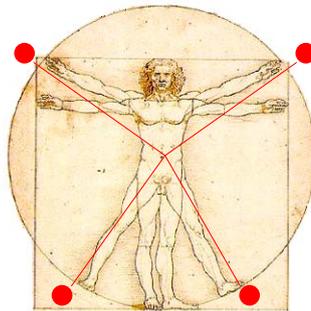


# **TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO**

*Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*

VOLUMEN XII. AÑO 2014

SEPARATA



“EL HUESO” DE LA PEDRIZA: ORIGEN, ESTRUCTURA Y RASGOS  
GEOMORFOLÓGICOS

**Manuel García-Rodríguez, Miguel García Rodríguez y Juan Luis Salcedo  
Miranda.**



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

© Del texto: Manuel García-Rodríguez, Miguel García Rodríguez y Juan Luis Salcedo Miranda  
Septiembre 2014.

<http://www.uax.es/publicacion/el-hueso-de-la-pedriza-origen-estructura--y-rasgos-geomorfologicos.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.

# “EL HUESO” DE LA PEDRIZA: ORIGEN, ESTRUCTURA Y RASGOS GEOMORFOLÓGICOS

**Manuel García-Rodríguez <sup>(1)</sup>, Miguel García Rodríguez <sup>(2)</sup> y Juan Luis Salcedo Miranda <sup>(3)</sup>**

(1) Geólogo, Dpto. Ciencias Analíticas, Fac. de Ciencias UNED. Paseo Senda del Rey 9. C.P. 28040.

Madrid. E-mail: [manu.garo@ccia.uned.es](mailto:manu.garo@ccia.uned.es)

(2) Arquitecto, Chapman Taylor.

(3) Periodista, Fac. Ciencias de la Información, UCM.

## RESUMEN

La Pedriza de Manzanares representa una de las zonas más emblemáticas del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Su morfología granítica capichosa y particular, ha dado origen a riscos y piedras con formas muy características, que desde antiguo han recibido nombres propios que hacen referencia a las figuras o formas que representan. En este artículo se explica el origen geológico y rasgos geomorfológicos actuales de una pared denominada “El Hueso”. Por la importancia que ha tenido esta pared para exploradores y escaladores desde hace algo más de un siglo, el artículo incluye una breve reseña de sus primeras ascensiones.

**PALABRAS CLAVE:** *Geomorfología de la Pedriza, Parque Nacional Sierra de Guadarrama, escalada en El Hueso.*

## ABSTRACT

La Pedriza de Manzanares represents one of the Parque Nacional Sierra de Guadarrama most emblematic zones. Its granitic whimsical and particular morphology, has given rise to cliffs and rocks with very characteristic forms, which since ancient times have received names according to the forms or figures they represent. In this article it is explained the geological origin and present geomorphological features of the wall named “El Hueso” (“The Bone”). Given the importance of this wall has had to explorers and climbers for more than a century, the article includes a brief review of their first ascents.

**KEY-WORDS:** *Pedriza geomorphology, Sierra de Guadarrama National Park, El Hueso climbing site.*

**SUMARIO:** 1. Introducción y objetivos, 2. Red de fracturación y estructura arquitectónica natural, 3. Rasgos geomorfológicos superficiales, 4. Resumen y conclusiones, 5. Agradecimientos, 6. Bibliografía.

## 1. Introducción y objetivos

La Pedriza de Manzanares se localiza las laderas meridionales de la sierra de Guadarrama, entre las cumbres de Cuerda Larga y la población de Manzanares el Real en la provincia de Madrid (Fig. 1.1). Su atractiva geomorfología la convirtió en uno de los primeros espacios protegidos españoles allá por 1924, hasta incorporarse recientemente a la declaración del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Comprende dos zonas bien definidas con características mineralógicas y geomorfológicas algo diferentes; la Pedriza posterior y la Pedriza anterior. La Pedriza posterior incluye las cumbres 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, con altitudes que oscilan entre unos 900 m en el pueblo de Manzanares, y 1719 m en la cima del Yelmo. Los granitoides de la Pedriza son adamellitas leucocráticas formadas por feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y biotita, con tamaños de grano que varían desde grueso a fino (De Pedraza et al., 1989; Pérez-Soba y Villaseca, 2010).



Figura 1.1. (A) Localización de la Pedriza de Manzanares. (B) Situación del Hueso con indicación de las principales fracturas del entorno. Los ángulos de las fracturas con respecto al N pintados en la figura pueden presentar ligeras variaciones respecto a la realidad, debido al ángulo de la fotografía que no es totalmente ortogonal a la superficie topográfica. Fuente: Elaboración propia con base cartográfica de DigitalGlobe 2014.

El aspecto del paisaje de la Pedriza tiene su origen en un macizo rocoso afectado por una intensa fracturación durante las orogenias Varisca y Alpina, que ha sido modelado durante millones de años por procesos mecánicos y químicos. El primer trabajo importante sobre morfología granítica en La Pedriza se debe a Javier de Pedraza (De Pedraza et al., 1989), en el que se describían las “formas mayores” y “formas

menores” presentes en el entorno. Ejemplos de formas del primer grupo son los lanchares, pedrizas, berrocales, domos y crestones, algunas de ellas responsables de las principales paredes y conjuntos rocosos con nombre propio de la zona, como por ejemplo: El Hueso, El Pájaro, El Elefante, Cinco Cestos, La Vela o El Yelmo. Las formas graníticas menores incluyen las pilas, pilancones, tafoni, acanaladuras, agrietamientos poligonales, endurecimientos superficiales y descamación en lajas entre otras, presentes sobre la superficie de las rocas de todo el Parque (Carcavilla y Salazar, 2013; De Pedraza et al., 1989; García-Rodríguez et al., 2012; García-Rodríguez y Centeno, 2014; De Pedraza et al., 2014).

El muro del Hueso (también denominado Peñalarco), forma una gran pared de dirección ENE-WSW localizada en la coordenadas 40° 46' 08" N- 3° 52' 17" W. Se sitúa al norte de la falla que atraviesa desde el collado de la Dehesilla hasta el collado el Cabrón. Este muro tiene una altura que varía de unos 160 a 180 m según desde dónde se considere la referencia de la base y de la cima. En la parte occidental del muro hay un arco o columna separada del muro principal que tiene unos 90 m de altura, con forma de hueso que da nombre al risco. En este artículo se hace referencia indistintamente al “muro o pared del Hueso”, para denominar toda la pared en su conjunto, o al Hueso para referirse específicamente al arco.

La Pedriza ha sido objeto de estudio por geólogos y naturalistas ya desde mediados del siglo XIX, cuando el geólogo Casiano de Prado realizara la primera descripción física del territorio en año 1864 (de Prado, 1864, ref. 1975). Posteriormente al inicio del siglo XX, otros trabajos de interés en la zona se debieron a Bernaldo de Quirós (1923) y Hernández Pacheco (1931). El gran número de paredes de granito con alturas que superan el centenar de metros, han hecho de la zona una magnífica escuela de montañeros y escaladores madrileños. La tradición montañera de la zona se remonta a la misma época de las exploraciones naturalistas, en la que Casiano de Prado subiera por vez primera el pico del Yelmo en 1860. No obstante es a partir de 1900 cuando se inicia con fuerza la actividad alpinística en Guadarrama, especialmente a partir de la creación de la Sociedad de Alpinismo de Peñalara (Vías, 2011). Desde el comienzo de la escalada en la Pedriza, se tardaron bastantes años en afrontar las dificultades que presentaba el Hueso. La primera ascensión que recorre el lomo o arco del Hueso fue en el año 1973, y los protagonistas fueron Fulgencio Casado y Laureano Esteras. Según comunicación verbal de este último, un día que caminaban por las inmediaciones se fijaron en el espectacular arco y se acercaron a su base. La chimenea que inicia la separación fue el principio de la aventura. Laureano ascendió de primero hasta la actual primera reunión ya en el inicio del lomo del arco. Como no llevaban material para instalar los seguros y

descender rapelando, destreparon la difícil chimenea. Regresaron el domingo siguiente y por el mismo camino se situaron en el lugar donde retrocedieron la vez anterior, instalaron una reunión con buriles y Fulgencio escaló el vertiginoso largo del lomo. Por encima, colocaron dos o tres buriles hasta la siguiente reunión desde la que rapelaron. Ese día quedó abierta la vía Fulgencio por un lugar increíble que en la actualidad sorprende (Fig. 1.2A). Fulgencio regresó otro día con dos amigos, Pedro Díez y Piviú, para terminar los tres largos de menos dificultad que llegan hasta la cima, pero la verdadera aventura fueron los dos primeros largos. Al año siguiente, en 1974, se abrió la segunda ruta que surca el arco, esta vez por su parte inferior, un techo interminable, tan duro como espectacular, que lleva la firma de Daniel Guirles y Luis Campos (Fig. 1.2B). Posteriormente, en las placas que sustentan el arco del Hueso se han ido abriendo hasta unas 24 vías (Luján y Zapata, 2005), a las que se acude con frecuencia para disfrutar del espectacular entorno (Fig. 1.2C y 1.2D).

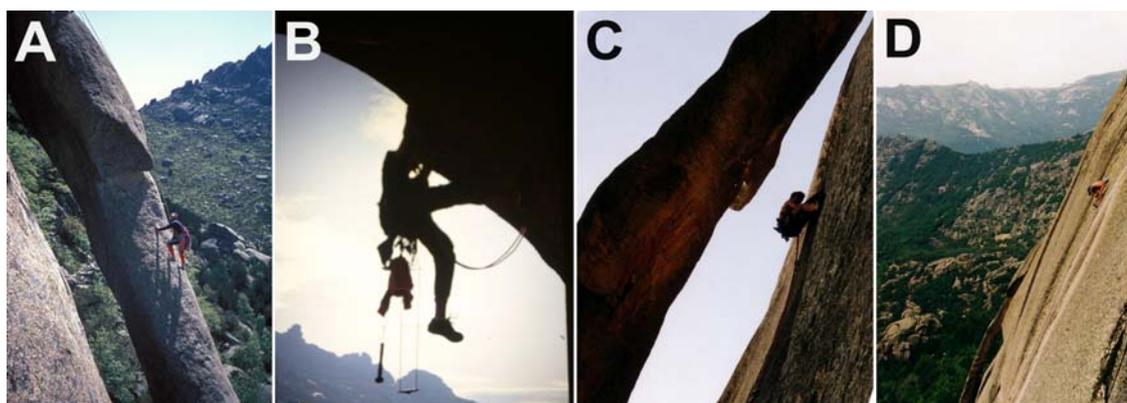


Figura 1.2. Escaladas en el Hueso. (A) Segundo largo de la vía Fulgencio, (B) escalada artificial en el Hueso, (C) Escalada libre en la vía MCD debajo del arco, (D) escalada libre en la vía Alicantropía, sector este. Fuente: Fotos colección de los autores.

Las vías de escalada abiertas en diferentes paredes, en la Pedriza y en otros lugares del mundo, han resultado ser escenarios idóneos para estudiar la geomorfología de zonas en las que sería muy complicado si no existieran dichas rutas y actividad deportiva (Panizza and Mennella, 2007; Pozza, et al., 2009; Bollati et al., 2014).

En este artículo se explican los procesos geológicos que han intervenido en el modelado del Hueso responsables de su forma actual. El documento incluye la descripción de algunos rasgos geomorfológicos presentes en la pared, algunos de ellos frecuentes en otras zonas de la Pedriza y muy comunes en otros ambientes graníticos

con morfología dómica en diferentes zonas del mundo (p.e. Parque Nacional de Yosemite). Para cumplir los objetivos propuestos primero se han estudiado las fracturas presentes en el muro y arco del Hueso que explican su estructura y la distribución de fuerzas que lo mantienen en equilibrio. Después, a escala de más detalle, se han descrito algunos rasgos geomorfológicos presentes en la superficie del muro, responsables en gran parte del aspecto que presenta. El artículo está planteado como un documento didáctico para que los visitantes del Parque Nacional puedan conocer los procesos geológicos que han formado el Hueso y acercarlos a la historia de los primeros escaladores de una de las paredes más emblemáticas de la Pedriza. Además, de forma complementaria se comentan algunas implicaciones geomorfológicas sobre la posibilidad de escalar paredes graníticas de este tipo.

## **2. Red de fracturación y estructura arquitectónica natural**

La Pedriza de Manzanares presenta un complejo sistema de fracturas heredadas de las orogénias Varisca y Alpina. Las principales direcciones de fractura son W-E, WSW-ENE y N-S (Fig. 2.1). Estas fracturas son las responsables de la formación de paredes con alturas que varían de unos pocos metros, hasta el centenar de metros e incluso algo superiores. Las principales fracturas identificadas en el muro del Hueso, atendiendo a su dirección y buzamiento (Fig. 2.2), se han agrupado en cuatro familias principales:

**Fracturas Tipo 1:** Se trata de un diaclasado curvo con un buzamiento que se verticaliza hacia la base. Sus direcciones predominantes son E-W, ENE-WSW. Forman un conjunto de fracturas paralelas o subparalelas con un espaciado entre ellas que varía de centimétrico a decimétrico (Fig. 2.3). Estas fracturas son las responsables de la orientación principal de la pared del Hueso.

**Fracturas Tipo 2:** Son fracturas subverticales, planas o curvas, de direcciones N-S, NNE-SSW, NNW-SSE. Son perpendiculares a la superficie de fracturas Tipo 1 (Fig. 2.4). Forman parte esencial del conjunto de fracturas que definen y configuran los laterales del arco que forma el Hueso.

**Fracturas Tipo 3:** Se trata de fracturas en su mayoría horizontales o subhorizontales, planas o curvas, con ligeros buzamientos hacia el N o S (Fig. 2.4). Estas fracturas son las principales responsables de los desprendimientos y deslizamientos de lajas graníticas presentes en toda la pared.

Fracturas Tipo 4: Son fracturas de direcciones N-S, NNE-SSW, NNW-SSE, planas y curvas, con buzamientos de ángulos variables hacia el E y W, perpendiculares a la superficie de fracturas Tipo 1 (Fig. 2.4). Ejemplo de estas fracturas son las que definen la forma ensanchada e inclinada de la parte superior del arco del Hueso.

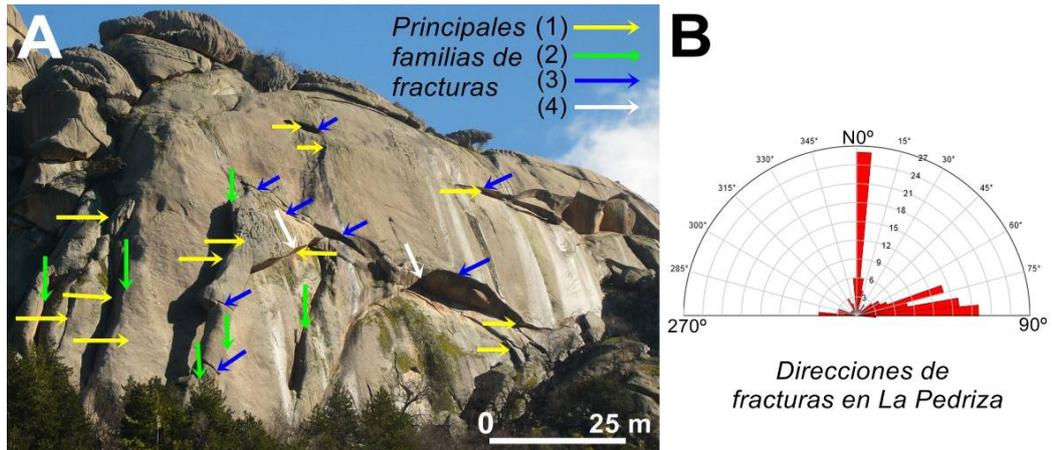


Figura 2.2. (A) Principales familias de fracturas responsables de la formación de El Hueso. (1) Fracturas paralelas o subparalelas a la superficie de la pared principal E-W, ENE-WSW, (2) fracturas subverticales N-S, NNE-SSW, NNW-SSE, (3) fracturas horizontales y subhorizontales perpendiculares a las superficies definidas por las fracturas Tipo 1, (4) fracturas inclinadas N-S, NNE-SSW, NNW-SSE con buzamiento ángulos variables hacia el E y W. (B) Principales direcciones de fracturación en la Pedriza representadas a partir de una muestra aleatoria de 150 medidas (García-Rodríguez et al., 2012). Fuente: Elaboración propia.

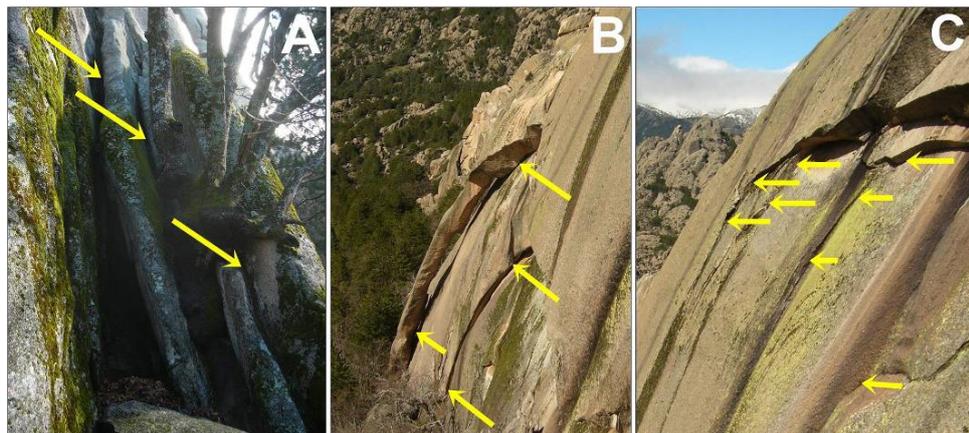


Figura 2.3. Ejemplos de fracturas Tipo 1 en distintas zonas de la pared del Hueso. (A) Zona W, (B) Zona central, (C) Zona superior E. Fuente: Elaboración propia.

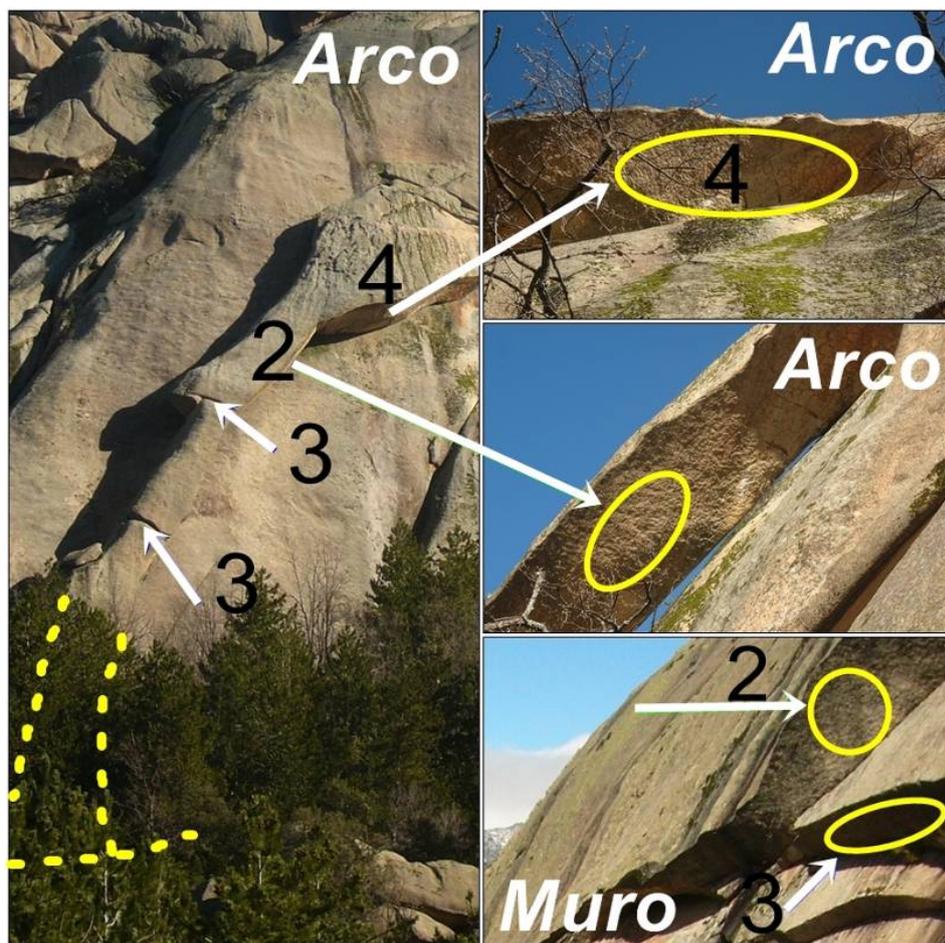


Figura 2.4. Imagen del arco del Hueso con ejemplos de superficies de fracturas de los tipos 2, 3 y 4 que se han identificado tanto sobre el arco como sobre el muro del Hueso. La conjugación de estas fracturas son las responsables de su morfología actual. En línea discontinua de color amarillo se ha representado la prolongación del arco del Hueso hasta el suelo, que en la fotografía está oculta por la vegetación. Fuente: Elaboración propia.

La relación e intersección entre las diferentes direcciones de fracturas ha permitido definir un modelo conceptual que explica la actual forma del Hueso. En la Fig.2.5 se representa, de forma simplificada en tres secuencias, la evolución de un macizo rocoso con aspecto inicial de paralelepípedo hasta llegar a la morfología actual.

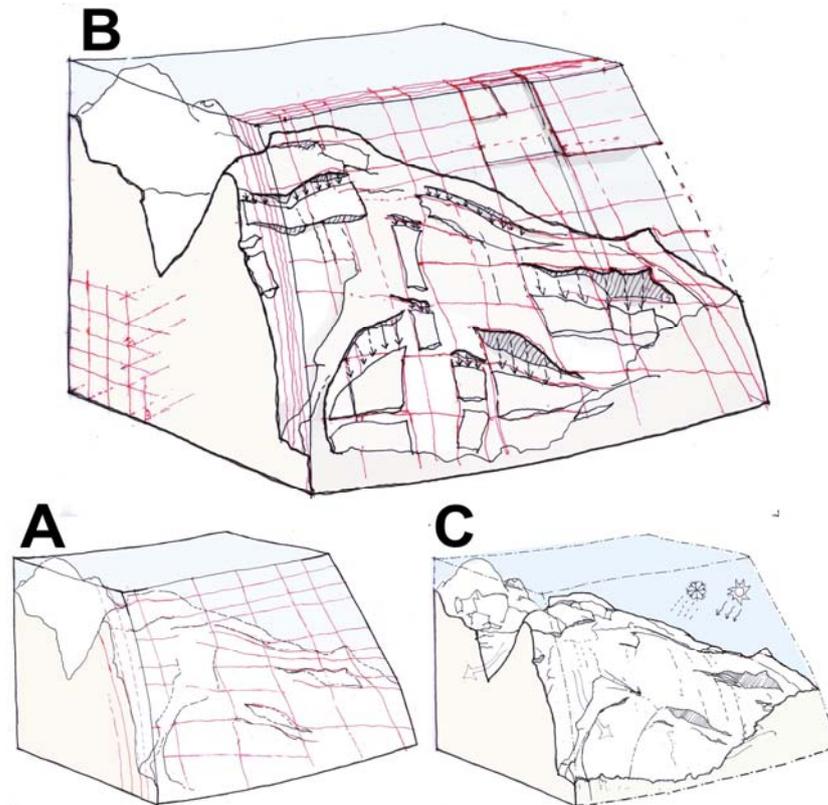


Figura 2.5. Etapas de la formación del Hueso. (A) Situación inicial en la que partimos de un macizo rocoso con forma de paralelepípedo afectado por las familias de fracturas de los tipos 1, 2, 3 y 4. (B) Esquema correspondiente a la etapa más importante en la que se define la forma del arco del Hueso a partir de deslizamientos de grandes lajas o bloques, (C) Configuración del paisaje actual suavizado y modelado por los agentes meteorológicos externos. Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad el arco del Hueso tiene forma de columna curvada e inclinada, que se mantiene en perfecto equilibrio. Las características morfológicas del arco pueden verse en la Fig. 2.6, donde se observa que la columna tiene una base y una zona superior con una anchura de unos cinco metros, y una zona central de anchura inferior a dos metros. La explicación de la distribución de esfuerzos que mantiene el arco en equilibrio puede seguirse en la Fig. 2.7.

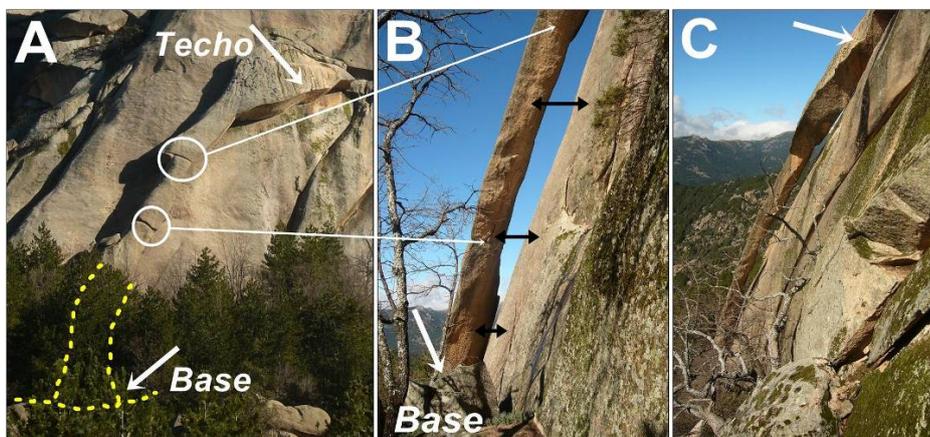


Figura 2.6. (A) Vista frontal de Hueso (SSE), (B) Vista lateral (E) con indicación de la zona basal y espaciado del arco respecto a la pared principal, (C) Vista lateral (E), zona superior. Fuente: Elaboración propia

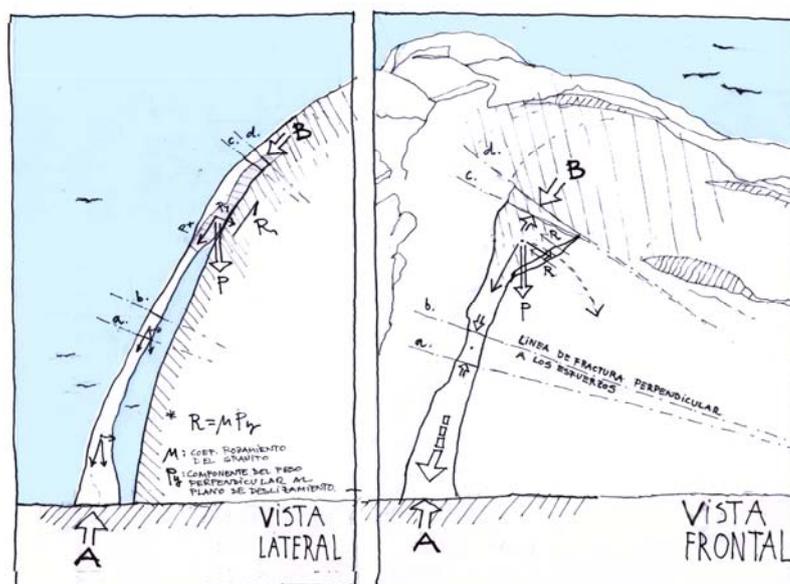


Figura 2.7. Distribución de esfuerzos sobre el arco del Hueso ( $R = \mu P_y$ ;  $\mu$ : coeficiente de rozamiento del granito;  $P_y$ : componente del peso perpendicular al plano de deslizamiento). Fuente: Elaboración propia

La vista lateral de la figura (Fig. 2.7) muestra cómo la parte aparentemente tan frágil, que configura el Hueso, se comporta como un arco de descarga capaz de transmitir la componente horizontal de los esfuerzos (que son los que desestabilizan la

estructura) hacia el suelo. Obsérvese el ensanchamiento en su base, necesario para absorber la componente horizontal de los esfuerzos que llegan al terreno. La vista frontal del Hueso (Fig. 2.7) es algo más inquietante. Pareciera que el Hueso con su parte superior tan pesada y su extrema delgadez en la parte central, que además está fracturada (fracturas a y b), debería caerse hacia la derecha. Sin embargo es precisamente dicha geometría la que le proporciona su estabilidad. Las grandes masas de piedra en sus extremos A y B distribuyen las cargas hacia sus apoyos: el suelo A y el resto de la roca B que comprimen la pieza dándole estabilidad. Observemos ahora las fracturas, todas perpendiculares a la dirección del arco, que nos muestran que todos los esfuerzos se transmiten por compresión, que es exactamente como debe funcionar un arco de descarga. Por último anotar la fuerza de rozamiento que se produce en la parte superior de la pieza ayuda a dar estabilidad al conjunto.

### **3. Rasgos geomorfológicos superficiales**

Se han identificado una serie de rasgos geomorfológicos correspondientes a formas menores, características del modelado granítico muy frecuentes en las rocas de la Pedriza (De Pedraza et al., 1989). Los principales elementos identificados han sido: endurecimientos superficiales (García-Rodríguez et al., 2014a), agrietamientos poligonales (García-Rodríguez et al., 2012; 2014b), descamación superficial y deslizamientos de lajas. En los bloques de la parte superior del muro del Hueso, además se han reconocido otras formas características de modelado granítico tales como pilas, pilancones o acanaladuras, que no han sido estudiadas en este trabajo.

#### ***3.1. Endurecimiento superficial***

El endurecimiento superficial es un proceso común que crea una superficie externa sobre las rocas de mayor dureza y más resistente a la erosión que la parte interior. El origen de estos endurecimientos es muy discutido y todavía se encuentra en fase de estudio (Dorn, 1998). Dependiendo de las características de la superficie endurecida su origen puede atribuirse a procesos subsuperficiales o bien aéreos. Cuando el endurecimiento superficial se produce cuando la roca todavía está enterrada suele estar formado por óxidos de hierro y sílice que precipitan sobre las superficies rocosas o sobre planos de fractura internos. En granitoides estas costras ayudan a estabilizar la superficie de las rocas ante la erosión, aunque al mismo tiempo que endurecen la parte exterior, tienden debilitar la zona interior (Conca, 1985).

En rocas graníticas, la idea más generalizada sobre el origen de los endurecimientos que forman una costra sobre la superficie, se atribuye a soluciones del material meteorizado que se moviliza por evaporación en la superficie de la roca y que por capilaridad desde el interior, precipitan (Twidale, 1982). Cuando se produce la rotura de dichos endurecimientos, el proceso de meteorización avanza con rapidez hacia el interior de la roca por desagregación granular (García-Rodríguez et al., 2014), o bien aprovechando zonas débiles como pequeñas oquedades o fracturas, que da como resultado una meteorización diferencial de la superficie.

En la pared y arco del Hueso estas costras duras, ricas en sílice, son muy frecuentes (García-Rodríguez et al., 2014a). Las zonas en las que ha desaparecido la costra de sílice se encuentran más meteorizadas y tienen una superficie más rugosa y deleznable. Estas zonas suelen estar teñidas de tonos rojizos debido a la oxidación del hierro de las biotitas (De Pedraza et al., 1975). La pérdida del endurecimiento superficial favorece micro-descamación y desarrollo de micro-relieves sobre la superficie (Fig. 3.1).

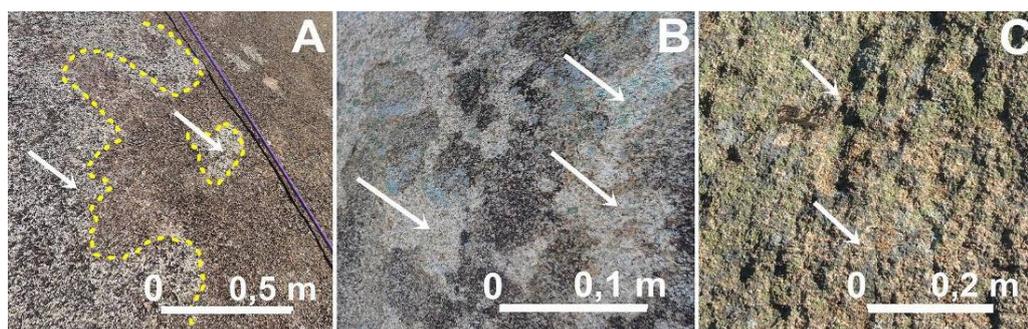


Figura 3.1. (A y B) Ejemplos de costras endurecidas en tonos blancos (con flechas) y zonas sin costras. En la figura A la zona sin costra aparece teñida de tonos rojizos por oxidación del hierro de las biotitas. En la figura B las zonas más meteorizadas sin costras presentan tonos oscuros por estar colonizadas de líquenes y/o musgos. (C) La alternancia entre zonas con costra y sin costra generan el micro-relieve. En esta figura la costra ha desaparecido casi por completo y sólo se localiza de forma residual sobre alguna protuberancia del micro-relieve. Fuente: Elaboración propia.

El término micro-relieve (García-Rodríguez et al., 2014a) hace referencia a las ondulaciones centimétricas de la pared que quedan representadas por una zona de valle más meteorizada y una zona externa de mayor dureza (generalmente con restos de costra). Los factores externos que más intervienen en su desarrollo responden a procesos clásicos de meteorización de rocas graníticas. Tienen relación con el régimen climático y con procesos químicos en los que la hidrólisis, hidratación – deshidratación

y oxidación son las principales reacciones que contribuyen a desagregar la roca, o debido a microorganismos (Viles y Goudie, 2004).

En relación con la práctica de la escalada, son precisamente las zonas endurecidas ricas en sílice las que presentan superficies más lisas y de menor adherencia, y por tanto más difíciles de superar que las que han sido meteorizadas. En las zonas meteorizadas se generan abultamientos a modo de pequeñas plataformas milimétricas donde apoyar las punteras de los pies de gato y poder progresar.

### ***3.2. Agrietamientos Poligonales***

Los agrietamientos poligonales (AP) hacen referencia a un mosaico de placas separadas por fracturas o acanaladuras, con formas poligonales, romboidales, cuadrangulares o irregulares. Estos agrietamientos aunque afectan a diversos tipos de rocas, son muy frecuentes en los granitoides de la Pedriza (De Pedraza et al., 1989; García-Rodríguez et al., 2012) y de muchas otras zonas del mundo (Twidale y Vidal Romaní, 2005; Vidal Romaní, 2008). Los AP presentan ciertas particularidades (Leonard, 1929) que pueden atribuirse a las características del granito en una etapa final de la consolidación magmática. Su origen puede relacionarse con movimientos diferenciales entre los planos de fractura producidos por cizalla, que pueden provocar estiramientos y/o acortamientos de la roca, creando una fábrica sobre la superficie de dichos planos que puede iniciar la aparición de las grietas. Vidal Romaní (1990) asocia el inicio de las grietas poligonales a una etapa rígido-dúctil sin migración de fluidos, que tendría lugar con el magma prácticamente consolidado.

Los factores externos más influyentes en desarrollo de los agrietamientos tienen relación con la meteorización por procesos químicos, rotura debido a la expansión de la parte más superficial de la roca (Schulke, 1973), procesos de hielo – deshielo (Twidale, 1982) y, desecación de las superficies rocosas debido a la insolación que produce la rotura de la parte superficial (Robinson y Williams, 1989). En rocas heterogéneas como el granito, los cristales que componen la roca, como por ejemplo el cuarzo y el feldespato, tienen diferentes coeficientes de dilatación térmica y por tanto distinta respuesta ante la meteorización por efecto de la temperatura (Gómez-Heras, 2006). Por otra parte, las grietas sometidas a una menor insolación retienen más humedad que las que tienen mayor insolación, alterándose más rápido. Los polígonos pueden formarse como resultado de esfuerzos (compresivos o distensivos) en la superficie de la roca, más probablemente debido a esfuerzos compresivos (Williams and Robinson, 1989), donde

el desarrollo de las grietas incipientes de origen tectónico continúa en condiciones aéreas (Twidale, 2002). Twidale (1982) describe AP sobre superficies curvas relacionadas con esfuerzos compresivos. Cuando las grietas de las formas poligonales han estado durante periodos de tiempo muy largos expuestas a la meteorización química, pueden llegar a profundizar varios centímetros y formas placas separadas de la pared que localmente se denominan “setas” (De Pedraza et al., 1989). En la Pedriza es frecuente que las superficies de las placas estén recubiertas de una costra endurecida, con las características tratadas en el apartado anterior, que las hace más resistente a la meteorización y erosión. Los AP del Hueso representan una buena muestra de estas formas en la Pedriza (De Pedraza et al., 1989). En la figura 3.2 se han representado los AP más característicos, asociados siempre a planos de fractura según la clasificación propuesta en García-Rodríguez et al, (2013). Algunos detalles AP y “setas” identificados en el Hueso se presentan en la figura 3.3.

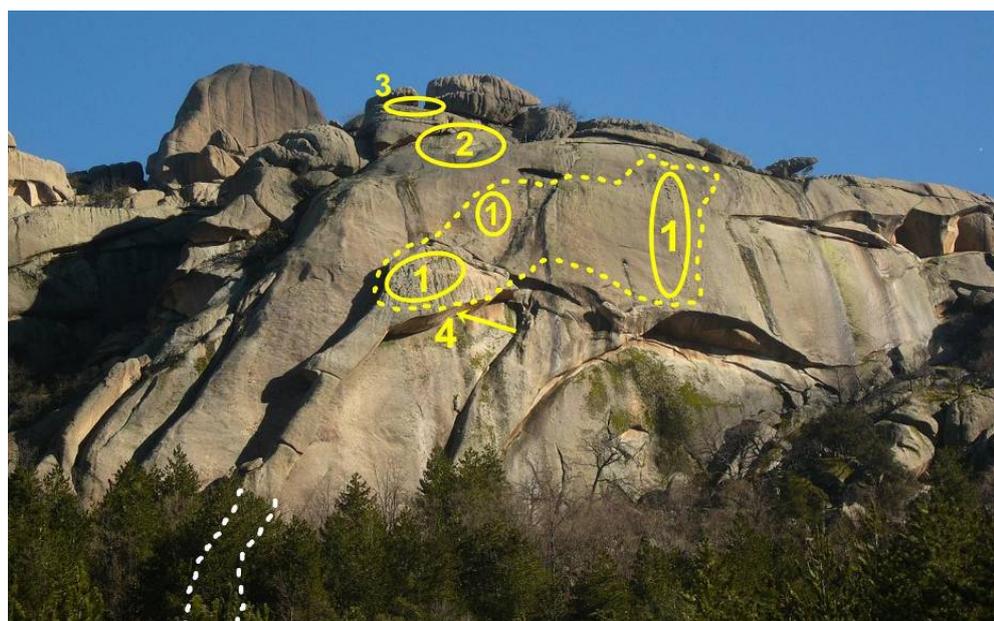


Figura 3.2. Localización de las zonas con agrietamientos poligonales mejor desarrollados. (1) Ejemplos de agrietamientos poligonales evolucionados a “setas” en la zona media-alta de la pared y asociados a una misma superficie, (2 y 3) Agrietamientos poligonales evolucionados a “setas” en la parte alta de menor pendiente y (4) Agrietamientos poligonales en un plano de fractura más actual. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con García-Rodríguez et al., (2013, 2014a, 2014b), los AP del Hueso, se asocian siempre a planos de fractura. Predominan aquellos con orientación S y los más

desarrollados de localizan sobre planos de fractura curvos de gran radio y poca pendiente en la parte superior de la pared (nº 2 y 3 de la Fig. 3.2). Los AP incluidos en la zona 1 de la figura 3.2 presentan un aspecto similar en cuanto al grado de meteorización, que lleva a interpretar que comparten una misma historia, asociados a un plano de fractura común, o bien a dos planos diferentes paralelos y cercanos, que dejó toda esa zona expuesta al aire en la misma época. Los AP de la zona 1 relacionan la superficie de muro con la del arco del Hueso representando una prueba de su continuidad geométrica. El lomo del arco del Hueso representa el único vestigio de la superficie original de fractura, que tiene continuidad con la zona superior. Los AP del lateral del arco (Fig. 3.3C) presentan menor incisión en sus grietas, que denota un menor tiempo de exposición a la insolación y humedad, según corresponde a un plano de fractura que ha quedado expuesto más recientemente, desde que se desprendió el bloque que ha originado su forma actual (Fig. 2.5B).

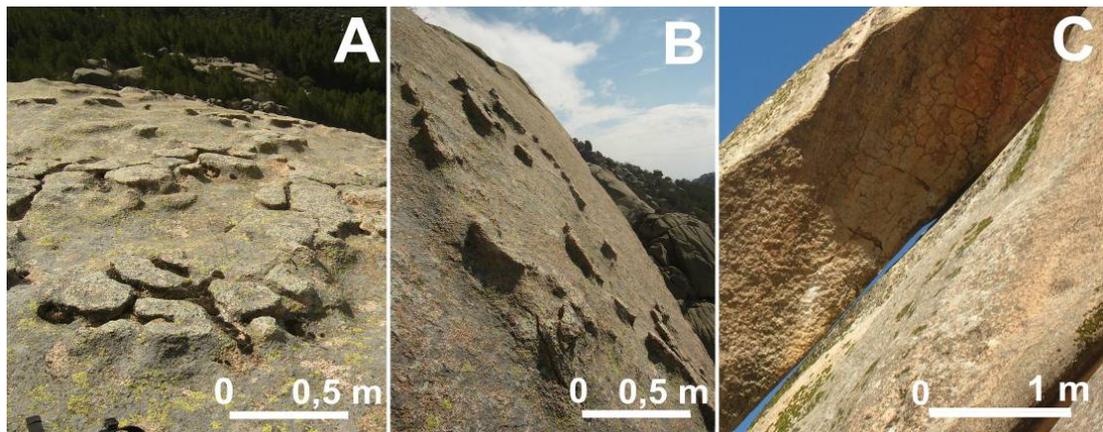


Figura 3.3. (A y B) Ejemplos de agrietamientos poligonales en el muro del Hueso evolucionados a “setas”. (C) Agrietamientos poligonales. Fuente: Elaboración propia.

Las zonas con AP y “setas” representan verdaderas escaleras naturales y magníficos puntos de reposo para los escaladores que se encuentran con estas formas durante su ascenso.

### 3.3. Descamación superficial

El proceso incluye dos mecanismos que a veces actúan en paralelo; por desagregación granular y o por desagregación de pequeñas placas de pocos milímetros que se van desprendiendo paralelamente a la superficie de la pared o frente de alteración

(De Pedraza et al., 1989). Estos mecanismos se hacen activos por procesos de meteorización bien mecánicos (p.ej. hielo-deshielo), químicos (p.ej. hidrólisis y oxidación) o biológicos (p.ej. líquenes y musgos). En la zona del Hueso este proceso es muy común, en particular en el muro situado al W del arco del Hueso. Este mecanismo de alteración se hace especialmente efectivo debido a la abundancia de micro fracturas preexistentes paralelas a la pared, que constituyen planos de debilidad en los que actúan los procesos antes citados (Fig. 3.4A).

El desprendimiento de placas por descamación genera pequeñas repisas (Fig. 3.4B y 3.4C) que tienen anchuras de apenas 2 o 3 milímetros. En muchas ocasiones estas repisas son los únicos elementos que permiten progresar durante la escalada en paredes casi verticales y completamente lisas. Por otra parte, cuando la meteorización está muy avanzada, estas escamas o microplacas se desprenden de la pared con suma facilidad y pasan a representar elementos que dificultan la escalada.

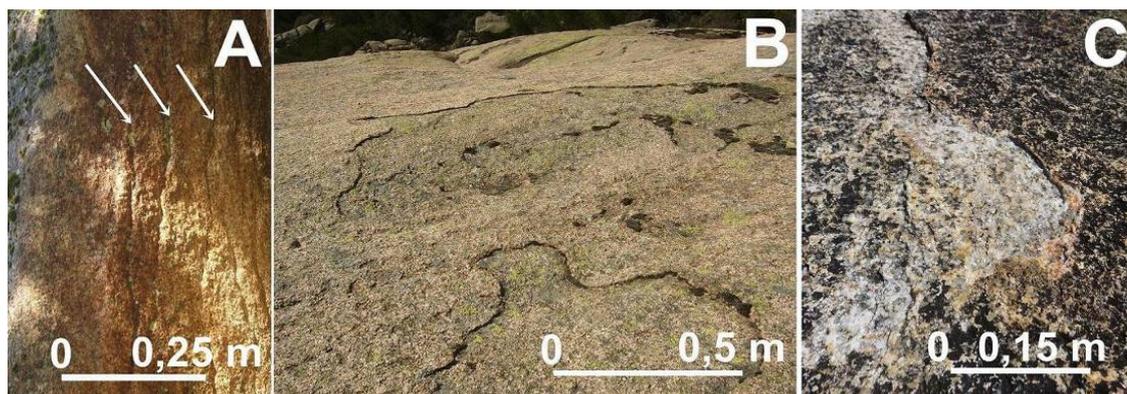


Figura 3.4. (A) Micro fracturas identificadas sobre un plano perpendicular a la pared principal, (B y C) ejemplos de descamaciones sobre la pared del Hueso. Fuente: Elaboración propia.

### **3.4. Deslizamiento de lajas**

Son deslizamientos a favor de planos de fractura subverticales, generalmente curvos (Fig. 3.5). Se trata de un proceso muy común en toda la pared del Hueso que es en definitiva el responsable de su forma actual. El desprendimiento de las lajas se produce cuando intersectan fracturas de direcciones más o menos perpendiculares entre sí.

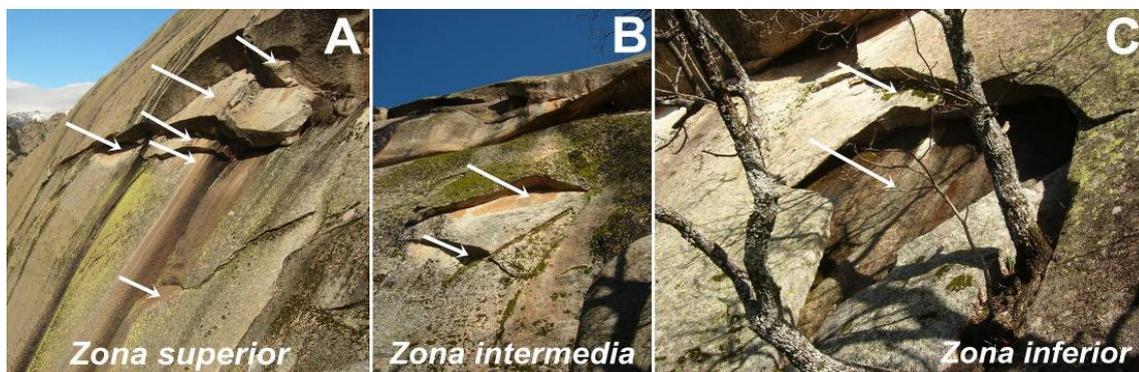


Figura 3.5. Cicatrices de deslizamientos de lajas en la pared del Hueso a diferentes alturas. Fuente: Elaboración propia

Los deslizamientos de lajas en paredes de mucha pendiente van a ser los responsables de la formación de techos y extraplomos, cuya superación suele requerir técnicas de escalada artificial. Con frecuencia la red de fracturas que delimitan la zona de las lajas desplazadas son las únicas líneas de debilidad que permiten abordar la escalada de esos techos.

#### 4. Resumen y conclusiones

El artículo relaciona variables geológicas con aspectos arquitectónicos (estructurales) y deportivos, poniendo de manifiesto la importancia que tiene acercar la ciencia a otras actividades de la sociedad. Los resultados de este trabajo han permitido proponer un modelo conceptual que explica la forma del arco del Hueso a partir de la geometría de la red de fracturación y de sucesivos deslizamientos de bloques y lajas. El Hueso define una estructura estable que se comporta como un arco de descarga capaz de transmitir los esfuerzos, con sus componentes verticales y horizontales hacia el suelo. Todas las fracturas son perpendiculares a la dirección del arco, con esfuerzos que se transmiten por compresión.

La Pedriza de Manzanares representa un marco excepcional para el estudiar los procesos de meteorización y fracturación que rocas graníticas. En particular, el estudio de la pared del Hueso ha permitido identificar varios procesos responsables del modelado granítico muy frecuentes en todo el ámbito de La Pedriza. Formas comunes descritas en este artículo han sido endurecimientos superficiales, micro-relieves, agrietamientos poligonales, desplazado o meteorización en placas y deslizamientos de lajas. La morfología y distribución de los AP tanto en la pared y arco del Hueso

permiten establecer relaciones temporales relativas de la secuencia de fracturación de las principales lajas desprendidas de la pared. En particular, el estado evolutivo de los AP localizados en la parte superior del arco del Hueso y los AP del muro que se localiza inmediatamente por encima, hablan de una misma etapa de fracturación y una superficie común. Actualmente los únicos restos de dicha superficie en la mitad inferior de todo el muro está representada por el lomo del arco del Hueso. A ambos lados del arco del Hueso esa superficie externa ha ido desapareciendo progresivamente a partir de sucesivos deslizamientos de bloques y lajas primero, y descamaciones después.

Debido a que La Pedriza es la escuela de escalada por excelencia en adherencia de los madrileños, se han descrito algunas características geológicas que tienen relación directa con las posibilidades de escalada en esta pared, extensible a muchas otras del entorno y de otros macizos graníticos similares. Como ya es bien sabido por los escaladores locales, en paredes con cierta verticalidad son precisamente las repisas milimétricas que dejan las descamaciones superficiales las que permiten progresar en dichas zonas. Por otra parte, los agrietamiento poligonales y las “setas” resultantes de su meteorización, han sido desde antiguo formas muy valoradas para progresar e incluso asegurar las cordadas. Por último, señalar que las superficies cubiertas por endurecimientos superficiales añaden una dificultad adicional en la escalada extrema en la Pedriza, debido a la baja adherencia de dichas superficies ricas en sílice frente a aquellas zonas en las que no se encuentra.

El trabajo representa un documento didáctico que puede servir como guía para que los excursionistas, educadores, naturalistas y escaladores que visiten la Pedriza, puedan entender algunas de las formas observadas.

## **5. Agradecimientos**

A Lucas y Elda García por la colaboración en el trabajo de campo. A Miguel Gómez-Heras por la revisión del artículo y a Javier de Pedraza por las sugerencias aportadas.

## 6. Bibliografía

- BERNALDO DE QUIRÓS, C. (1923). “La Pedriza del Real Manzanares”. Comisaría Regia del Turismo y la Cultura artística. 2ª edición, Madrid, 174 pág.
- BOLLATI, I., ZUCALI, M., GIOVENCO, C. and PELFINI, M. (2014). “Geoheritage and sport climbing activities: using the Montestrutto cliff (Austroalpine domain, Western Alps) as an example of scientific and educational representativeness”. *Ital. J. Geosci. Boll. Soc. Geol. It.*, Vol. 133, (2). (doi:0.3301/IJG.2013.24).
- CARCAVILLA, L., SALAZAR, A. (2013). “Itinerario geológico por la Pedriza de Manzanares”. Guía de la Excursión. Semana de la Ciencia Noviembre de 2013. [http://www.igme.es/museo/pro\\_educativos/semana\\_ciencia/semana11.htm](http://www.igme.es/museo/pro_educativos/semana_ciencia/semana11.htm). 36 pág.
- CONCA, J.L. (1985). “Differential weathering effects and mechanisms”. Dissertation Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, 251 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 PEDRAZA J, CARRASCO M.R, and DOMÍNGUEZ-VILLAR, D. (GUTIÉRREZ, F. and GUTIÉRREZ, M., editors) (2014). “Geomorphology of La Pedriza Granitic Massif, Guadarrama Range. Landscapes and landforms of Spain”. Springer. Cap. 4, 71-80.
- DE PRADO, C. (1975). Descripción física y geológica de la provincia de Madrid. "Reedición facsímil del original publicado en 1864". Publicaciones especiales Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 325 p.
- DORN, R.I. (1998). “Rock coatings”. *Developments in Earth Surface Processes* 6. Elsevier, 417 pp.
- GOMEZ-HERAS, M., SMITH, B.J., FORT, R. (2006). “Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: Implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue”. *Geomorphology* 78 (3-4): 236-249.
- 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.; ALVAREZ DE BUERGO, M.; FORT GONZÁLEZ, R.; GÓMEZ-HERAS, M.; CENTENO J.D. (2013). “Thermal and structural controls on polygonal cracking in granite of La Pedriza de Manzanares (Madrid)”. 8th IAG

- International Conference on Geomorphology, Paris. Poster presentation, Abstracts Volume, pp. 303.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M. y CENTENO, J.D. (2014). “Identificación de fases erosivas en la Pedriza de Manzanares a partir de formas de alteración expuestas”. *Tecnologí@ y Desarrollo, UAX*. Vol. XII. 20 pág.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M., GOMEZ-HERAS, M., FORT GONZÁLEZ, R., ALVAREZ DE BUERGO, M., CENTENO, J.D., (2014a). “Influencia de los endurecimientos superficiales en el micro-relieve de las superficies graníticas de la Pedriza de Manzanares. Parque Nacional de Guadarrama (España)”. *Tecnologí@ y Desarrollo, UAX*. Vol. XII. 23 pág.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M., GOMEZ-HERAS, M., ALVAREZ DE BUERGO, M., FORT GONZÁLEZ, R., CENTENO, J.D. (2014b). “Caracterización de agrietamientos poligonales sobre granito en la Pedriza de Manzanares y en Cenicientos, Madrid (Sistema Central)”. *Revista electrónica de Medio Ambiente M+A. UCM*. Vol.15 (1), 22-36.
- HERNÁNDEZ PACHECO, E. (Director) (1931). “Guía de los Sitios Naturales de interés Nacional”. Nº 1. Sierra de Guadarrama. 107 pág., 4 mapas. Junta de Parques Nacionales y Patronato Nacional de Turismo. Madrid.
- LEONARD, R.J. (1929). “Polygonal cracking in granite”. *American Journal of Science* 18: 487-492.
- LUJAN, J.L. y ZAPATA D.A. (2005). “Guía de escalada. La Pedriza”. Editorial Barrabes. 632 pág.
- PANIZZA, V, and MENNELLA, M. (2007). “Assessing geomorphosites used for rock climbing: the example of Monteleone Rocca Doria (Sardinia, Italy)”. *Geographica Helvetica*. Vol. 62 (3), 181-191.
- 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.
- POZZA, P., BELTRANDO, M., NARDI, M., LUGERI, F., and BOSCHIS, G. (2009). “Geology and sport; the link between rock climbing and geomorphology”. Abstracts - International Geomorphology Conference 7.
- ROBINSON, D.A., WILLIAMS, R.B.G. (1989).” Polygonal cracking of sandstone at Fontainebleu, France”. *Zeitschrift für Geomorphologie* 33: 59-72.
- SCHULKE, H. (1973). “Schildkrotenmuster und andere Polygonalstrukturen auf Felsoberflächen”. *Zeitschrift für Geomorphologie* 17: 474-488.
- TWIDALE, C.R. (1982). “Granite Landforms”. Elsevier, Amsterdam.

- TWIDALE, C.R. (2002). "The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea". *Earth-Science Reviews* 57: 37-74.
- TWIDALE, C.R. and VIDAL ROMANÍ, J.R. (2005). "Landforms and Geology of Granite Terrains". Balkema, Leiden.
- VÍAS, J. (2011). "Memorias del Guadarrama. Historia del descubrimiento de unas montañas". Ediciones la Librería, 319 pág.
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1990). "Formas menores en rocas graníticas: un registro de su historia deformativa". *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 15: 317-328.
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (2008). "Forms and structural fabric in granite rocks". *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 33: 175-198.
- VILES, H.A., GOUDIE, A.S. (2004). "Biofilms and case hardening on sandstones from Al-Quwayra, Jordan". *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 1473–1485.