



PILAS PLUVIALES EN LAS PIZARRAS DE LA SERENA (BADAJOZ)

Weathering pits in slates from La Serena (Badajoz, SW Spain)

Pilas pluviales en las pizarras de La Serena

J. Baonza Díaz

Ctra. Valdemanco, 28. Bustarviejo, 28720 (Madrid). jbd@ya.com

Resumen: Se describe un caso novedoso de pilas o pilancones no fluviales desarrollados en las pizarras precámbricas de La Serena (Badajoz). Aparecen en los escasos afloramientos de pizarras, de foliación vertical, que forman superficies horizontales. Estos pilancones son principalmente elípticos en planta, desarrollada transversalmente a la foliación de la roca, y de escasa profundidad (longitud, anchura y profundidad media de 66, 38 y 18 cm respectivamente). Se discute el origen considerando el tipo de roca y afloramiento rocoso en el que aparecen, así como su desarrollo relacionado con procesos de meteorización ligados al agua que almacenan estacionalmente.

Palabras clave: Morfometría, pilancones pluviales, pizarras.

Abstract: A rare case of weathering pits or gnammas developed in Precambrian shale outcrops are described in La Serena region (Badajoz, SW of Spain). They appear in the scarce outcrops of slates, of vertical foliation, which form horizontal surfaces. These pits are mainly elliptical in plant, developed transversely to the bedrock foliation pattern, and of small size (average length, width and depth of 66x38x18 cm). Its genesis, considering the type of rock and bedrock outcrop characteristics, their size and number, as well as potential origin linked to weathering processes due to seasonal water storage is discussed.

Key Words: gnamma morphometry, weathering pits, gnammas, shales, Spain.

1. Introducción

Las pequeñas cubetas desarrolladas en la superficie de rocas con escasa inclinación que retienen el agua de lluvia, han recibido diversos nombres como pilas o pilancones en castellano, en otros idiomas pias, cassoletes, weathering pits, rock holes, pot holes, rock basins, gnammas, vasques,

etc. (Vidal & Twidale, 1998). Pilas o pilancones no son denominaciones completamente específicas por haberse usado también para denominar las cubetas formadas en lechos fluviales rocosos por flujos de agua helicoidales. Por tal motivo se propone aquí especificar el tipo aludiendo a que el agua que retienen, muy relacionada con su desarrollo, es de origen pluvial.



J. Baonza Díaz (2008). Pilas pluviales en las pizarras de la Serena (Badajoz). *Rev. C & G.*, 22 (1-2), 41-49.

Estos pilancones pluviales han sido descritos en muy diversos tipos de rocas (granitos, areniscas, basaltos, gneises, esquistos o calizas, donde se denominan kamenitzas) bajo gran diversidad de condiciones climatológicas, desde zonas desérticas a polares (v.g. Campbell & Twidale, 1995; Vidal & Twidale, 1998; Goudie & Migón, 1997; Robinson & Willians, 1994). Se presenta un curioso ejemplo en las pizarras de La Serena (Badajoz), litología sobre la que no se han encontrado otros ejemplos en la bibliografía.

2. Área de estudio y tipología de emplazamientos

Se han recorrido amplias zonas con afloramientos de pizarras precámbricas en los municipios de Castuera y Cabeza de Buey en La Serena (Badajoz), más la práctica totalidad del Valle de Alcuía (Ciudad Real), dentro de Sierra Morena. Se han encontrado pilancones en dos tipos de afloramiento de pizarras:

1. Relativamente grandes afloramientos, de varios metros de desarrollo vertical, situados en

zonas de fuerte encajamiento de la red fluvial, como el Arroyo del Mejoral en La Serena y el Río de la Cabra en el Valle de Alcuía. Aquí aparecen principalmente formas poco desarrolladas y aisladas en pequeños escalones, que proporcionan casi las únicas y reducidas superficies horizontales (<0,3 m²) donde poder desarrollarse los pilancones. Estos ejemplos no han sido estudiados.

2. Pilas más abundantes, generalmente gregarias, en cualquier grado de evolución, y que son las estudiadas, aparecen en los raros afloramientos rocosos con forma de pequeña mesa (diámetro <10 m y hasta 0,5 m de altura), o escalón en las laderas, situados en zonas con la red fluvial poco encajada. Se han encontrado en los parajes de El Marroquín y Romero Pérez de Castuera en La Serena (cuadrículas UTM de 1 km de lado 0285,4300; 0286,4300 y 0286,4301), a unos 410 m de altitud. Este tipo de afloramiento está producido por planos de fracturación perpendiculares a la foliación, dando lugar a superficies horizontales. Estas formas contrastan con las morfologías conocidas como “dientes de perro”, resaltes rocosos de formas puntiagudas, típicamente de 0,5-2 m de altura (Fig.1) y que son frecuentes en La Serena.

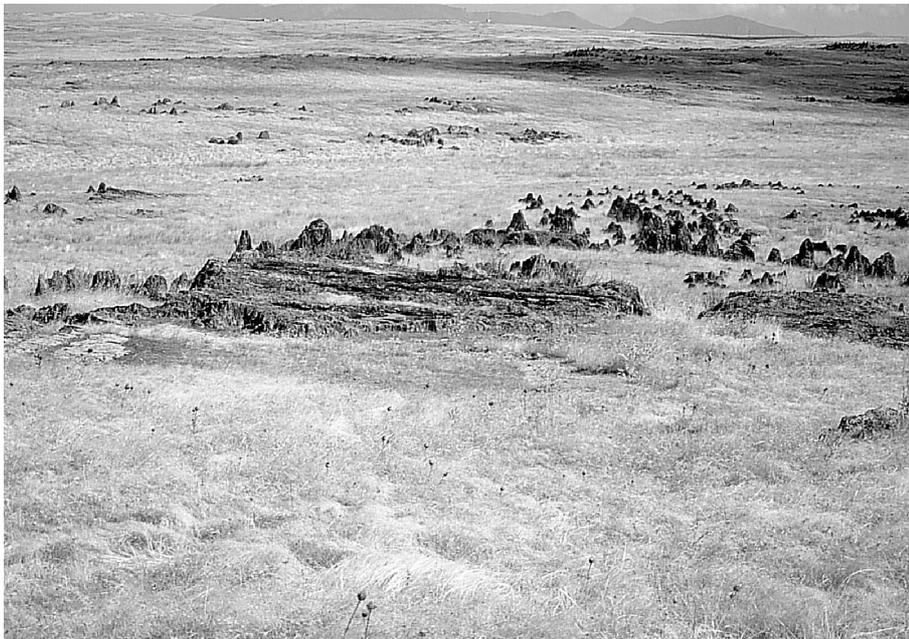


Figura 1. Aspecto de los afloramientos de pizarras ricos en pilancones. Detrás aparecen morfologías típicas en “dientes de perro”.
Figure 1. View of slate outcrop rich in weathering pits. Behind a morphology of type “dog teeth” is shown.

En el Valle de Alcudía además se han localizado algunos pilancones en los pitones volcánicos pliocénicos de los Castillejos de La Bienvenida (Almodóvar del Campo), y que hasta el momento no han sido estudiados.

3. Encuadre regional

La comarca de La Serena (sureste de Badajoz) es una extensa penillanura sobre pizarras precámbricas, situada en torno a 400 m de altitud y completamente deforestada, que se continúa en Ciudad Real por el Valle de Alcudía, donde alcanza mayor altitud, hasta 720 m, y donde persisten abundantes dehesas de encinas. Tanto La Serena como el Valle de Alcudía forman parte del llamado Complejo Esquisto-grauváquico, de edad Vendense superior, dentro de la Zona Centroibérica del Macizo Ibérico (ver Martínez *et al.*, 2004c; Rodríguez *et al.*, 2004; Fig. 2).

Dentro de este complejo, ambas zonas se incluyen en la unidad basal (Alcudiense inferior), que a pesar de la amplia superficie ocupada (520x150 km) no ha podido ser diferenciado en distintas unidades por su monotonía litológica, la falta de niveles guía y por la estructura compleja (Pieren, 2000,

p. 111). Dominan las lutitas, limolitas y grauvacas, con presencia de conglomerados poligénicos, correspondientes a un aparato turbidítico; estos materiales se caracterizan por un bajo grado de metamorfismo, a pesar de los grandes espesores de sedimentos existentes y la intensa deformación (Pieren, 2000, p. 342). Los afloramientos típicos corresponden a pizarras pardas algo satinadas, muy deformadas y con una intensa esquistosidad, o a pequeños bancos grauváquicos alternando con metalimolitas (Pieren, 2000, cap. 10, p. 3). Las pizarras son limolitas micrograuváquicas o lutitas masivas compuestas casi exclusivamente por cuarzo y micas con matriz clorítico-sericítica (Pieren, 2000, cap. 10, p. 5).

Esta unidad Alcudiense inferior está afectada por una deformación precámbrica (Cadomiense) consistente en pliegues sin foliación asociada ni metamorfismo, tras la que se depositaron materiales siliciclásticos y carbonatados de la unidad Alcudiense superior (González, 2004) y del Cámbrico inferior, mientras no se ha preservado registro sedimentario del Cámbrico medio y superior en toda la zona Centroibérica (Azor, 2004).

La secuencia ordovícica se dispone en discordancia angular sobre las rocas infrayacentes (Discordancia Toledana) y se inicia con una forma-

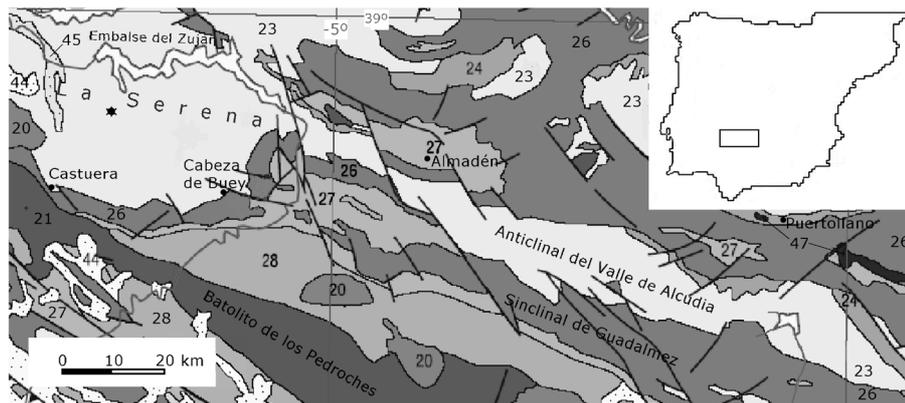


Figura 2. Situación del área de estudio y marco geológico. Rocas plutónicas variscas (20: granitoides cordieríticos; 21: granitoides tardicinemáticos). Macizo Varisco Ibérico (23: Proterozoico; 24: Cámbrico-Proterozoico superior; 26: Ordovícico; 27 Silúrico-Devónico; 28: Carbonífero). Cobertera Cenozoica (44 Plioceno; 45: Cuaternario). 47: Vulcanismo Plioceno Cuaternario. (A partir de Rodríguez-Fernández, 2004, modificado).

Figure 2. Geographic and geological setting of the study area. Variscan plutonic rocks (20: cordieritic granitoids; 21: tardicinematic granitoids). Iberian Variscan massif (23: Proterozoic; 24: Cambrian- Upper Proterozoic; 26: Ordovician; 27 Silurian-Devonian; 28: Carboniferous). Cenozoic cover (44 Pliocene; 45: Quaternary). 47: Pliocene-Quaternary volcanism. (From Rodríguez-Fernández, 2004, modified).

ción base de espesor variable, lo que se ha interpretado como el inicio de una sedimentación transgresiva sobre un paleorelieve (Martínez *et al.*, 2004b). De este periodo destacan la cuarcita Armoricana que constituye el principal componente de las sierras circundantes. Hasta el fin del Devónico continúa la deposición de materiales siliciclásticos, con la excepción de dos hiatos en el Ordovícico superior y el Devónico medio (Martínez *et al.*, 2004b).

La orogenia Varisca (Carbonífero inferior y medio) causa en el dominio del Complejo Esquisto-grauváquico pliegues levantados, con planos axiales verticales o fuertemente inclinados hacia el noreste (en La Serena representados por el Gran Anticlinorio Centro Extremeño y en Alcuía por el anticlinal homónimo), en cuyo núcleo aflora el complejo esquisto-grauváquico; el metamorfismo regional contemporáneo es de presión intermedia o baja, y de grado muy bajo o bajo, con escasa recristalización (Martínez *et al.*, 2004a).

La evolución posterior de la zona es ya completamente continental y con predominio de los fenómenos de denudación sobre los sedimentarios. El Macizo Ibérico se encuentra afectado por arrasamientos generalizados que generaron ya una penillanura pretriásica, pero que evolucionaría durante el Mesozoico de forma compleja, con retoques sucesivos de los viejos aplanamientos generando superficies policíclicas o de regradación (Martín-Serrano & Molina, 2005). En el ámbito de La Serena, los restos de la penillanura fundamental se han estimado de una edad Paleógeno (Molina *et al.*, 1986). En Alcuía llegan a aparecer restos de antiguas rañas pliocenas (Hernández, 1933).

La Orogenia Alpina produjo el ascenso del bloque elevado de La Serena, junto con Sierra Morena, siguiendo las estructuras variscas (Vegas *et al.*, 2004). Del Cuaternario se encuentran derrumbios de ladera y sedimentos aluviales (Miranzo, 2005). No existen mantos de alteración e incluso los suelos desarrollados sobre la penillanura son muy superficiales y casi limitados a las zonas más planas.

A nivel de microforma, destacan los denominados “dientes de perro”, producidos por erosión diferencial a partir de los metasedimentos de pizarras y grauvacas, y condicionados por la disposición subvertical de los estratos y la esquistosidad.

Su formación es un proceso tardío, desarrollado sobre la penillanura, seguramente a partir del Plioceno, cuando se originó el encajamiento de la red fluvial actual (Miranzo, 2005). Estos dientes de perro son abundantes en La Serena, pero escasos en el Valle de Alcuía, donde además alcanzan menor desarrollo.

La zona es de clima típicamente mediterráneo. Según los datos recogidos en la estación meteorológica de Castuera (512 m) para el periodo 1961-1990, la precipitación media anual es de 459 mm, con mínimas en agosto (6 mm) y máximo en diciembre (60 mm). Por su parte la temperatura media anual es de 17,3°C, con julio como mes más cálido (27°C) y enero como mes más frío (8,9°C). En esta zona se registran una media de 26 días de helada anuales.

4. Metodología

En total se han estudiado 34 pilancones bien desarrollados y correspondientes a 16 afloramientos rocosos distintos. Se han medido sus dimensiones al nivel de máxima inundación (Fig. 3): longitud, anchura (anchura máxima perpendicular a la longitud) y profundidad (incluida la parte ocupada por sedimento). Por tanto esta profundidad no es la profundidad total del pilancón, sino la que alcanza hasta el nivel de desagüe (Nivel de máxima inundación). En los seis casos donde se ha medido la máxima profundidad de la pila se ha comprobado que ésta es un 46% mayor que el nivel de máxima inundación y que ambas variables están fuertemente correlacionadas ($r=0,96$; $p=0,002$). Las mayores diferencias se encuentran en los pilancones que se hallan en el borde del escalón del resalte rocoso, lo que frecuentemente provoca que la pared del pilancón del mismo lado se encuentre rebajada, actuando como desagüe. Además se ha calculado la relación entre la longitud y la anchura (L/A) como índice de circularidad.

Los pilancones estudiados acumulan sedimento, aunque en la zona aparecen otros, a veces adyacentes, prácticamente limpios. Las dimensiones de este sedimento también ha sido tomadas: longitud, anchura y profundidad máximas.

Estos datos se analizan mediante los estadísticos básicos y el análisis de correlación, realizados

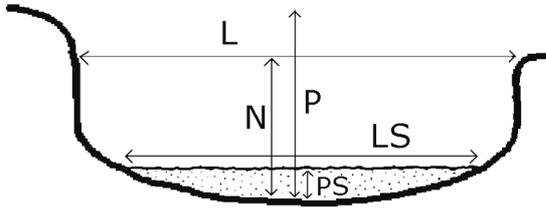


Figura 3. Variables medidas en cada pilancón. L= longitud. P= profundidad. N= nivel de máxima inundación. LS= longitud del sedimento. PS= profundidad del sedimento. La anchura de la pila (A) y del sedimento (AS) se toman perpendiculares a las longitudes respectivas.

Figure 3. Measurement of the weathering pits. L= length. P= depth. N= maximum level of water. LS= length of sediments. PS= depth of sediments. The width of the pit (A) and that of the sediment (AS) are perpendicular to the respective lengths.

mediante el programa Statistica 6.1 (Statsoft, 2002). Se han descartado las formas incipientes de los pilancones, ocasionando que tanto los valores mínimos como la media, especialmente de la profundidad, se encuentren sobredimensionados.

5. Descripción y análisis

5.1. Aspecto

La foliación vertical de las pizarras se manifiesta en que la superficie de los pilancones aparece completamente estriada y que el borde del pilancón dibuje una línea irregular en detalle, por la progresión diferencial del pilancón según la dureza del estrato.

La superficie del pilancón, hasta donde se acumula el agua, presenta una coloración negra por crecimiento de algas incrustantes, que contrasta con la superficie no inundable y el exterior del pilancón, donde crecen líquenes y musgos (Fig. 4). Esta cubierta de algas permite identificar las formas incipientes, de profundidad casi inapreciable, fenómeno similar a lo que ocurre en pilas desarrolladas sobre granitos de la Sierra de Guadarrama (obs. prop.) y en el desierto del Namib (Goudie & Migón, 1997).

En muchos casos se acumulan clastos de pizarra, seguramente resultantes del crecimiento del



Figura 4. Pilancones en pizarras.
Figure 4. Weathering pits on shales.

pilancón, y, más frecuentemente, sedimento fino. Este sedimento parece de origen eólico y por acumulación de excrementos de oveja, los cuales no flotan y aparecen en todos los estados de degradación posibles. Este sedimento permite la instalación de plantas vasculares anfibias como *Crassula vailantii* e *Isoetes velatum*, que favorecen la retención del mismo.

5.2. Morfometría

Los estadísticos básicos de las mediciones aparecen en la Tabla 1. Los pilancones son de dimensiones más bien reducidas, el mayor de 150x80x9,4 cm, en gran parte limitados por lo reducido de las superficies (sub)horizontales necesarias para su aparición.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los pilancones. Abreviaturas indicadas en el pie de la figura 3.

Table 1. Descriptive statistics of weathering pits. Legend shown in figure 3.

Variable	N.º	Media	Mínimo	Máximo	Desv. std.
L (cm)	34	65,62	22,0	150,0	33,330
A (cm)	34	38,29	15,0	80,0	16,479
P (cm)	6	18,25	8,0	29,0	6,970
N (cm)	34	10,83	4,2	18,7	3,451
L/A	34	1,714	1,03	3,69	0,545
LS (cm)	34	50,72	17,0	103,0	24,262
AS (cm)	34	28,79	8,0	60,0	14,457
PS (cm)	34	5,70	2,0	10,0	20,017

Son bastante variables en la forma, desde someros y amplios *versus* relativamente profundos y de reducido desarrollo horizontal, pero sin poderse definir subtipos distintos por formar un continuo. Esta variación es independiente del afloramiento (Fig. 5).

En planta son de formas elípticas, ovoides o casi circulares. Algunos, no caracterizados, son lobulados por coalescencia de varios de ellos. La mayoría son algo alargados ($1,5 < L/A < 2$; $n=16$), seguidos de los casi circulares ($1 < L/A < 1,5$; $n=11$), siguen los bastante alargados ($2 < L/A < 2,5$; $n=5$), existiendo dos casos de pilancones de forma muy elíptica ($3 < L/A < 4$). La relación entre la longitud y la anchura es independiente del tamaño, ya que están significativamente correlacionadas ($r=0,83$;

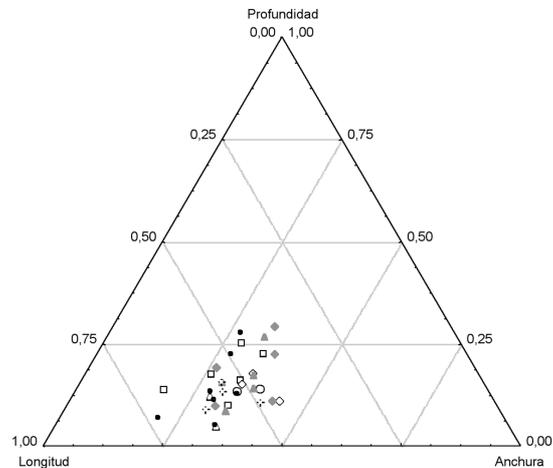


Figura 5. Diagrama triangular de la longitud, anchura y profundidad de los pilancones, esta última estimada como el nivel de máxima inundación incrementado un 46 % (ver apartado de metodología). Cada símbolo indica un afloramiento distinto.

Figure 5. Ternary graphs of length, width and depth of measured weathering pits. Depth is estimated as highest inundation level plus a 46% buried by sediment (see methodology). Each symbol is indicative of a different bedrock outcrop.

$p < 0,001$). En todos los casos encontrados el eje mayor es paralelo al plano de foliación. A pesar de esta orientación preferente del crecimiento de las pilas, curiosamente la forma final no es mucho más alargada que la desarrollada en otras litologías como areniscas (Goudie & Migón, 1997) o granitos (Uña, 1998). No se han encontrado pilancones con las paredes sobre-excavadas y con visera, fenómeno frecuente en otras litologías (Vidal & Twidale, 1998; Robinson & Willians, 1994; etc.).

La profundidad, tanto del pilancón como del nivel de inundación, no se correlaciona ni con las dimensiones del pilancón ni con la relación L/A (Tabla 2). La mayor profundidad encontrada alcanza los 29 cm, con 18 cm de máxima inundación, y corresponde a un pilancón de 48x30 cm. Las pilas más profundas (evolucionadas) aparecen en los afloramientos rocosos que llevan más tiempo expuestos, tal y como se refleja en la mayor elevación del afloramiento respecto al pedimento y su superficie irregular, erosionada. En los afloramientos superficiales, sin formar resalte y con el plano superior más liso, sólo se observan formas de esca-

sa profundidad, aunque pueden tener un desarrollo en superficie equiparable a los más profundos.

Tabla 2. Correlación entre la profundidad del pilancón y sus dimensiones horizontales. p= Significación de las correlaciones. Resto de abreviaturas como en figura 3.

Table 2. Correlation between depth and horizontal dimension. p= significance of correlations. Other abbreviations are shown in figure 3.

	N.º	L	A	L/A
P	6	0,389	0,293	0,265
p=	-	0,446	0,573	0,611
N	34	0,106	0,060	0,139
p=	-	0,550	0,737	0,433

6. Discusión

No se ha encontrado ninguna referencia anterior a la presencia de pilancones en pizarras. Su génesis y desarrollo están ligados a los peculiares afloramientos de pizarras con foliación vertical y planos de fractura horizontales encontrados en La Serena.

Aunque se han definido con carácter general diversos tipos de pilas pluviales o gnammas basadas en su forma, (Twidale & Corbin, 1963; Vidal & Twidale, 1998), con algunos tipos restringidos a estudios concretos (v.g. Goudie & Migón, 1997; Sanz, 1996), ninguna de estas descripciones aporta unos criterios cuantitativos que permitan una clasificación inequívoca de las formas. Así las pilas encontradas en las pizarras de La Serena irían desde formas poco profundas y de fondo plano, correspondientes a los denominados “pan” según dichas clasificaciones, hasta formas de desarrollo en profundidad semejante al alcanzado en superficie (por lo menos en anchura) y de sección semi-circular, correspondiente a los denominados “pit”, pero con existencia de toda una gradación de formas intermedias, como revela la figura 5.

El origen y desarrollo de estas pilas pluviales todavía es objeto de controversia. Algunos autores han postulado que incluso se inician bajo la superficie, previa a la exhumación de la superficie rocosa, bien por la deformación de la estructura de la roca por fenómenos de concentración de tensiones por vía gravitacional o tectónica (Vidal & Twidale,

1998; Vidal & Yepes, 2004) o bien generadas por corrosión química (“*etche forms*”) bajo un suelo (Vidal & Yepes, 2004; Vidal, 2006, com. pers.). En otros casos se ha apuntado que tal origen sería completamente en superficie, por fenómenos tales como puntos de debilidad composicional o estructural (Vidal & Twidale, 1998), descamación (Twidale & Corbin, 1963; Goudié & Migón, 1997), etc.

Fenómenos como la deformación estructural por vía tectónica o de corrosión química podrían explicar en La Serena la aparición de los puntos de inicio. El factor composicional de la roca, condicionado aquí por la disposición vertical de los estratos, difícilmente explicaría la aparición de formas incipientes con desarrollo transversal al plano de foliación, generando formas similares a las desarrolladas en rocas masivas. También se puede descartar como origen los puntos de descamación, pues en estas pizarras sólo se producen exfoliaciones en paredes verticales.

Sea cual sea su origen, es probable que los puntos de inicio de las pilas sean muy diferentes en la superficie afectada, lo que explicaría la ausencia de correlación entre la profundidad y las dimensiones horizontales de las pilas bien desarrolladas, al contrario de lo señalado en otras litologías (v.g. Goudie & Migón, 1997; Uña, 1998). Tal vez la existencia de formas incipientes de considerable desarrollo horizontal se deba a aparecer en superficies completamente planas y horizontales.

En condiciones subaéreas, estas formas crecen por fenómenos ligados a la permanencia, aunque sólo sea temporal, del agua procedente de las precipitaciones. Estos procesos pueden ser solución, hidratación, hidrólisis y crioclastia, según la naturaleza química del agua, la composición y estructura de la roca y las condiciones climáticas donde se encuentran (Twidale & Corbin, 1963; Vidal & Twidale, 1998; Robinson & Williams, 1994; Benito *et al.* 1993, Domínguez *et al.*, 2008). La dependencia del agua acumulada explicaría la tendencia a producir formas redondeadas al concentrarse la meteorización preferentemente en los salientes de la roca (Vidal & Twidale, 1998). Además hay que tener en cuenta que estos pequeños humedales son altamente fluctuantes, tanto en el nivel de inundación, lo que favorece procesos como la hidratación-deseccación (Sanz, 1996), como en las propias características físico-químicas del agua almacena-

da, donde influyen las comunidades biológicas presentes (Chan *et al.*, 2005; Domínguez *et al.*, 2008). Aunque algunos autores han señalado la posibilidad de que algas, musgos y/o líquenes puedan contribuir a la meteorización, parece que tienen más bien un papel protector en comparación con los otros fenómenos (Viles & Pentecost, 1994; Vidal & Twidale, 1998) y que por tanto reflejarían la fosilización de la forma. De hecho, en estas pilas no se encuentran especies de musgos o líquenes que toleen la inundación.

Aunque no se han estudiado los diversos procesos que pueden causar el crecimiento de las pilas de La Serena, varios de los cuales pueden actuar simultánea o secuencialmente, se puede apuntar, dadas las características mineralógicas de las pizarras y el contexto climático: (1) la oxidación de las micas, favorecido por el oxígeno disuelto en el agua; (2) la hidratación-deshidratación de las arcillas y (3) la crioclastia, por producirse las heladas cuando las pilas están habitualmente inundadas. Otros procesos dependientes de las características químicas de las aguas, donde destaca el pH que condiciona la disolución de los silicatos (Benito *et al.*, 1993; Domínguez *et al.*, 2008) o fenómenos de hidrólisis, deben estar condicionados por la presencia de materia orgánica en el sedimento y la actividad metabólica de los organismos presentes. La determinación de la importancia relativa de cada uno de estos procesos en el crecimiento de la pila requeriría analizar la variación espacial (entre pilas) y temporal (en su caso) de los factores apuntados.

La evacuación de los residuos resultantes del crecimiento del pilancón es fácil en el caso de los elementos solubles o de aquellos que puedan permanecer en suspensión, dado que por ejemplo en el mes de máxima precipitación, se registra un volumen de agua dos veces superior al nivel de máxima inundación encontrado. Para el caso de los fragmentos granulares, además de su progresiva degradación, cabe postular la salida por deflacción durante el estío, favorecido por el tamaño reducido de estas pilas. Sin embargo, como se ha señalado, estas pilas acumulan frecuentemente sedimento que es colonizado por vegetación anfibia que podría contribuir a su fijación. Algunos autores han postulado que el sedimento del interior favorecería un mayor tiempo de retención de agua en contacto

con la roca, lo que retroalimentaría los procesos alterológicos (Twidale & Bourne, 1977).

El crecimiento de los pilancones es simultáneo a la degradación de las paredes (Uña, 1999; Uña & Vidal, 2000), lo que provoca que la pila deje de ser activa cuando sea incapaz de retener agua, es decir, cuando el nivel de máxima inundación es nulo, y que corresponde a una segunda fase de la evolución de estas formas previa a su destrucción total (Uña & Vidal, 2000; Vidal & Yepes, 2004).

Agradecimientos

Gerardo Benito, Juan Ramón Vidal y dos revisores anónimos contribuyeron a mejorar el alcance y contenido de este artículo.

Referencias bibliográficas

- Azor, A. (2004). El Macizo Ibérico durante el Paleozoico inferior. En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid, 223-224.
- Benito, G., Machado, M.J. & Sancho, C. (1993). Sandstone weathering processes damaging prehistoric rock paintings at the Albarracín Cultural Park, NE Spain. *Environ. Geol.*, 22, 71-79.
- Campbell, E.M. & Twidale, C.R. (1995). Lithologic and climatic convergence in granitic morphology. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, 20, 381-403.
- Chan, M.A., Moser, K., Davis, J.M., Southam, G., Hughes, K. & Graham, T. (2005). Desert Potholes: Ephemeral Aquatic Microsystems. *Aquatic Geochemistry*, 11 (3), 279-302.
- Domínguez-Villar, D., Arteaga, C., García-Giménez, R., Smith, E.A., Pedraza, J. 2008. Diurnal and seasonal water variations of temperature, pH, redox potential and conductivity in gnammas (weathering pits): implications for chemical weathering. *Catena* 72 (2008) 37-48.
- González, F. (2004). Evolución del Macizo Ibérico durante el Precámbrico. En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid, 222-223.
- Goudie, A.S. & Migón, P. (1997). Weathering pits in the Spitzkoppe area, Central Namib Desert. *Z. Geomorph.*, 41 (4), 417-444.
- Hernández Pacheco, F. (1933). Rasgos geográfico-geológicos del Valle de Alcedia en relación con sus características agro-pecuarias. *Bol. Inst. Reforma Agraria*, 18, 216-241.
- Martín-Serrano, A. & Molina, E. (2005). El Macizo Ibérico. En Martín-Serrano, E. (Ed.) *Mapa geomorfológico de España y del margen continental a escala 1: 1.000.000*. IGME, Madrid, 61-85.
- Martínez, D., Díez, M.A., Macaya, J., González, F., Martínez, J.R. & Vegas, R. (2004a). El acortamiento varisco inicial. En: *Geología de España*. (Vera, J.A., ed.). SGE-IGME, Madrid, 81-83.

- Martínez, D., Gutiérrez-Marco, J.C., Pardo, M.V., Rábano, I. & Sarmiento, G. (2004b). La secuencia paleozoica postcámbrica. Martínez, D. & Bea, F. (2004). En: *Geología de España*. (Vera, J.A., ed.). SGE-IGME, Madrid, 81-83.
- Martínez, J.R., Martínez, D. & Bea, F. (2004c). Introducción [Zona Centroibérica]. En: *Geología de España*. (Vera, J.A., ed.). SGE-IGME, Madrid, 68-69.
- Miranzo Torres, C. (2005). Penillanura de la Serena. En: *Patrimonio Geológico de Extremadura: Geodiversidad y lugares de interés geológico* (P. Muñoz Barco & E. Martínez Flores, coords.). Junta de Extremadura, 169-176.
- Molina, E., Blanco, J.A., Pellitero, P. & Cantano, M. (1986). Weathering processes and morphological evolution of the Spanish Hercynian Massif. *Int. Geomorph.*, 2, 957-978.
- Pieren Pidal, A. P. (2000). *Las sucesiones anteordovícicas de la región oriental de la provincia de Badajoz y área contigua de la de Ciudad Real*. 2 volúmenes. Tesis doctoral Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- Robinson, D.A. & Willians, R.B. (1994). Sandstone weathering and landforms in Britain and Europe. En: *Rock weathering and landform evolution* (D.A. Robinson & R.B. Willians, eds.). John Wiley & sons. Chichester (U.K.), 371-391.
- Rodríguez, M.D., Díez, M.A., Perejón, A., Pieren, A., Liñán, E., López, F., Moreno, F., Gámez, J.A., González, F., Martínez, D. & Vegas, R. (2004). La secuencia litoestratigráfica del Neoproterozoico-Cámbrico inferior. En: *Geología de España*. (Vera, J.A., ed.). SGE-IGME, Madrid, 78-81.
- Rodríguez-Fernández, L.R. (ed.) (2004). Mapa Geológico de España a escala 1:2.000.000. En: *Geología de España*. (Vera, J.A., ed.). SGE-IGME, Madrid.
- Sanz Pérez, E. (1996). Alteración y modelado de las areniscas de las facies Purbeck-Weald del noroeste de la Cordillera Ibérica. *Rev. C&G*, 10 (3-4), 47-61.
- Twidale, C.R. & Corbin, E.M. (1963). Gnammas. *Rev. Géomorph. Dynam.*, 14, 1-20.
- Twidale, C.R. & Bourne, J.A. (1977). A note on cylindrical gnammas or weather pits in granite. *Rev. Géomorph. Dynam.*, 26 (4), 135-137.
- Uña Álvarez, E. de (1998). Estudio multivariado del micromodelado granítico: Interpretación comparada de la génesis y evolución de las gnammas en macizos antiguos. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, 23, 271-282.
- Uña Álvarez, E. de (1999). Evidencias y pruebas significativas sobre la degradación subaérea en formas menores graníticas: análisis de casos. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, 24, 177-190.
- Uña Álvarez, E. de & Vidal Romaní, J.R. (2000). Procesos degradativos en antiguas superficies grabadas sobre granitos: Indicadores de magnitud y patrones de estado. *Geogaceta*, 28, 145-148.
- Vegas, R., Vicente, G. de & Vera, J.A. (2004). Sierra Morena. En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid, 630-631.
- Vidal Romaní, J.R. & Twidale, C.R. (1998): *Formas y paisajes graníticos*. Universidade da Coruña, a Coruña, 411 pp.
- Vidal Romaní, J.R. & Yepes Temiño, J. (2004). Historia de la morfogénesis granítica. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, 29, 331-360.
- Viles, H. & Pentecost, A. (1994). Problems in assessing the weathering action of lichens with an example of epiliths on sandstone. En: *Rock weathering and landform evolution* (D.A. Robinson & R.B. Willians, eds.). John Wiley & sons. Chichester (U.K.), 99-116.