior. La zona frontal del B4 se caracteriza por presentar tafoni muy bien desarrollados, en los que difícilmente se pueden identificar fases de encajamiento debido a lo evolucionados que se encuentran, que han podido enmascarar niveles continuos de estabilización del suelo de épocas anteriores.

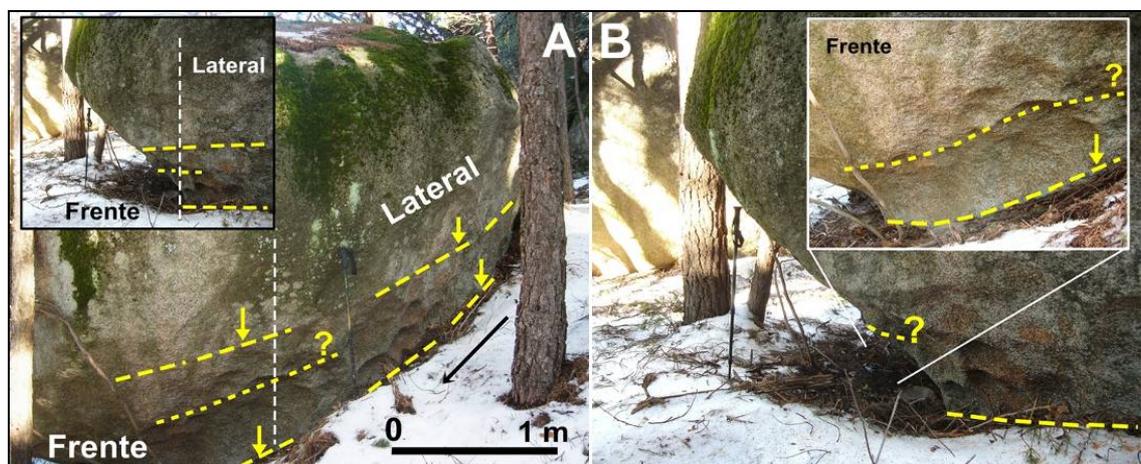


Figura 4.2. Bloque B4 de la zona 2. (A) vista el lateral del bloque paralelo a la pendiente del terreno con indicación de periodos de estabilización del suelo y encajamiento. (B) Detalle de los tafoni de la parte frontal del bloque.

El bloque B5 (Fig. 4.3) situado en las proximidades del B4 muestra rasgos idénticos a los descritos para este, aunque la visera superior de la pendiente invertida del lateral se sitúa al doble de la altura del B4.

El bloque B6 (Fig.4.4), de forma más esférica que los anteriores, no presenta morfología de pendientes invertidas bien definidas, aunque si una sucesión de tafoni que define los mismos niveles de estabilización y erosión del suelo de la zona. Este bloque también tiene los tafoni mejor desarrollados en la parte frontal, ladera abajo.

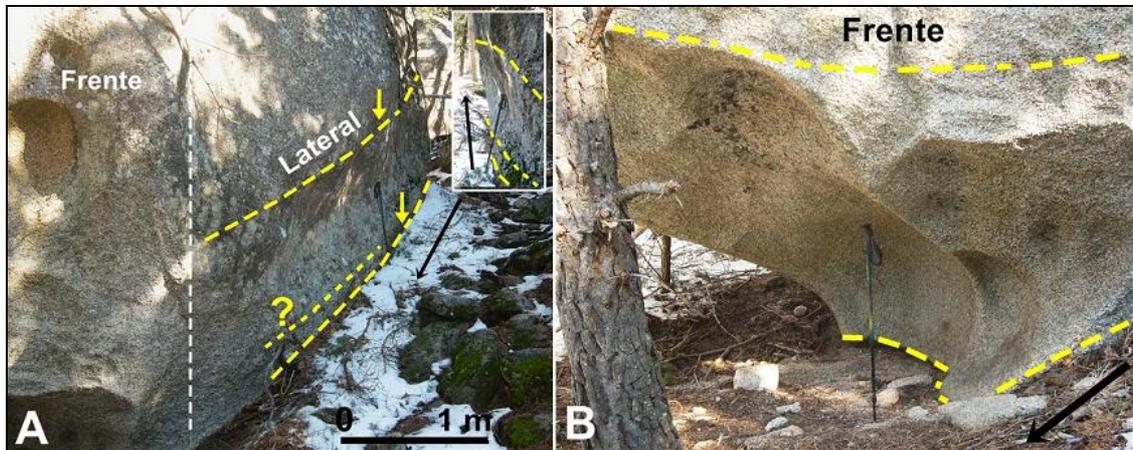


Figura 4.3 Bloque B5 de la zona 2. Detalles del lateral (A) y frente del bloque (A). Misma interpretación que la Figura 4.2

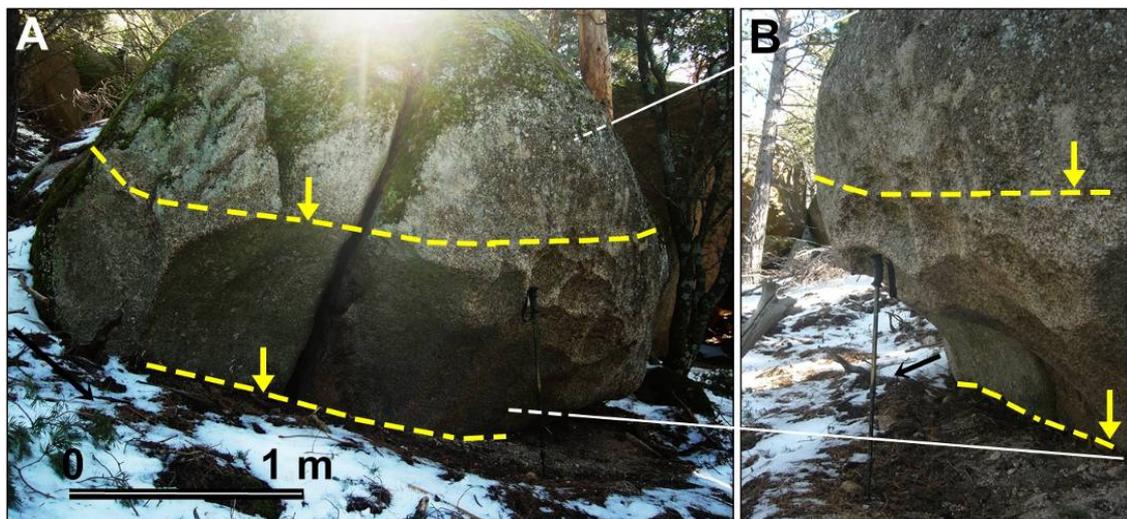


Figura 4.4. Bloque B6 de la zona 2. Desarrollo de tafoni en el frente y lateral del bloque.

Los bloques B7 y B8 (Fig.4.5) tienen numerosos tafoni a distintas alturas y no permiten establecer una clara relación con las etapas erosivas. No obstante, se han identificado algunas alineaciones que podrían representar niveles de estabilización del suelo en el pasado. La base del B8 tiene un tafoni que se ha formado debajo del nivel del

suelo y está separado del que tiene por encima por una costra endurecida de óxidos en forma de visera.

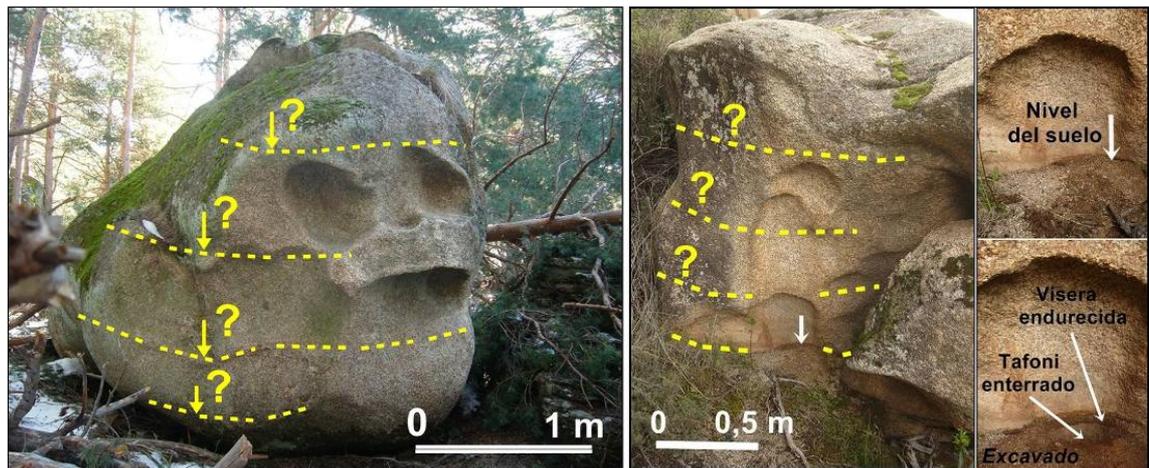


Figura 4.5. Bloques B7 y B8 de la zona 2. (A) Interpretación de posibles niveles de estabilización del suelo y erosión a partir de las viseras superiores de los tafoni, que presentan endurecimientos. (B) Misma interpretación que la de la figura A. Excavando el suelo (figura inferior derecha) se ha localizado otro tafoni enterrado formado en condiciones sub-aéreas.

Zona 3

La zona 3 comprende la interpretación de un único bloque de granito (Fig. 4.6) situado en las proximidades del Yelmo. Se trata de un gran bolo de granito con señales de alteración sub-aérea que permite interpretar, al menos, una fase de volteo del bloque. La línea de nivel “0” indica una etapa previa en la que el bloque se encontraba girado respecto a la posición actual, donde la posición de ese nivel “0” era horizontal. Bajo esa primera etapa de enterramiento la meteorización en condiciones edáficas produciría la morfología que queda por debajo del nivel “0”. Se desconoce la época de formación de los tafoni presentes en el bloque, aunque presentan indicios de haberse formado en una etapa post-vuelvo.

La parte frontal del bloque orientada pendiente abajo, presenta tres niveles de estabilización y erosión del suelo con aspecto de pendiente invertida y tafoni de poca incisión. Las señales identificadas en la parte frontal corresponden a un periodo de enterramiento y erosión del bloque posterior al vuelvo antes citado.

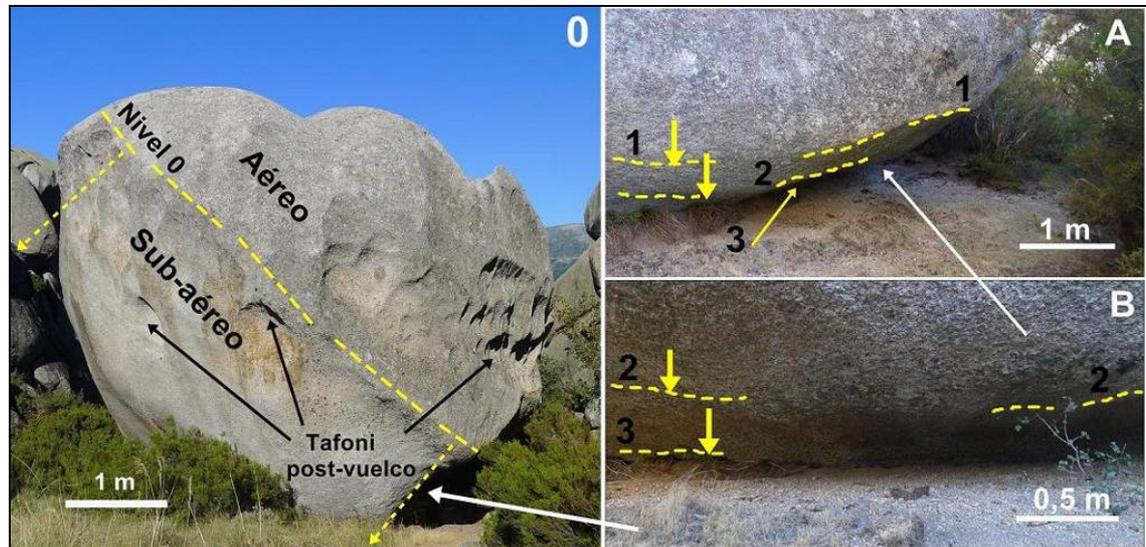


Figura 4.6. (0) Vista general del bloque, parte trasera pendiente arriba. La línea de nivel “0” indica la línea de enterramiento del bloque previa a su vuelco de unos 45°. Por debajo de la línea de nivel “0” punteada queda la zona que estuvo enterrada y meteorizada en condiciones de enterramiento. Los tafoni visibles en todo el bloque parece corresponder a una etapa post-vuelco. (A y B) detalle de la parte opuesta del bloque (pendiente abajo) en las proximidades del suelo con indicación de diferentes niveles de estabilización del suelo y erosión del regolito y/o coluvión.

5. Resumen y conclusiones

La Pedriza de Manzanares representa un marco excepcional para el estudio de formas graníticas e interpretación de procesos de meteorización y erosión. La identificación de tafoni relacionados con procesos edáficos así como la presencia de pendientes invertidas sobre bloques graníticos, han permitido, en primera instancia, identificar diferentes fases de estabilización y posterior erosión del suelo. Se ha comprobado que las pendientes invertidas permiten determinar rangos de meteorización edáfica con mayor claridad que los tafoni. Esto se debe a que como los tafoni continúan evolucionando en condiciones aéreas, y pueden superponerse unos a otros, con frecuencia enmascaran los niveles originales de estabilización del suelo.

Los bloques estudiados en distintas zonas denotan, al menos, dos fases de encajamiento bien reconocibles. Los laterales de los bloques (en sentido de la pendiente del terreno) han resultado ser las zonas idóneas para identificar fases de encajamiento, donde las viseras de las pendientes invertidas guardan un gran paralelismo con la

pendiente de la superficie topográfica. En general, los tafoni sobre los bloques son más abundantes en las zonas frontales, donde el regolito y/o coluvión permanece durante más tiempo que en las zonas laterales. En la zona frontal de los bloques la escorrentía superficial tiene un potencial erosivo menor que en los laterales, creando una zona de sombra frente a la erosión que favorece la persistencia de humedad del suelo durante más tiempo, y por tanto favorece las condiciones de meteorización de la roca.

Los resultados de este trabajo han permitido establecer las bases metodológicas para continuar estudiando la relación entre el origen y exposición de tafoni y pendientes invertidas iniciados en condiciones edáficas o sub-aéreas, con las fases erosivas de La Pedriza. El trabajo representa un documento didáctico sobre el origen de algunas formas graníticas para los visitantes del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

6. Bibliografía

- ALVAREZ DE BUERGO, M., GARCÍA-RODRÍGUEZ, M., FORT GONZÁLEZ, R., CENTENO, J.D., GOMEZ-HERAS, M., SANZ M.A. (2013). "Twidale's Rock: a granite block showing linked rock basins, channels and relief inversion". Abstracts Volume 8th International Conference (AIG) on Geomorphology "Geomorphology and Sustainability". Paris, 27-31 August 2013, p. 300.
- BRADLEY, W.C, HUTTON, J.T and TWIDALE, C.R. (1978). "Role of salts in development of granitic tafoni, south Australia". *Journal of Geology*, 86, 647-654.
- CAMPBELL, E.M and TWIDALE, C.R. (1995). "Lithologic and climatic convergence in granite morphology". *Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 20:381-403.
- CENTENO, J.D. (1989). "Evolución cuaternaria de la vertiente sur del sistema central español. Las formas residuales como indicadoras morfológicas". *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 13, 79-88.
- CENTENO, J.D., GARCÍA-RODRÍGUEZ, M. and MOYA PALOMARES, M.E. (2010). "Influence of granite landforms on water balance in semi-arid and humid climates". *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*. 35, 99-108.
- DE PEDRAZA, J. (1978). "Estudio geomorfológico de la Zona de Enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)". Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 432 pp.
- DE PEDRAZA, J., SANZ, M.A, MARTÍN, A. (1989). "Formas graníticas de la Pedriza". Agencia de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. 205 pp.
- DE PRADO, C. 1864 (1975). "Descripción física y geológica de la provincia de Madrid". Publicaciones especiales Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 325 p.
- DE UÑA ÁLVAREZ, E. (2012). "Interpretación de sistemas naturales complejos: el problema de los tafoni". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* nº 60-2012, págs. 349-366.
- BRANDMEIER M., KUHLEMANN J., KRUMREI I., KAPPLER A., and KUBIK P.W. (2011). "New challengers for tafoni research. A new approach to understand processes and weathering rates". *Earth Surface Processes and Landforms* 36, 839-852.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M., CENTENO, J.D., and ALVAREZ DE BUERGO, M. (2012). "Weathering landforms exposure and erosion phases in Pedriza de Manzanares (Spanish Central Range)". EGU General Assembly. Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-6279-1.

- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M., CENTENO, J.D., GOMEZ-HERAS, M., FORT GONZÁLEZ, R., ALVAREZ DE BUERGO, M. (2013). "Thermal and structural controls on polygonal cracking in granite of La Pedriza de Manzanares (Spain)". Abstracts Volume 8th International Conference (AIG) on Geomorphology "Geomorphology and Sustainability". Paris, 27-31 August 2013, p. 303.
- HALL, K. y ANDRÉ, M.F. (2003). "Rock thermal data at the grain scale: applicability to granular disintegration in cold environments". *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 823-836.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, IGME. (1988). "Atlas Geocientífico del Medio Natural de la Comunidad de Madrid". IGME.
- ISHIMARU, S. Y YOSHIKAWA, K. (2000). "The weathering of granodiorite porphyry in the Thiel Mountains, inland Antarctica". *Geografiska Annaler*, 82A, 45-57.
- MATSUKURA and TANAKA (2000). "Effect of Rock Hardness and Moisture Content on Tafoni Weathering in the Granite of Mount Doeg-Sung, Korea". *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 82, 59-67.
- MUSTOE G.E. (1892). "The origin of honeycomb weathering". *Geological Society of America Bulletin* 93(2): 108-115.
- PEINADO, M., FÚSTER, J.M., BELLIDO, F., CAPOTE, C., CASQUET, C., NAVIDAD, M., VILLASECA, C. (1981). "Caracteres generales del Cinturón Hercínico en el Sector Oriental del Sistema Central Español". Editor: U.C.M. Instituto de Geología Económica (CSIC).
- PÉREZ-SOBA, C. and VILLASECA, C. (2010). "Petrogenesis of highly fractionated I-type peraluminous granites: La Pedriza pluton (Spanish Central System)". *Geologica Acta* 8: 131-149
- REUSCH, H.H. (1883). "Notes sur la geologie de la Corse". *Société Geologique de France Bulletin* 11:53-67.
- SANCHO, C. y BENITO, G. (1990). "Factors controlling Tafoni weathering in the Ebro Basin (NE Spain)". *Zeitschrift für Geomorphologie*, 34(2), 165-177.
- TWIDALE, C.R. (1962). "Steepened margins of inselbergs from north-western Eyre Peninsula, South Australia". *Zeits. Geomorph* 6:51-69.
- TWIDALE, C.R. (1982). "Granite Landforms". Elsevier, Amsterdam.
- TWIDALE, C.R. (1986). "Granite landform evolution: factors and implications". *Geologische Rundschau* 75: 769-779.
- TWIDALE, C.R. and BOURNE, J.A. (1975). "Episodic exposure of inselbergs". *Geological Society of America Bulletin*, 86: 1473-1481.

- TWIDALE, C.R. and VIDAL ROMANÍ, J.R. (2005). "Landforms and Geology of Granite Terrains". Balkema, Leiden.
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (2008). "Forms and structural fabric in granite rocks". *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 33: 175-198
- YOUNG, A.R.M. (1987). "Salt as an agent in the development of cavernous weathering". *Geology* 15(10): 962-966.