

Registro evolutivo de meteorización en rocas graníticas a partir de pilancones desarrollados tras la última glaciación en Serra da Estrela, (Portugal)

Weathering evolution recorded in granite rocks based on gnammas developed since last glaciation in Serra da Estrela, (Portugal)

D. Domínguez-Villar¹, L. Razola², R.M. Carrasco³ y J. Pedraza⁴

1 GEES, Univ. of Birmingham, Edgbaston, B15 2TT Birmingham, UK. ddvillar@geo.ucm.es

2 Dpto. de Estratigrafía, IGE (CSIC-UCM), Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid, Spain. lrazolam@geo.ucm.es

3 Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera, Univ. Castilla-La Mancha, 45071, Toledo, Spain. rosa.carrasco@uclm.es

4 Dpto. de Geodinámica, Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid, Spain. javierp@geo.ucm.es

Resumen: El estudio de pilancones o gnammas mediante análisis morfométrico puede ser de gran utilidad para obtener información paleoambiental. En este trabajo se pretende avanzar en el conocimiento del significado evolutivo del índice morfométrico basado en el ratio de profundidad, y en la fiabilidad de los registros obtenidos mediante este método. Para ello se han seleccionado dos localidades próximas entre sí, pertenecientes a Serra da Estrela (Portugal), localizadas dentro y fuera de los límites del glaciar desarrollado en estas montañas durante la última glaciación. Los resultados muestran que la estación que comenzó la formación de pilancones tras la retirada del glaciar, presenta menor número de fases de meteorización en función del ratio de profundidad y valores absolutos más bajos de éste índice. Ambas estaciones presentan un registro de fases de meteorización muy semejante para sus últimas seis subpoblaciones, lo que permite su inequívoca correlación. Esto sugiere que el método de análisis empleado es válido para la caracterización evolutiva de pilancones, y que estas morfologías son sensibles al registro de variaciones paleoambientales relacionadas con sus procesos de meteorización. La mayoría de pilancones activos que se reconocieron tienen una edad inferior a 16 ka, lo que sugiere la rápida formación de estas cavidades.

Palabras clave: Pilancón, morfometría, cronología relativa, meteorización, registro paleoambiental.

Abstract: *Gnamma (weathering pits) morphometric analysis seems to be a powerful tool in order to obtain paleoenvironmental signs. This study aims to clarify the relationship between a morphometric index (depth ratio) and the evolution of gnammas with time, as well as the reliability of the records obtained with this method. Two locations were selected in Serra da Estrela (Portugal) for such propose, in and out of the limits affected by the glacier developed in these mountains during past glacial stage. Results show that the location inside the glaciated area has less phases of gnamma development based on depth ratios, and absolute values achieved are lower. Characteristics of recorded weathering phases in both measurement stations are quite similar for last six sub-populations, providing a precise correlation. This suggests that the method used for analysis is valid, and that gnammas are able to record paleoenvironmental information in relation with weathering processes. Most of the gnammas studied were developed during last 16 ka, which suggest a quick evolution for such morphologies.*

Key words: *Gnamma, morphometry, relative chronology, weathering, paleoenvironmental record.*

INTRODUCCIÓN

Los pilancones o gnammas son cavidades con escalas centimétricas a métricas, producto de la erosión sobre un sustrato rocoso a partir de la acumulación periódica de agua de lluvia, lo que favorece procesos de meteorización tanto físicos como químicos (Hedges, 1969). En ocasiones, el perfil de un pilancón no es sencillo, reconociéndose en sus paredes diversos escalones que han ido quedando colgados sucesivamente según ha ido aumentando su tamaño, y que son producto de variaciones en la intensidad de los procesos de meteorización. Por lo tanto, a pesar de que su propia evolución implica en buena medida la destrucción de la forma en estadios previos, los

pilancones pueden preservar cierto registro de las diversas fases de su meteorización. Estas observaciones son de especial interés, ya que si se pudiera discernir una secuencia generalizable de fases de erosión a partir de la morfología, y ésta pudiera ser asignada a un marco cronológico, podría establecerse la historia evolutiva de los procesos de meteorización en dicha región. A este respecto, el análisis cronológico de pilancones es complejo debido a la ausencia de técnicas de datación absoluta que puedan emplearse, por lo que la asignación de edades viene realizándose mediante la datación de las superficies sobre las que se desarrollan, lo que en todo caso sólo da una edad máxima de las morfologías (ver por ejemplo Twidale y Corbin, 1963).

En este estudio se caracteriza el estado evolutivo de una serie de pilancones desarrollados dentro de un marco cronológico, y por otro lado se intenta contrastar el método analítico mediante el duplicado del registro obtenido. Para este fin se han muestreado pilancones en dos estaciones de medida en Serra da Estrela (Portugal), dentro y fuera de los límites afectados por el glaciario en estas montañas. Con ello se pretende un acercamiento a la edad de las formas registradas dentro de los límites en los que se desarrolló el glaciario, y su comparación con las registradas fuera de la zona afectada por el glaciario.

MARCO REGIONAL

El estudio se ha llevado a cabo en Serra da Estrela, Portugal. Este macizo, con una altura máxima de 1993 msnm esta formado por un altiplano ligeramente basculado hacia el NE, y que es atravesado por profundos valles en dirección E-W y SSW-NNE. Gran parte de la sierra esta formada por un plutón granítico zonado. Las mediciones se han llevado a cabo en el mismo tipo de litología, el Granito de Seia; un granito porfirioide de grano grueso a medio con biotita dominante (Teixeira *et al.*, 1974). En buena parte del altiplano de Serra da Estrela se desarrolló un glaciario en montera durante el último periodo glaciario (Vieira, 2004), desde el que descendían diversas lenguas glaciares que reciben el nombre del valle en el que se instalaron (Fig. 1).

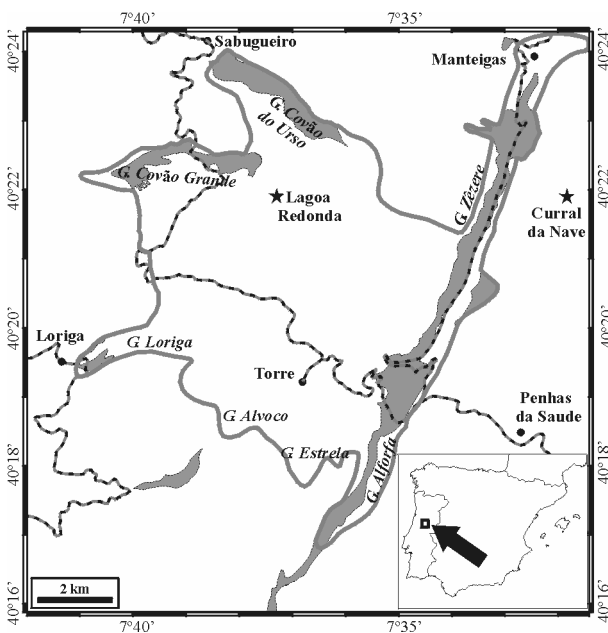


FIGURA 1. Mapa de localización de las estaciones de medida de pilancones de Curral da Nave y Lagoa Redonda. Se incluyen las principales poblaciones y vías de comunicación como referencia, los depósitos glaciares y fluvioglaciares cuaternarios (en gris), los límites de la extensión del glaciario (línea gris gruesa) y los nombres de las lenguas glaciares que descendían del altiplano (según Vieira, 2004). Las estaciones de medida de pilancones han sido indicadas con una estrella.

Para el estudio de pilancones, se han seleccionado dos localidades en las que se ubican las estaciones de medida: Curral da Nave y Lagoa Redonda. La estación

de Curral da Nave se sitúa en un altiplano entorno a 1350 msnm, que no fue afectado por el glaciario debido a su menor altitud y por estar separado del resto del altiplano por el Valle de Zêzere. El paraje de la estación de medida se compone de un conjunto de berrocales con frecuentes bolos, característico de un paisaje granítico muy evolucionado y con un prolongado periodo de meteorización. La estación de Lagoa Redonda se localiza a una altitud entorno a los 1700 msnm, en el borde septentrional del altiplano principal justo antes de su disección por diversos barrancos. La zona de muestreo esta dentro de los límites afectados por el glaciario, y esta compuesta por un paraje de rocas aborregadas y bloques erráticos. Las mediciones se realizaron en las rocas aborregadas, superficies en las que se observaban claros signos de erosión glaciario. La zona de muestreo se ubica en lo que debió ser el inicio de la lengua del Glaciario Cavão do Urso, aunque el límite más próximo de la zona afectada por el glaciario es una morrena lateral del Glaciario Covão Grande, que dista kilómetro y medio. La edad del retroceso de las masas de hielo en el valle justo bajo la estación de Lagoa Redonda, se ha datado en 15,7 ka (Vieira, 2004), y la desaparición generalizada del glaciario en el altiplano se estima que pudiera haber ocurrido hace 11,6 ka (Van der Knaap y Van Leeuwen, 1997). Por ello se estima que la formación de pilancones en Lagoa Redonda pudiera haber comenzado entre ambas fechas.

METODOLOGÍA

El análisis de pilancones, más allá de la descripción de formas aisladas, se ha venido realizando mediante estudios morfométricos para su caracterización morfológica y en algunos casos para su estudio evolutivo (ver por ejemplo Vidal Romaní, 1983). Este tipo de análisis se ha visto favorecido por la profusión de pilancones en localidades propicias, lo cual permite en determinados casos su representatividad estadística. Aunque una cavidad tiende a hacerse mayor mientras permanece activa, la heterogeneidad en las condiciones iniciales de cada cavidad, así como la variabilidad en las tasas de meteorización, no permiten asumir de forma generalizada que pilancones más grandes representen formas más antiguas. Sin embargo, algunos índices morfométricos parecen estar en relación con la evolución de las cavidades, como es el caso del ratio de profundidad máxima y mínima (Vidal Romaní, 1983; Domínguez-Villar, 2006).

La metodología seguida en este trabajo para el análisis morfométrico de pilancones ha sido previamente descrita, por lo que aquí sólo será brevemente referida (Domínguez-Villar, 2006; Domínguez-Villar y Jennings, 2008). El muestreo se realiza en estaciones de medida, cuya extensión se reduce a un diámetro de unos pocos cientos de metros para minimizar la variabilidad de algunos de los factores que afectan a los pilancones, como variaciones en la litología, el contexto geomorfológico o las diferencias altitudinales. En cada estación se han medido cien ejemplares, siendo en todos los casos pilancones

activos. Este estudio se centra en la profundidad máxima y mínima de las cavidades a partir de la cual se calcula el ratio de profundidad, ya que es el índice usado en trabajos anteriores para caracterizar las poblaciones de pilancones. Los histogramas del ratio de profundidad de la mayoría de los muestreos son asimétricos, lo cual se ha interpretado como el resultado de una mezcla de subpoblaciones más sencillas con un buen ajuste a distribuciones normales. Por lo tanto, se procede a una discretización de subpoblaciones mediante cálculos iterativos, hasta conseguir los menores errores al utilizar el test de Kolmogorv-Smirnov. A continuación a cada subpoblación se le aplica un filtro de 2σ para eliminar valores anómalos, y se realiza un test de representatividad del tamaño de la muestra (significativo al menos al 85%). Se calcula un índice morfométrico (δ) a partir del ratio de profundidad para definir cada subpoblación, que viene determinado por la media de los valores filtrados de cada subpoblación, con un error representado por el 95% del intervalo de confianza.

RESULTADOS

El análisis de la distribución de los ratios de profundidad en las dos estaciones da como resultado histogramas asimétricos en los dos casos (Fig. 2). La estación de Curral da Nave es la que presenta los mayores ratios de profundidad, con valores por encima de 9 y una media superior a 3. Por su parte, en la estación de Lagoa Redonda el mayor ratio de profundidad es inferior a 5, situándose el promedio entorno a 2. Al analizar en detalle cada uno de los histogramas, se observa que los ratios de profundidad se agrupan entorno a distintos valores, por lo cual se procede a la separación de subpoblaciones en ambas estaciones (Tabla I). En Curral da Nave se llegan a identificar hasta 8 subpoblaciones, mientras que en Lagoa Redonda se reconocen solamente 6. A este respecto, la correlación entre la profundidad máxima y mínima de las subpoblaciones calculadas es en todos los casos muy elevada ($r^2 > 0,87$), mostrando una dependencia entre los dos parámetros.

Fases	Tamaño de la muestra	Valores de delta	Tamaño de la muestra	Valores de delta
	Curral da Nave		Lagoa Redonda	
δ_1	7	1,24±0,07	12	1,34±0,03
δ_2	30	1,74±0,06	38	1,67±0,05
δ_3	10	2,29±0,06	20	2,05±0,03
δ_4	13	2,72±0,08	16	2,35±0,05
δ_5	14	3,45±0,11	7	2,79±0,13
δ_6	12	4,11±0,13	5	3,35±0,22
δ_7	8	4,81±0,18	-	-
δ_8	4	7,38±0,32	-	-

TABLA I. Datos de las subpoblaciones o fases calculadas en función del ratio de profundidad.

DISCUSIÓN

El ratio de profundidad se ha interpretado como un índice evolutivo de pilancones, de tal manera que valores más elevados de dicho índice representan

formas progresivamente más maduras (Domínguez-Villar, 2006; Domínguez-Villar y Jennings, 2008). Los pilancones de la estación de Curral da Nave, desarrollados sobre superficies más antiguas, tienen un mayor número de subpoblaciones, y los valores absolutos alcanzados son mayores, lo cual en principio apoya las hipótesis planteadas en trabajos previos. En los registros de ambas estaciones la subpoblación δ_2 es la que presenta mayor número de ejemplares. Por lo tanto, a pesar de que los valores absolutos no sean coincidentes, parece apropiado proceder a la correlación de ambos registros. Para ello se ha tenido en cuenta la media y desviación estándar de cada subpoblación, lo cual se ha representado en la figura 3, donde se identifican las distintas fases o subpoblaciones mediante un segmento de longitud 1σ en dos escalas independientes del ratio de profundidad.

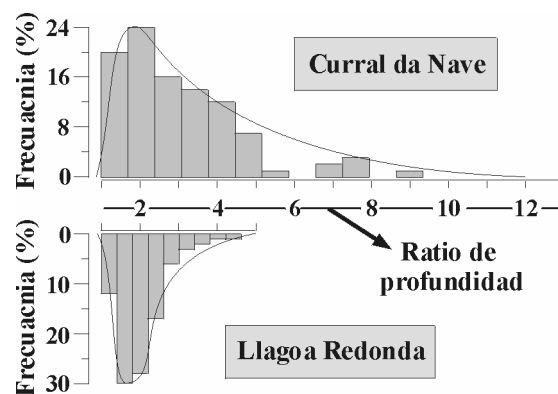


FIGURA 2. Distribución de frecuencias del ratio de profundidad en las muestras de pilancones estudiadas en Curral da Nave y Lagoa Redonda.

La correlación realizada muestra una gran semejanza entre las seis primeras subpoblaciones en ambas estaciones, donde las desviaciones estándar, porcentaje de pilancones y espaciado entre subpoblaciones es similar. Lo único que no coincide son los valores absolutos, aunque muestran unas tendencias similares. Lagoa Redonda, la estación situada a mayor altitud, registra menores valores absolutos. En otras regiones también se ha descrito la importancia de la altitud en la morfología que desarrollan los pilancones (Uña Álvarez, 1997), y su efecto en el ratio de profundidad se ha comprobado que tiene siempre el mismo sentido en otras estaciones en la Península Ibérica.

En función de los resultados obtenidos se puede decir que la correlación es excelente, que el ratio de profundidad es un indicador evolutivo válido, pero que sus valores absolutos no dependen exclusivamente del tiempo. La formación de poblaciones multifásicas se ha interpretado como periodos de meteorización que han favorecido la aparición de nuevos pilancones (Domínguez-Villar y Jennings, 2008). De este modo, una superficie más antigua es susceptible de haber registrado mayor número de fases de pilancones, y las fases más antiguas serían aquellas con mayores ratios de profundidad. El registro obtenido en las dos estaciones presenta un adecuado duplicado de las fases de

meteorización, mostrando que este indicador es muy sensible al registro de los procesos de meteorización durante los últimos 16 ka. Sin duda, las diversas fases de pilancones registradas se deben a una variabilidad en la intensidad de los procesos de meteorización influenciados por cambios en el clima, como ya se ha sugerido para otras regiones (Domínguez-Villar y

Jennings, 2008). Sin embargo, la complejidad de los factores ambientales de los que dependen los pilancones en la Península Ibérica (Domínguez-Villar *et al.*, 2008), y la ausencia de series paleoclimáticas bien contrastadas en la región con las que comparar el registro, no permiten realizar todavía una interpretación en ese sentido con suficientes garantías.

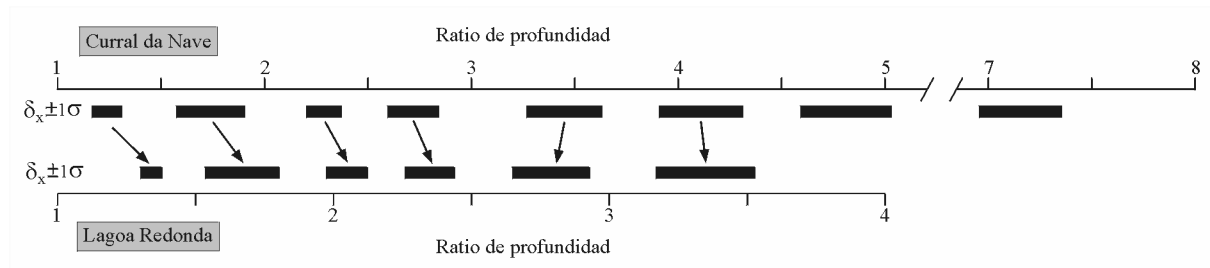


FIGURA 3. Correlación de las fases diferenciadas en función del ratio de profundidad. Cada subpoblación es interpretada como una fase de meteorización en la que se formaron nuevos pilancones, de tal modo los pilancones formados en una fase con ratios de profundidad mayores es más antigua. Los periodos entre distintas fases no indican ausencia de meteorización, sino falta de las condiciones adecuadas para la formación de nuevas cavidades.

CONCLUSIONES

Los pilancones de Curral da Nave, desarrollados en una superficie más antigua que los de Lagoa Redonda, registran un mayor número de fases de meteorización definidas en función del ratio de profundidad. Esto indica que dicho índice morfométrico pudiera ser un buen indicador cronológico relativo. Sin embargo, los valores absolutos del ratio de profundidad no dependen exclusivamente de la edad, también están influenciados por otros factores como los microclimáticos asociados a variaciones altitudinales. La correlación entre dos estaciones muy próximas entre sí muestra un registro semejante. El adecuado duplicado del registro para las últimas seis fases corrobora el método analítico empleado, así como la representatividad del registro evolutivo y paleoambiental.

El estado evolutivo de las dos muestras de pilancones es muy similar, y sólo las dos subpoblaciones más antiguas no pudieron ser registradas en Lagoa Redonda, cuya edad de exhumación del sustrato se estima pudiera estar entre 11,6 y 15,7 ka. En consecuencia, al menos bajo estas condiciones ambientales, la gran mayoría de pilancones activos (>85%) se habrían desarrollado a lo largo de los últimos 16ka. Los pilancones, a partir de su estudio morfométrico y caracterización por medio del ratio de profundidad, parecen ser una morfología que permite un riguroso estudio de la evolución de diversas fases de la meteorización de una región.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado dentro del marco del proyecto PRE07-015.

REFERENCIAS

Domínguez-Villar D. (2006): Early formation of gnammas (weathering pits) in a recently glaciated

area of Torres del Paine, southern Patagonia (Chile). *Geomorphology*, 76: 137-147.

Domínguez-Villar, D. y Jennings, C.E. (2008): Multiphase evolution of gnammas (weathering pits) in a Holocene deglacial granite landscape, Minnesota (USA). *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(2): 165-177.

Domínguez-Villar, D., Arteaga, C., García-Giménez, R., Smith, E. y 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: 37-48.

Hedges, J. (1969): Opferkessel. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 13: 22-55.

Teixeira, C., Santos, J.P., de Carvalho, H.F., Peinador, A. y Margarida, M. (1974): *Carta Geológica de Portugal 1:50.000, foha 20-B (Covilhã)*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Twidale, C.R. y Corbin, E.M. (1963): Gnammas. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 14: 1-20.

Uña Álvarez, E. (1997): Variables de control en la génesis y desarrollo del modelado granítico. Análisis de microformas en el macizo de Manzaneda (Galicia, España). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 22: 29-42.

Van der Knaap, W.O. y Van Leeuwen, J.F.N. (1997): Late Glacial and Early Holocene vegetation succession, altitudinal vegetation zonation, and climatic change in the Serra da Estrela, Portugal. *Review of Paleobotany and Palynology*, 97: 239-285.

Vidal Romaní, J. (1983): *El Cuaternario de la provincia de La Coruña. Modelos elásticos para formación de cavidades*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 283 p.

Vieira, G.T. (2004): *Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela. Ambientes frios do Plistocénico superior e dinâmica actual*. Tesis Doctoral, Universidade de Lisboa, 724 p.