

Tafoni en rocas graníticas. Primera valoración estadística sobre tasas de desarrollo en el Macizo de Ourense (Galicia, NW de la Península Ibérica)

Tafoni in granitic rocks. The first statistical results about the rate of development in Ourense Massif (Galicia, NW Iberian Peninsula)

UÑA ALVAREZ, E. de¹

Abstract

The description of minor forms tafone (cavernous weathering, cachola) is frequent from many different geomorphological scenarios, as process-response systems with positive feed-back. This work presents a statistical application for the study of their depth measure as the foremost indicator of their development stage in a sample from Ourense Massif (Galicia, NW Iberian Peninsula). First statistical results about the nature of their evolution are the probability distribution, the robust statistics and the morphometric classification of tafoni depth. The results from specific techniques estimate the morphological patterns and the development rate in tafoni (cacholas).

Key Words: Granite, tafone, development, statistics

(1) Departamento de Historia, Arte y Geografía. Universidad de Vigo. Campus Universitario de As Lagoas. 32004 - Ourense, España.

1. INTRODUCCION

Este trabajo trata sobre ciertos aspectos relacionados con las formas de detalle tipo "tafoni" (cavernous weathering) específicamente en terrenos graníticos. Existen descripciones morfológicas de tafoni y otras formas menores en granitos desde la segunda mitad del siglo XIX, entendidas como resultado de procesos erosivos. Son tafoni los denominados "horados" de la Sierra de Guadarrama en España por PRADO (1864). De Córcega proviene el vocablo "tafone" (singular) y "tafoni" (plural): una "ventana" que se abre al exterior desde el interior de los bloques rocosos (REUSCH, 1883; PENCK, 1894). En el sur de Galicia (provincia de Ourense-España) las primeras descripciones de oquedades que configuran "bóvedas internas" en los bloques graníticos se deben a HULT (1888) (en FRAGA et al, 1994). En los granitos del Norte de Portugal, CHOFFAT (1895) describió "cavidades irregulares" semejantes a los tafoni corsos si bien de menores dimensiones. Los tafoni se han estudiado en otras litologías pero aparecen habitualmente, junto con otras formas menores, como elementos representativos en el ámbito de la investigación sobre los paisajes graníticos (GODARD, 1977; TWIDALE, 1982; CENTENO et al, 1988; PALLÍ et al, 2001). Estas microformas se reconocen como huecos de perfil cóncavo abiertos en la base y en las paredes de otras formas graníticas ("anfitrionas" o "cajas" del tafone); pueden presentar dimensiones variadas (cm/m); la morfología de la superficie interna es a veces homogénea y otras veces heterogénea (con protuberancias o huellas en forma de gubiazos); algunos tafoni mantienen la forma caja intacta cara al exterior mientras que otros se encuentran parcial-

mente cerrados (conservan un "alero" o "visera") o conectan con el exterior por aberturas (tubulares o irregulares); en ocasiones, formando parte de su superficie interna, se diferencian cavidades más pequeñas que forman celdillas con estructura similar a la de un panal ("alveolos", "honeycomb weathering"); estas propiedades se relacionan con las diversas fases de crecimiento (isótropo/anisótropo/apertura externa) en su desarrollo (VIDAL ROMANÍ & TWIDALE, 1998). Por tanto, constituyen indicadores potenciales de su comportamiento y edad geomorfológica.

Los rasgos morfológicos y dimensionales han sido utilizados como criterios de diferenciación taxonómica o evolutiva de los tafoni en granitos. Encontramos por ello denominaciones muy diversas para la posible tipología de estas cavidades, por ejemplo, en DEMEK (1965) o TWIDALE (1982 o.c.). En Galicia (NW del Macizo Hespérico Peninsular) los primeros estudios sobre formas graníticas que aluden a una relación de tipos de tafoni en el contexto de la evolución de formas mayores, denominándolos "cacholas" son los de VIDAL ROMANÍ et al (1979) y VIDAL ROMANÍ et al (1984); los autores diferencian las cavidades heterodimensionales (cachola-laxe) de las equidimensionales (cachola-penedo), las cavidades desarrolladas en paredes inclinadas (cachola vertical) de las cavidades desarrolladas en la base de los bloques (evolución en cachola-baldaquino y cachola-diaclasa), y las cavidades donde dominan los procesos de descamación (cachola-lapa). Posteriormente VIDAL ROMANÍ, (1989) distingue las cacholas en el conjunto de las formas graníticas en Galicia como microformas de carácter "puntual", junto con las denominadas pías (gnammas-vasques); el autor deta-

lla las transformaciones morfológicas de la “superficie activa” (de crecimiento) en las cacholas, desde una bóveda única hasta su progresiva diversificación y degradación por apertura y/o rotura del bloque anfitrión. En la monografía sobre formas graníticas de VIDAL ROMANÍ & TWIDALE (1998 o.c.) se diferencian las cavidades basales asociadas a estructuras de exfoliación (tafone-laja) y a la base de bloques aislados definidos por un sistema ortogonal de diaclasación (tafone-bloque), de las cavidades desarrolladas en paredes rocosas fuertemente inclinadas (tafone-lateral). Tafoni basales y de pared son los grupos de referencia en otros trabajos sobre formas graníticas en el ámbito territorial de la Península Ibérica (cfr. por ejemplo PEDRAZA et al, 1989; VIDAL ROMANÍ et al, 1990; ROQUE & PALLÍ 1998; BAONZA, 1999).

2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS DE INVESTIGACION

Este trabajo no pretende abordar cuestiones relativas a la génesis (endógena y/o exógena) o a los procesos geomórficos (mecánicos y/o físico-químicos) que intervienen en el crecimiento de los tafoni en terrenos graníticos. Tales cuestiones han evolucionado a la par del progreso en su conocimiento y en las técnicas de análisis disponibles. Su definición no ha estado exenta de controversia en múltiples facetas. Por citar un ejemplo, la interpretación de los procesos activos en el desarrollo de la cavidad como criterio para identificarla (en un marco morfoclimático), como elemento relicto, fósil o funcional de los paisajes graníticos (siempre de origen subaéreo) ha suscitado polémica (cfr. BOURCART, 1930; COTELO, 1940; L.I.G.U.S., 1952; OTTMANN, 1956; BIROT, 1958; GRENIER, 1968). Otros

autores han propuesto una interpretación genético-evolutiva alternativa. Han considerado la posible influencia de la estructura en la definición de las microformas graníticas (KVELBERG & POPOFF, 1937; CAILLEUX, 1953; KLAER, 1956; MATSCHINSKY, 1954) y la ubicuidad de los tafoni en todo tipo de climas y litologías (JENNINGS, 1968; VIDAL ROMANÍ, 1984a; CAMPBELL & TWIDALE, 1995a). La evolución subaérea de un tafone sería entonces posterior al desarrollo de una secuencia previa. Respecto esta secuencia previa, algunos estudios han resaltado la importancia de los procesos subedáficos (TWIDALE, 1982 o.c. y 1989); otros estudios han planteado la prevalencia de procesos endógenos (generadores de rasgos deformativos posteriormente manifestados tanto subedáfica como subaéreamente) formalizada matemáticamente en un modelo genético de microformas graníticas (VIDAL ROMANÍ, 1983 y 1984b); este modelo contempla la frecuente asociación en los paisajes graníticos de tafoni & gnammas (VIDAL ROMANÍ & GRACIA, 1987; VIDAL ROMANÍ, 1989 o.c.). Las etapas de la génesis y desarrollo en estas formas menores podrían analizarse a partir de una hipótesis de evolución polifásica (VIDAL ROMANÍ, 1990; TWIDALE & VIDAL ROMANÍ, 1994; CAMPBELL & TWIDALE, 1995b). Los posibles estados morfológicos de los tafoni se corresponderían con diversas secuencias combinadas de evolución endógena y/o exógena en el contexto de un afloramiento granítico. Estas secuencias, en el marco de una tendencia general de incremento de las dimensiones a lo largo del tiempo, están relacionadas con las posibles edades de los tafoni siempre asociadas a la morfogénesis de las formas que los hospedan.

Este trabajo piloto contempla con especial interés el significado de algunas aplicaciones estadísticas para el estudio de los tafoni en rocas graníticas, considerados como un elemento representativo del cortejo de formas menores en el que se integran. Pocas son las publicaciones relativas a estas microformas sobre granitos donde se emplea alguna de estas técnicas con datos morfométricos. CALKING & CAILLEUX (1962) utilizaron los valores de ocurrencia (número de cavidades) y de profundidad (seleccionando casos >10 cm) en tafoni desarrollados sobre más de 200 bloques graníticos (dimensiones >30x70 cm) de las morrenas del Valle Victoria (Antártida) como indicadores de edad relativa; supuesto un rango de edad decreciente para las morrenas (A-B-C-D) encontraron un mayor desarrollo de los tafoni en las morrenas más antiguas: el porcentaje obtenido de bloques con microformas de profundidad >10 cm fue 86-57-28-12 respectivamente. DRAGOVICH (1969) estudió 300 tafoni seleccionados a partir de 5 estaciones de trabajo en Australia Meridional citando para su caracterización inicial (basales o verticales) los criterios de WILHELMY (1958); los resultados mostraron que los primeros (dominio de la descamación) estaban más desarrollados que los segundos (dominio de la desagregación granular); examinó las condiciones de posición topográfica, orientación, microclima y textura de la roca madre granítica (análisis de frecuencias) en relación con la ocurrencia de casos, concluyendo sobre la inexistencia de relaciones significativas. MARTINI (1978) seleccionó en la Isla de Elba (Monte Capanne) varios casos de tafoni "activos" (dominio de la descamación-ausencia de alveolos): relacionó su ocurrencia con la altitud (máxima frecuencia

10-200 m) y la distancia de la costa; cita sobre todo como tipos de referencia morfológica los mencionados en RONDEAU (1961) para cavidades basales y de pared: describió la dispersión general o rango de sus medidas encontrando mayores dimensiones en los primeros; este autor analiza más detalladamente en el mismo trabajo la monitorización de datos en el caso de su desarrollo sobre conglomerados. En cualquier caso, ninguno de estos estudios en rocas graníticas emplea procedimientos estadísticos que permitan evaluar comparativamente los resultados con un nivel de significación prefigurado.

En este estudio piloto se exponen, en particular, las técnicas estadísticas que resultan especialmente útiles para especificar criterios de tratamiento de datos, y obtener patrones de crecimiento, aplicadas en tafoni seleccionados en granitos de Galicia (NW del Macizo Hespérico Peninsular) (Fig.1). Microformas como las cacholas o las pías de Galicia son sistemas naturales que pueden ser analizadas en el continuo de un paisaje granítico como unidades espaciales discretas (PIKE, 1995) asumiendo que sus propiedades morfométricas permiten identificar una serie de patrones morfológicos (estados discretos) relacionados de alguna manera con la magnitud espacio-temporal de los eventos geomorfológicos. Explícita o implícitamente, en los estudios de geomorfología granítica se reconoce que conviven en todos los paisajes macro y microformas de diferentes edades (TWIDALE et al, 2002) cuyo crecimiento puede alternar periodos de estabilización-reactivación. La evolución de los componentes menores de los complejos morfológicos que constituyen un paisaje, comprende una serie de escenarios posibles en los que dominan diversos comportamien-

tos (retroalimentación, mantenimiento, bifurcación, inversión y/o destrucción de un estado antecedente), comportamientos que pueden presentar a lo largo de su “tiempo de vida” una organización temporal uniforme, periódica o aleatoria (UÑA ÁLVAREZ, 2004a en prensa). El tratamiento estadístico de variables morfológicas en una muestra de observaciones permite obtener información significativa sobre dicho comportamiento,

susceptible de formalización en términos probabilísticos que permiten comparar los resultados de las investigaciones en distintos medios geodinámicos con un límite de confianza dado (UÑA ÁLVAREZ, 2004b en prensa). La estadística es uno de los procedimientos que ayuda a definir las microformas y evaluarlas en su potencial significado como geoindicadores.



Figura 1. Localización del Macizo de Ourense (MO) entre los granitos variscos del NW Peninsular (DEN TEX, 1978)

3. MUESTREO Y DATOS. AREA DE ESTUDIO

El análisis estadístico de las formas menores, en general, y de los tafoni, en particular, requiere siempre un trabajo piloto a partir de un muestreo previo sobre una posible área donde proseguir el estudio. En las investigaciones geomorfológicas es imposible elaborar un muestreo probabilístico aleatorio en sentido estricto. Los requisitos del muestro a fin de obtener posteriormente resultados estadísticamente significativos pueden cumplirse diseñando, a partir de criterios de exclusión, áreas espaciales estratificadas en virtud del elemento de interés y de su accesibilidad; identificamos entonces las microformas seleccionadas como casos de la muestra bien de forma consecutiva bien de forma aleatoria (GOUDIE et al, 1994). La recogida de los datos para cada caso se sistematiza en una ficha de campo que incluye protocolariamente una serie de apartados (propuesta pionera en VIDAL ROMANÍ et al, 1979 o.c.). El primero alude a variables de localización de la microforma; el segundo al carácter-estado de la roca anfitriona; el tercero registra (en cm) las medidas morfométricas; el cuarto es un apartado abierto a configurar según los objetivos específicos de la investigación. Insertados todos los datos en un programa estadístico es factible elaborar cálculos e índices derivados, incluso con las variables categóricas ponderadas numéricamente en virtud de las hipótesis de partida de la investigación. El programa utilizado para este trabajo ha sido SYSTAT 5.1 (Macinstosh).

El material de la aplicación es una muestra piloto de tafoni procedentes del valle del río Loña (Ourense, Galicia). El río Loña, en

su valle inferior, previa confluencia con el río Miño en el término municipal de Mende (a poco más de 100 m de altitud s.n.m.) discurre en dirección general E-O. Este sector del valle se localiza en el reborde NE de la depresión de Ourense salvando un desnivel relativo elevado entre "superficies de arrasamiento" (unidades neógenas) con altitud de 300-480 m al norte y al sur de su cauce (ARAUJO, 1991-1992). La organización actual del relieve en estas unidades se entiende a partir de su localización en un territorio de transición respecto a las primeras etapas de la evolución geodinámica del NW del Macizo Hespérico: entre un régimen compresivo dominante al norte y un régimen distensivo dominante al oeste; los sistemas hercínicos de fracturación (NW-SE & ENE-WSW) canalizaron los esfuerzos tectónicos Tardihercínicos y Terciarios, cuya morfología resultante solo fue levemente retocada durante el cuaternario (VIDAL ROMANÍ, 2002). El valle del Loña drena un replano (R400 según su altitud media) muy degradado (altitud mínima 300 m & máxima 500 m) en las cercanías de Ourense ciudad (Fig. 2): representaría el testimonio de la última fase degradativa de un nivel más antiguo cuyos retazos se preservan parcialmente en las cumbres del Macizo de Manzaneda (A Cabeza Grande 1.782 m), en las tierras altas centrales de la provincia de Ourense; en el origen/evolución de este replano habrían intervenido procesos de corrosión química (etch) y desmantelamiento posterior por acción fluvial (YEPES TEMIÑO, 2002). Abundan entre el sector meridional del replano (Cruz Alta, Montealegre) y las laderas septentrionales del valle (Tibiás, Canibelos) relieves residuales tipo tor y bloques graníticos donde se localizan los tafoni que mencionare-

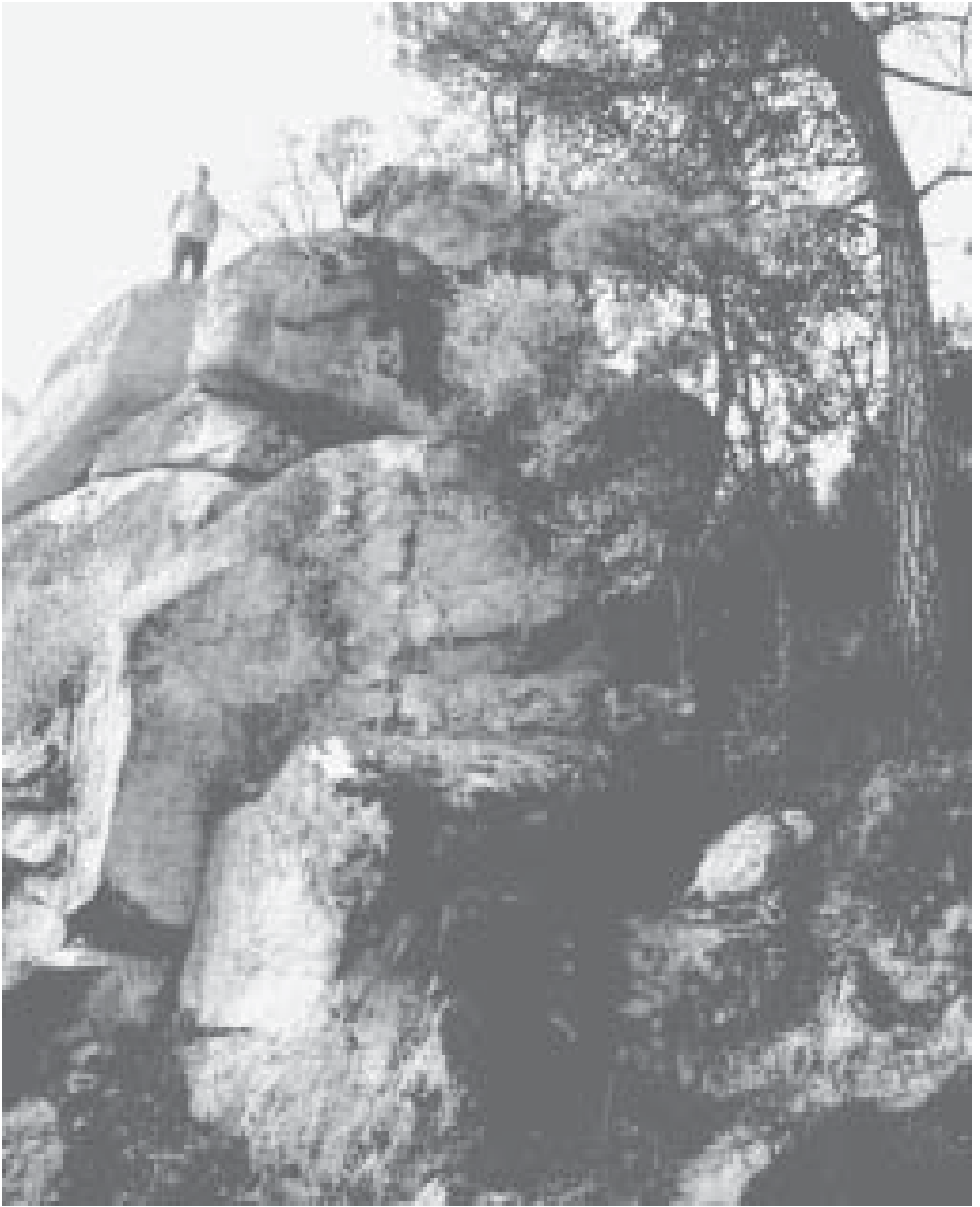


Foto 1. Mesoformas Anfitrionas de los Tafoni (Tor en Tibiás, 280 m).

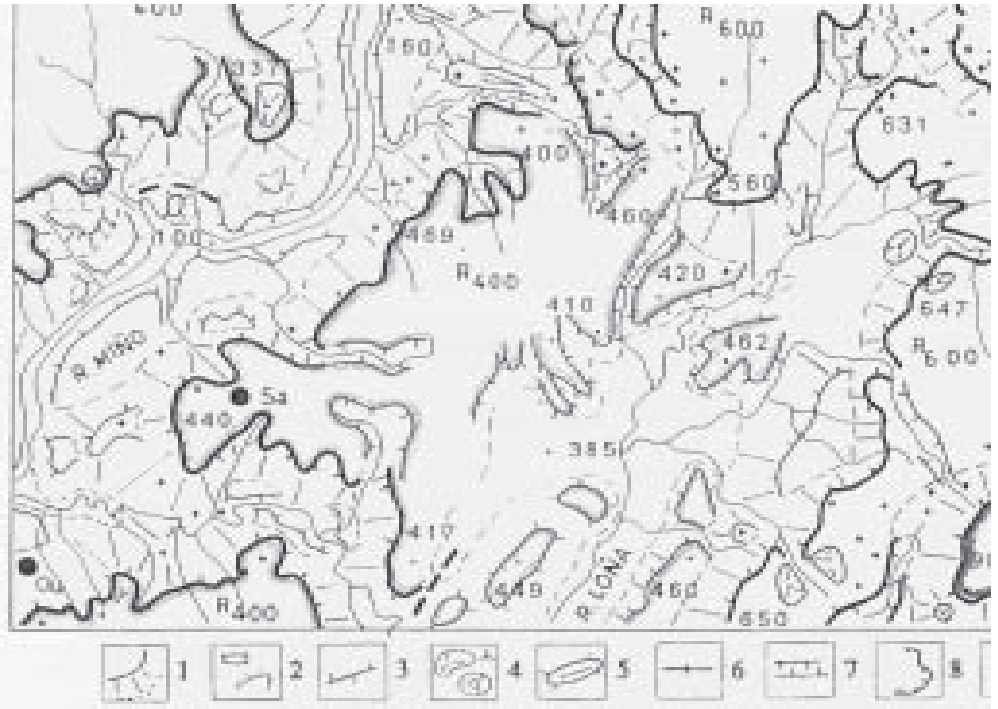


Figura 2. Geomorfología del Area de Estudio (YEPES, 2002, E 1: 100.000).

Símbolos: 1 Borde de superficie, 2 Escarpe de terraza erosiva, 3 Cresta de degradación fluvial, 4 & 5 Relieves Residuales, 6 Crestón de cuarcita, 7 Escarpe de incisión fluvial, 8 Escarpe de deslizamiento. Ou=Ourense, Sa=Sabadelle

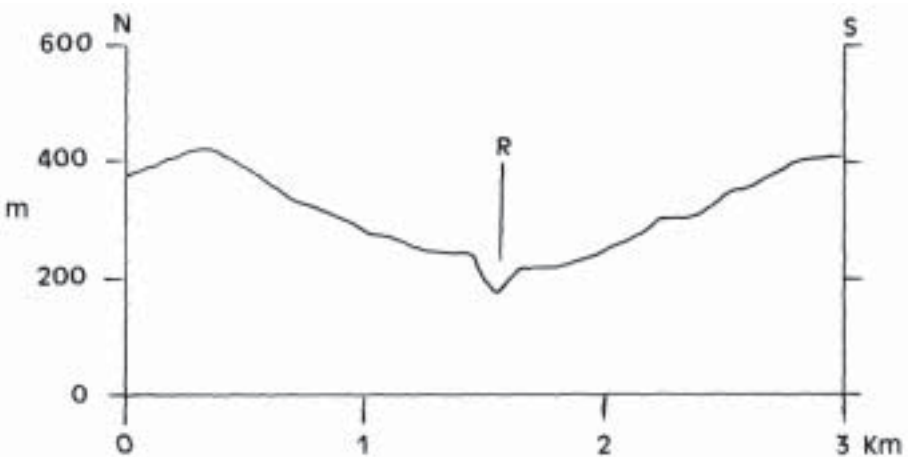


Figura 3A. Perfil transversal del valle del Loña (R) en el Area de Estudio

mos (Foto 1). En el contexto de Galicia, esta superficie geomorfológica en la que se encaja el Loña (Fig. 3A) se correspondería con el nivel denominado S2 Mioceno-Pleistoceno (300-500 m) en VILLASANTE (1989), es decir, una “superficie de sustitución” grabada y exhumada a partir del escalón inferior (N3) de un antiguo nivel poligénico S1 Mesozoico-Terciario Inferior (550-1770 m) y con los niveles denominados S2 Terciario Final-Neógeno & S3 Terciario Final-Cuaternario Inicial en VIDAL ROMANÍ (1991), retazos sucesivos de superficies graníticas de corrosión química hoy muy fragmentados y/o degradados.

Se han seleccionado las observaciones mediante muestreo lineal estratificado consecutivo desde el fondo de valle hasta la línea de cumbre. Las oquedades tipo tafoni se localizan entre 180 m y 360 m. El sustrato rocoso corresponde a un afloramiento de granodioritas postcinemáticas que intruye series graníticas sincinemáticas de dos micas, conocido como Macizo de Ourense (BARRERA et al, 1989); presentan como minerales esenciales cuarzo-microclina-plagioclasa-biotita y como accesorios apatito-circón-moscovita-turmalina-granate-opacos. Por sus caracteres petroquímicos las granodioritas de Ourense se integran en la serie del noroeste peninsular de “granodioritas calcoalcalinas con biotita dominante” que afloran en macizos circunscritos sin relación evidente con el metamorfismo regional (CAPDEVILA & FLOOR, 1970). De textura media-gruesa, constituyen la última manifestación del magmatismo herciniano y, por tanto, se trata de materiales originados en ambiente infra o basicortical con edades estimadas

entre 285-310 millones de años. El clima actual es de naturaleza subhúmeda (P anual 802 mm) y cálida (T media anual 13,5 °C) con elevada frecuencia de días de niebla (inversión térmica); tanto la media de los máximos (19°C) y mínimos (7,8°C) termométricos como el escaso porcentaje de precipitación estival (9%) respecto al total del año manifiestan una tendencia de carácter mediterráneo en la distribución del calor y la humedad en contraposición con los rasgos climáticos dominantes en la orla litoral de Galicia (UÑA ÁLVAREZ, 2001).

Se considera como punto de partida la diferenciación en dos grupos para las oquedades de todos los tafoni (Tabla 1): el basal desarrollado en el interior de los bloques desde su base hacia el techo (Fotos 2 & 4); y el de pared desarrollado lateralmente en las paredes externas de los bloques (Fotos 3 & 5). Para cada oquedad diferenciable en la superficie activa interna se ha tomado la medida de profundidad máxima, que expresa las dimensiones mayores del ahondamiento/excavación basal y vertical. La profundidad máxima (Pmx) constituye el registro morfométrico más efectivo con referencia a las hipótesis y objetivos del estudio, sujeto a menor error posible de medida. El registro se efectúa con un metro rígido, en sentido perpendicular a un plano horizontal reconstruido a partir de los límites externos de las oquedades de un tafone (Fig. 3B). Consideraremos en principio Pmx para todas las oquedades basales (n=37) y laterales (n=41) de los tafoni encontrados. Siempre que Pmx sea referida a un tafone individualizado utilizaremos el valor máximo principal y secundario del conjunto de oquedades que configuran el mismo.



Foto 2. Tafone (Cachola) de tipo Basal (Tibiás, 310 m).



Foto 3. Tafone (Cachola) de tipo Pared (Tibiás, 280 m).

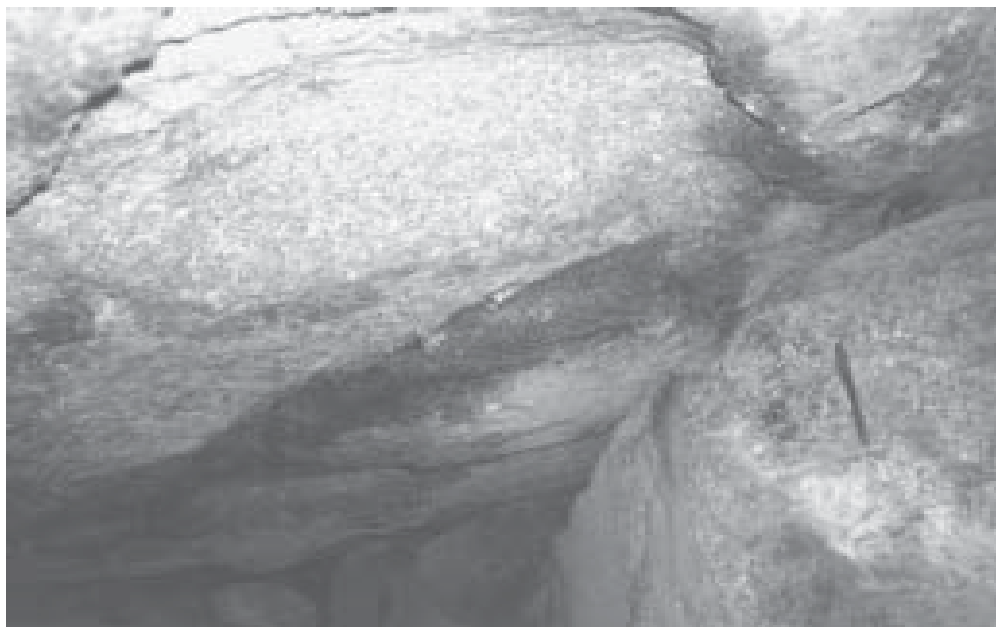


Foto 4. Tafone (Cachola) de tipo Basal (Montealegre, 360 m).

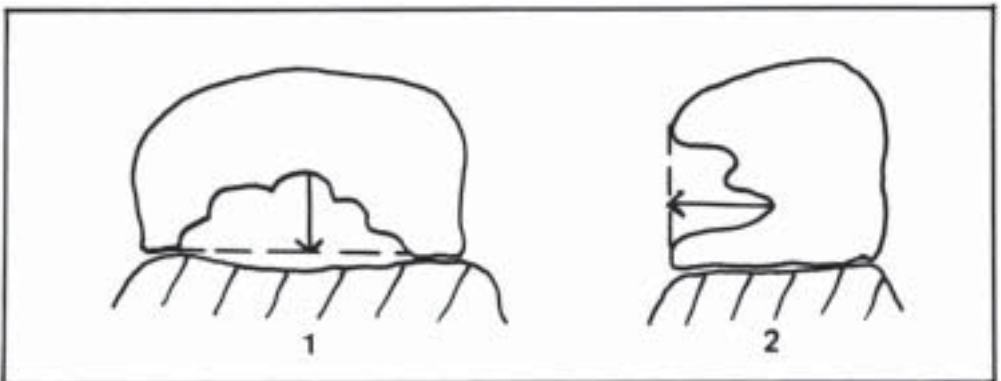


Foto 5. Tafone (Cachola) de tipo Pared (Mende, 190 m).

Tabla 1. Elementos del Estudio Piloto (Tafoni o Cacholas)

LUGAR	TIPO	T	ALT	SUP	CAV	MIX	TG
Montealegre	Basal	1	338	Trilobular	3	N	X
Montealegre	Pared	2	335	Bilobular	7	*S	X
Montealegre	Basal	3	360	Polilobular	12	*S	-
Tibiás	Basal	4	280	Bilobular	8	*S	-
Tibiás	Basal	5	310	Cuatrilobular	4	N	-
Tibiás	Pared	6	280	Polilobular	12	*S	-
Santomé	Basal	7	250	Polilobular	5	N	XX
Santomé	Basal	8	250	Polilobular	5	N	X
Mende	Pared	9	190	Polilobular	21	**S	-
Mende	Pared	10	180	Unilobular	1	N	X

ALT=Altitud (m); SUP=Nichos Mayores en Superficie Activa; CAV=Número Total de Oquedades; MIX=Cavidades Independientes (N), Integradas en un Nicho Mayor (*S), Coalescentes con Ventana Abierta (**S); TG=Gnammas en entorno próximo (X), Réplica inferior de la Cachola en Pía (XX), Ausencia de Gnammas en el entorno (-)

**Figura 3B. Medida de Pmx en tafoni basales (1) y de pared (2).**

4. APLICACION ESTADISTICA Y RESULTADOS

El primer paso para la aplicación de los procedimientos estadísticos consiste en elaborar una primera estimación sobre la naturaleza de los datos, en nuestro caso, distribución de los valores de profundidad, para decidir posteriormente que técnicas de tratamiento deben ser seleccionadas. Este apartado es una carencia importante en algunas investigaciones de los tafoni sobre granitos (y sobre otras rocas como se comentará posteriormente). Para realizar la estimación existe una amplia gama de test, donde se manejan a priori los conceptos de hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_1). El nivel de significación (NDS) del test define la posibilidad de error al rechazar o aceptar la H_0 determinando cierto límite de confianza (LC) para los resultados del análisis (para un NDS convencional $p=0.05$ se asume posibilidad de error en el 5% de los casos). La cuestión de partida es: ¿los valores de los tipos basal y pared se distribuyen según la ley de Gauss (normal)? El posible ajuste o no a esta ley de probabilidad determina el desarrollo posterior de la aplicación (técnicas paramétricas o técnicas no paramétricas) y la selección de los estimadores estadísticos más precisos para la variable Pmx. La aplicación seleccionada para comprobarlo es la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (dos colas):

H_0 en este test enuncia que los valores de profundidad siguen la distribución normal

H_1 enuncia que los valores siguen otra distribución diferente a la normal

Para obtener resultados de mayor precisión es conveniente realizar esta prueba aplicando la corrección de Lilliefors. Resultados con un LC=95% permiten rechazar H_0

(ajuste propuesto) siempre que el p-valor de Lilliefors sea <0.05 . Obtenemos para la Pmx de las oquedades basales un p-valor Lilliefors=0.003 y para la Pmx de las oquedades de pared un p-valor Lilliefors=0.000. Asumiendo un NDS $p=0.05$, los valores de profundidad no siguen una distribución normal. A continuación, repetimos la misma prueba (idéntico NDS-LC) con el enunciado para H_0 de que los valores de profundidad poseen una distribución que sigue la ley de Galton. Realizamos la prueba una vez transformados los valores originales en logaritmos naturales (neperianos). Se obtiene para logPmx de las oquedades basales un p-valor Lilliefors=0.617 y para logPmx de las oquedades de pared un p-valor Lilliefors=0.365. Asumiendo un NDS $p=0.05$, no puede rechazarse la hipótesis de que los valores de la profundidad en los tafoni siguen una distribución lognormal. Los registros de profundidad, en ambos tipos, manifiestan una tendencia exponencial (como suele acontecer en muchos fenómenos naturales sujetos a comportamientos aleatorios) con desviaciones importantes sobre sus valores medios, que poseen efectos multiplicativos. Los logaritmos de los datos se ajustan a una distribución lineal o de Gauss (Figs. 4A & 4B). La aplicación posterior de técnicas estadísticas debe seleccionar, pues, procedimientos no paramétricos. Ello es debido a la importante asimetría positiva (sesgo), el notable apuntamiento (curtosis), y la dispersión (coeficiente de variación respecto a la media) en la distribución de probabilidad de los registros (Tabla 2) tanto más acusados en las cavidades de pared. Datos de naturaleza lognormal carecen de valor cero como límite inferior y el límite superior puede ser infinito.

Tabla 2. Estadísticos de la Distribución (Pmx en cm)

PMX	S	K	CV	M(Ic)	Med(Ic)
Basal	1,46	2,16	0,73	8,51 (6,49-10,53)	6,00 (5,09-6,91)
Pared	2,33	5,83	0,98	13,19 (9,21-17,19)	10,00 (8,90-11,10)

S=Sesgo, K=Curtosis, CV=Coefficiente de Variación, M=Media Aritmética, Med=Mediana, Ic=Amplitud del Intervalo Confianza (Lc 95%)

En tales condiciones la mediana muestral (cuyo intervalo de confianza presenta menor amplitud) resulta el estimador estadístico de centralidad más eficiente dadas las diferencias obtenidas para su intervalo de confianza respecto al de la media (LC=95%). El promedio o la desviación estándar no son adecuados como medidas de resumen y de dispersión de los datos. Inferencias de corte clásico realizadas a partir de tales estadísticos descriptivos (estimación de una media poblacional, es decir, un parámetro estadís-

tico) en distribuciones como las manejadas aquí carecen de significación. En todo caso, su manejo requeriría aplicar el teorema de Chebyshev mucho menos preciso por lo que respecta al proceso de inferencia de parámetros en una posible población (BORRADAILE, 2003).

La aplicación estadística debe proseguir con el empleo de algunas técnicas articuladas sobre las bases del análisis exploratorio de datos. El objetivo de este paso es organizar operativamente los registros de Pmx en

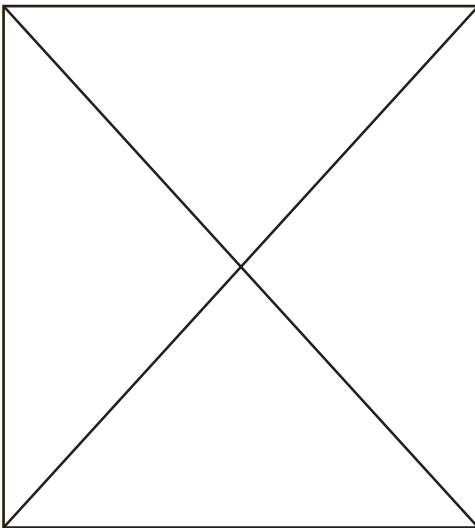


Figura 4A. Ajuste de la Distribución (logPmx basal).

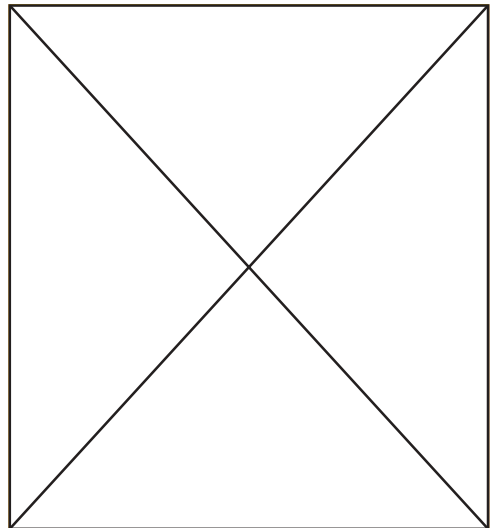


Figura 4B. Ajuste de la Distribución (logPmx pared).

las oquedades de los tafoni para detectar su estructura morfológica subyacente (patrones) e identificar valores anómalos. El paso previo (Tabla 2) ha mostrado un mayor desarrollo y una mayor variabilidad de la profundidad en los casos de pared. Para datos que no siguen la distribución normal, como ocurre aquí, se procede con las denominadas medidas estadísticas robustas. En primer lugar, consideramos los valores extremos, la mediana, y las bisagras o cuartos inferior (Ci) y superior (Cs) de la muestra (medidas semejantes al primer y tercer cuartil) obtenidas una vez ordenados los valores de Pmx en rango creciente: los tres últimos representan en las muestras la profundidad máxima alcanzada para el 25%, 50% y 75% de posibilidad de ocurrencia. En segundo lugar detectamos la presencia de datos alejados (de la mediana) o “atípicos”

(extraordinarios) a partir del indicador conocido como “paso”. El Paso equivale a $1,5(Cs-Ci)$ definiendo un límite superior ($Ls=Cs+Paso$), por encima del cual identificamos los valores alejados de la mediana. Para la Pmx de las oquedades basales obtenemos $Ls=22$ cm mientras que para las oquedades de pared $Ls=28$ cm manteniendo las diferencias en el sentido descrito por los estadísticos de la distribución. Los resultados de esta fase de análisis (Tabla 3) muestran que las diferencias se incrementan esencialmente a partir de las medianas de la muestra (la observación alejada de $Pmx=52$ en casos de pared corresponde a dos oquedades de evolución coalescente, contiguas en un plano vertical, que tienen una ventana abierta entre ellas y la de $Pmx=65$ a una oquedad vertical actualmente en bóveda única con pía desarrollada en el sector superior del bloque anfitrión).

Tabla 3. Estadísticos Exploratorios (Pmx en cm)

PMX	Mín	Ci	Med	Cs	Máx	Vam
Basal	2	4	6	11	30	22, 30
Pared	2	5	10	14	65	30, 34, 52, 65

Mín=Valor Mínimo, Ci=Cuarto Inferior, Med=Mediana, Cs=Cuarto Superior, Máx=Valor Máximo, Vam=Valores Alejados de la Mediana.

En este punto otro aspecto es de enorme relevancia. ¿Existen realmente diferencias estadísticamente significativas entre la profundidad alcanzada por los tipos considerados (basal-pared)? La aplicación estadística no paramétrica seleccionada para estimarlo es la prueba de Mann-Whitney (estadístico del test=U), bajo un contraste no direccional (dos colas) con un NDS de $p=0.05$ (LC del

95%). Esta prueba somete a contraste los rangos y las medianas de las dos muestras, y es la alternativa no paramétrica más eficiente para datos continuos frente a otros test que requerirían normalidad de los valores (como el de Student). La hipótesis nula (H_0) se define en este caso como ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los rangos y las medianas de profundi-

dad, cuya presencia solo puede deberse al azar. La hipótesis alternativa (H1) se define en este caso como la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los rangos y las medianas de profundidad, cuya presencia es representativa de condiciones reales. En nuestro caso ($U=592$) el estadístico del test es inferior al valor crítico calculado de manera que podemos rechazar H_0 con un NDS de 0.05: las diferencias de Pmx son estadísticamente significativas (los casos de pared manifiestan un crecimiento mayor que los casos basales). Para confirmar el rechazo de H_0 utilizamos la aproximación chi cuadrado que acompaña los resultados de Mann en el programa SYSTAT. Dado que obtenemos para este contraste un valor de 2,789 y que éste es inferior al valor crítico (con un grado de libertad) 3,841 se confirma aceptar el rechazo de H_0 para un NDS de 0.05 (LC=95%).

Los estadísticos resistentes de la profundidad indican, en una escala intemporal, el crecimiento máximo alcanzado en sucesivas secuencias de desarrollo. Partiendo de una hipotética tendencia general al incremento de las dimensiones en el proceso de desarro-

llo de una oquedad, establecer una serie de clases morfométricas de referencia, fácilmente comparables entre muestras de diverso tamaño, representa el paso siguiente en la aplicación estadística. La clasificación utiliza como límites superiores de los intervalos: el cuarto inferior (Ci) para los casos “muy poco profundos”; el valor inferior del intervalo de confianza de la mediana (Mi) para los casos “poco profundos”; el valor superior del intervalo de confianza de la mediana (Ms) para los casos “moderadamente profundos”; el cuarto superior (Cs) para los casos “profundos”; el límite superior del paso (Ls) para los casos “muy profundos”; y el valor máximo (Mx) para los casos de profundidad “extraordinaria” en la muestra (Pmx en cm). A la vista de los resultados (Tabla 4) las oquedades de los tafoni (o cacholas) de pared presentan un estado morfoevolutivo más avanzado que las oquedades de los tafoni basales. Ahora bien, nuestro interés se centra sobre todo, a partir de este marco de referencia, en testar la posible tasa diferencial en el crecimiento entre los grupos y avanzar sobre la formulación de ecuaciones que permitan expresar dicha tasa en términos estadísticos.

Tabla 4. Clases Morfométricas (Pmx en cm)

CM	IC	TT	TB	TP
1	Mín-Ci	2,00 - 5,00	2,00 - 4,00	2,00 - 5,00
2	Ci-Mi	5,01 - 6,03	4,01 - 5,10	5,01 - 8,90
3	Mi-Ms	6,04 - 7,97	5,11 - 6,90	8,91 - 11,10
4	Ms-Cs	7,98 - 14,00	6,91 - 11,00	11,11 - 14,00
5	Cs-Ls	14,01 - 30,00	11,01 - 22,00	14,01 - 28,00
6	Ls-Mx	30,01 - 65,00	22,01 - 30,00	28,01 - 65,00

CM=Clase Morfométrica. IC=Intervalo de Clase (cfr. texto). TT=Todas las Oquedades de las Cacholas. TB=Oquedades Basales. TP=Oquedades Pared.

Para elaborar ese último paso de la aplicación estadística tomamos como indicadores que definen una curva de estado el valor mínimo de Pmx y los límites superiores de los intervalos de las clases morfométricas (Ci, Mi, Ms, Cs, Ls, Mx). Representan estados de profundidad (Y) en una secuencia relativa de desarrollo en el tiempo (X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7). Esta secuencia no implica aceptar la existencia de procesos unidireccionales ya que aplicamos a la relación (Y,X) un análisis de regresión loglineal: la variable dependiente se expresa por los logaritmos naturales (neperianos) de Pmx. En este modelo de regresión se asume como principio estadístico la posible existencia de cambios en la tendencia del crecimiento en profundidad (T), de variaciones en las condiciones ambientales (C) y de fluctuaciones aleatorias de origen desconocido (R) nunca en términos sumatorios sino en términos multiplicativos (TxCxR) donde, además, juega un papel importante la condición de estado previa. Debido a la naturaleza del modelo obtendríamos la función exponencial ($\log Y = \log a + bx$). La relación explicativa, dado que partimos de la hipótesis de para un momento $X=0$ el valor $Pmx=0$, se formulará $Y=e^{bx}$. Utilizaremos el coeficiente de determinación corregido (R^2), que minimi-

za el posible sesgo derivado de las diferencias de tamaño muestral, para orientar la precisión del modelo. Con los datos disponibles para el grupo de oquedades en los tafoni o cacholas basales (Fig. 5A) el ajuste resultante entre $\log Y$ (indicadores morfométricos de profundidad) respecto a X es $Y=e^{0.503X}$ ($R^2=0.993$) lo que se interpreta estadísticamente como un aumento del 50,3% en la profundidad por unidad de X. Con los datos disponibles para el grupo de oquedades en los tafoni de pared (Fig. 5B) el ajuste resultante entre $\log Y$ (indicadores morfométricos de profundidad) respecto a X es $Y=e^{0.589X}$ ($R^2=0.990$) lo que se interpreta estadísticamente como un aumento del 58,9% en la profundidad por unidad de X. El desarrollo es más rápido en las oquedades verticales, y su estado morfoevolutivo más avanzado, como puede constatarse también en las curvas de ajuste para casos de tafone individualizados con todas sus oquedades (cfr. Figs. 6A-6B-6C-6D). Se constata sin embargo que, al menos, podemos distinguir dos fases de comportamiento. Los resultados del modelo explicativo para estas dos fases (en términos lineal y loglineal) se recogen en la Tabla 5 manteniendo las diferencias en la tasa de crecimiento de la profundidad entre los dos grupos.

Tabla 5. Fases de Incremento en Pmx (Todas las Cavidades)

M	Primera (Lineal)		Segunda (Loglineal)	
	Basal	Pared	Basal	Pared
C				
(b)	1,763	2,784	0,493	0,567
R ²	0,996	0,997	0,999	0,998

M=Modelo. C=Componentes del modelo. (b)=Coeficiente de estado X. R²=Coeficiente de determinación insesgado.

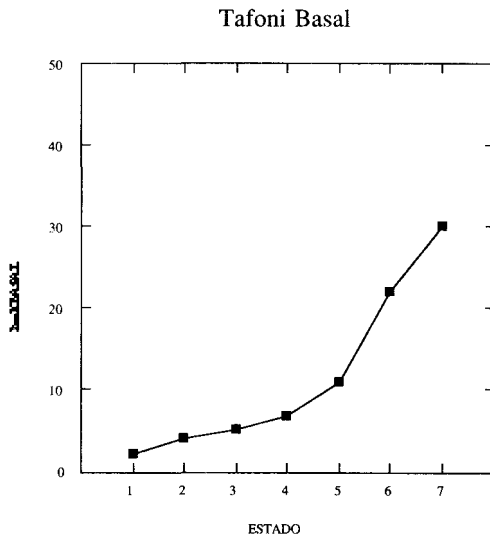


Figura 5A. Curva de Estado (oquedades basales).

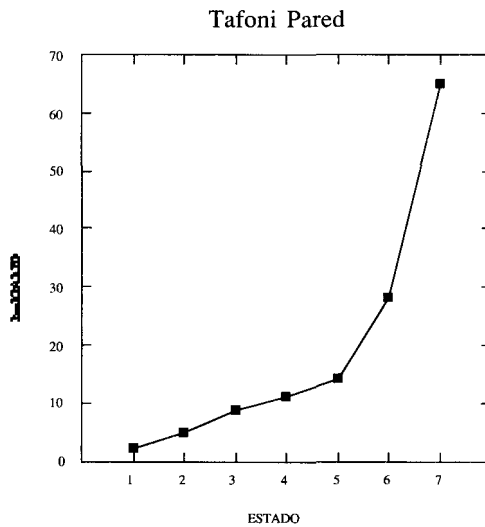


Figura 5B. Curva de Estado (oquedades de pared).

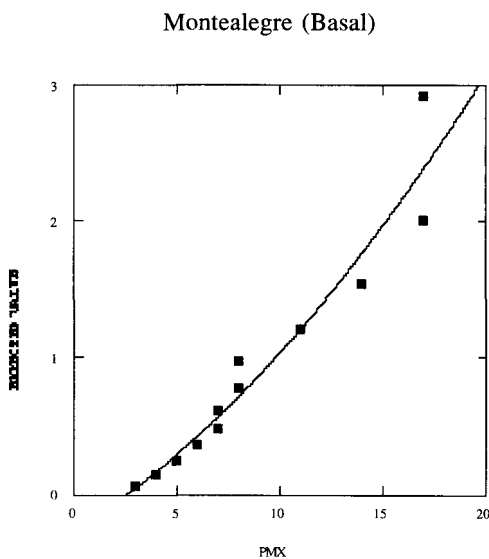


Figura 6A. Registros de Pmx (tafone 3).

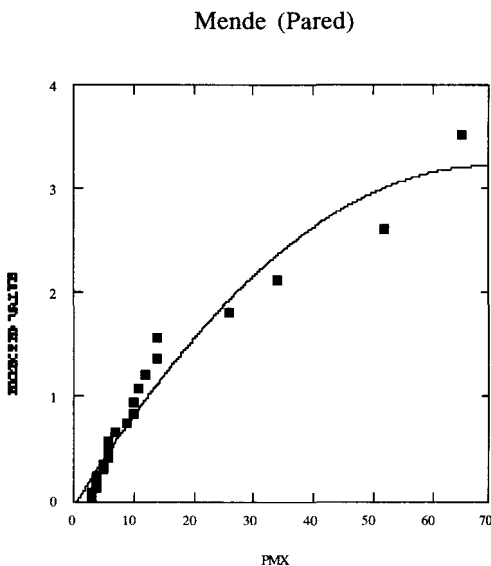


Figura 6B. Registros de Pmx (tafone 9).

Santomé (Basal)

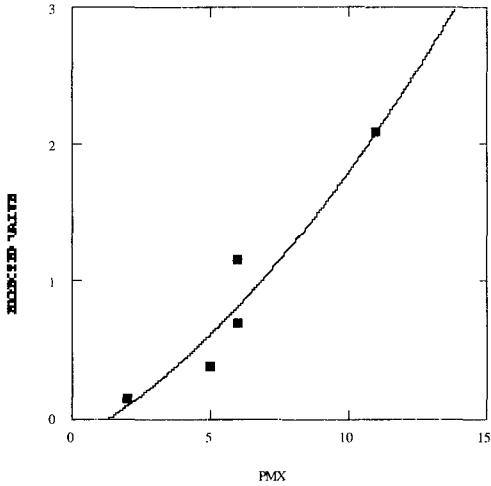


Figura 6C. Registros de Pmx (tafone 7).

Tibiás (Pared)

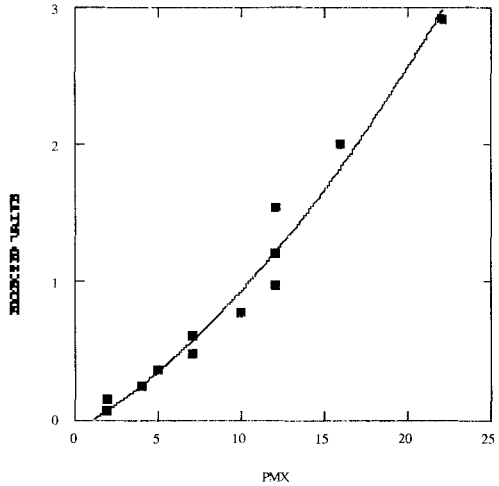


Figura 6D. Registros de Pmx (tafone 6).

5. VALORACION DEL ANALISIS Y PATRONES DE DESARROLLO.

En relación con los objetivos y el planteamiento general del trabajo, la aplicación de las técnicas estadísticas exploratorias representa un instrumento de significativa eficiencia. Resultan indispensables para seleccionar los estimadores numéricos más precisos a la vista de la distribución de los datos, orientar las pruebas de referencia para interpretar la dinámica del crecimiento, y planificar el estudio de los indicadores relevantes en posteriores análisis confirmatorios en muestras de tafoni o cacholas. En este contexto, lo fundamental no es que se encuentren muchas o pocas observaciones (así nos remitiríamos a un supuesto estrictamente inductivo) sino que aquéllas que se utilicen procedan de un muestreo estadísticamente significativo. Los resultados de la aplicación, siguiendo los requisitos básicos del análisis en términos de probabilidad,

prueban que el incremento en Pmx se comporta siguiendo una función exponencial. El mismo comportamiento se refleja al tomar los valores de Pmx principal y secundaria en cada una de las 10 cacholas encontradas en el área de muestreo (Fig. 7), es decir, al considerar los indicadores de máximo crecimiento entre todas las oquedades. En relación con este hecho COLMAN (1981) describe en particular las funciones exponenciales que presentan la desagregación/disolución de feldspatos y otros silicatos en los granitos de manera que, exceptuando eventos erosivos de especial magnitud, la incidencia de estos procesos sobre el crecimiento de la forma decrece con el tiempo. Estudios sobre tafoni en otros tipos de rocas confirman esta naturaleza exponencial que hace imposible dar precisión al uso de estadísticos clásicos como la media o la desviación estándar (en MOTTERSHEAD & PYE, 1994 aunque así lo hacen con una muestra de 20 casos advierten de su carencia de significación

estadística), y que invalidan ecuaciones de tasas de desarrollo en las que se formaliza un ratio constante de desarrollo (en NORWICK & DEXTER, 2002 aunque parten de funciones exponenciales para elaborar un modelo de crecimiento presentan sin embargo estadísticos descriptivos no resistentes como medidas de resumen de sus muestras de tafoni).

Las clases morfométricas de referencia (Pmx) reflejan la ocurrencia en estados de

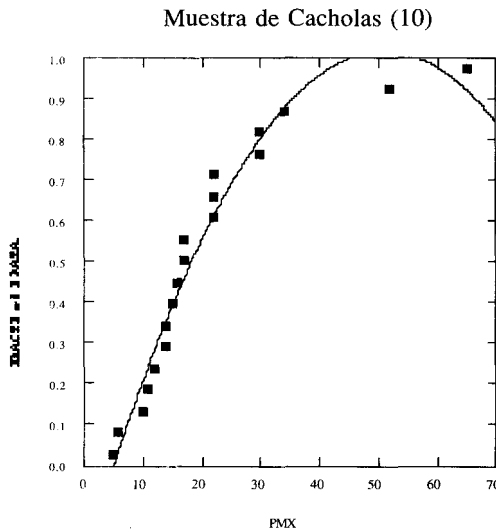


Figura 7. Gráfico de Cuantiles para Pmx (10 cacholas).

desarrollo más o menos evolucionados. Representan morfotipos dimensionales susceptibles de ser utilizados como indicadores del proceso de crecimiento. Los grupos de todas las oquedades consideradas se diferencian respecto al progreso en profundidad, más rápido y de mayor anisotropía (variabilidad) en las oquedades de las cacholas de pared. Los resultados de la relación semilogarítmica $\log Pmx$ -tiempo relativo a partir de los

indicadores morfométricos muestran la combinación de al menos dos fases en el modelo de crecimiento. Los patrones de desarrollo y sus tasas de crecimiento deben ser examinados en su valoración final para los tafoni o cacholas individualizados. En el primer trabajo sobre un modelo de crecimiento de tafoni en litología no granítica (MATSUKURA & MATSUOKA, 1991) se toman los valores medios de Pmx en los 10 tafoni más profundos de las muestras para elaborar una curva de crecimiento que confirma el incremento de la profundidad en el tiempo, más rápido inicialmente que en los estados más avanzados del proceso de ahondamiento con un ajuste exponencial; SUNAMURA (1996) muestra igualmente que la velocidad de crecimiento de los tafoni decrece exponencialmente con el tiempo como tendencia general exceptuando las etapas iniciales de desarrollo en Pmx; NORWICK & DEXTER (2002 o.c.) evalúan dichos trabajos y proponen a partir de 50 tafoni dados relativamente, un ajuste sigmoideal más adecuado a su área de muestreo. Todos estos autores hablan de un "tiempo de espera" o de "retardo" previo al inicio del ahondamiento de un tafoni en una superficie rocosa (datada relativamente) una vez expuesta en superficie (por tanto coinciden en su naturaleza epigénica). En este trabajo, tanto por los objetivos inicialmente propuestos como por el planteamiento estadístico elaborado, consignamos en esta valoración final de las tasas de desarrollo para cada tafoni o cachola (10 casos) sucesivos estados de crecimiento máximo en profundidad (ECM=1,2,3,4). Los valores que se corresponden con ECM son el del cuarto inferior (Ci), la mediana (Med), el cuarto superior (Cs) y el registro máximo (Mx). Tales estadísticos resistentes se obtienen

una vez tabulada la Pmx principal (la oquedad más profunda) y la Pmx secundaria (la segunda oquedad más profunda) de cada tafoni o cachola. Posteriormente se han diferenciado los casos basales y los casos de pared con los mismos criterios. Los patrones obtenidos son semejantes a los de los estudios previamente citados en otras rocas y aquí subrayaremos como aportación relevante, además, la evidente diferenciación en las fases de crecimiento (Figs. 8A-8B-8C).

El ajuste loglineal entre la variable dependiente (logPmx) y la variable independiente (ECM) la utilizamos como base para conocer la magnitud de la tasa de crecimiento en nuestros tafoni desarrollados sobre una superficie degradada de edad epigénica Mioceno- Pleistoceno (S2). El ajuste que incluye el coeficiente de una constante corresponde a la hipótesis (H1) de la posible existencia de un "tiempo de espera" o de "retardo" antes del inicio del ahondamiento

de la cavidad. El ajuste que carece del coeficiente de una constante corresponde a la hipótesis (H2) de $Pmx=0$ para un $Tiempo=0$ no necesariamente epigénico. Todos los ajustes confirman la significación estadística debido a su p -valor $< 0,05$ (dos colas) para los coeficientes obtenidos y el análisis de la varianza. Según el ajuste para H1 el resultado de la tasa de crecimiento máximo es similar entre los tafoni o cacholas basales ($Y=e^{2,017+0,320X}$ con $R^2=0.903$) y de pared ($Y=e^{2,704+0,361X}$ con $R^2=0.994$). Según el ajuste para H2 el resultado de la tasa de crecimiento máximo es mayor en las cacholas de pared ($Y=e^{1,262X}$ con $R^2=0.907$) que en las basales ($Y=e^{0,993X}$ con $R^2=0.915$); la varianza explicada (R^2 insesgado) por el modelo de H2 es mayor para el grupo basal, mientras que la explicada por el modelo de H1 es mayor para el grupo de pared. En conjunto (Pmx de 10 tafoni) el resultado de la tasa de crecimiento máximo es mayor para el ajuste según H2 ($Y=e^{1,157X}$ con $R^2=0.941$) que

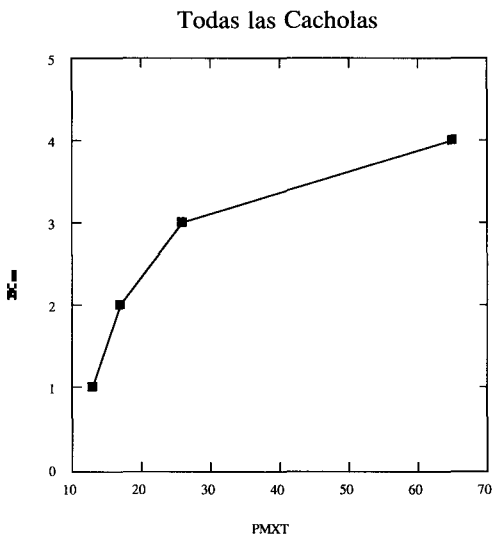


Figura 8A. Patrón de Desarrollo General.

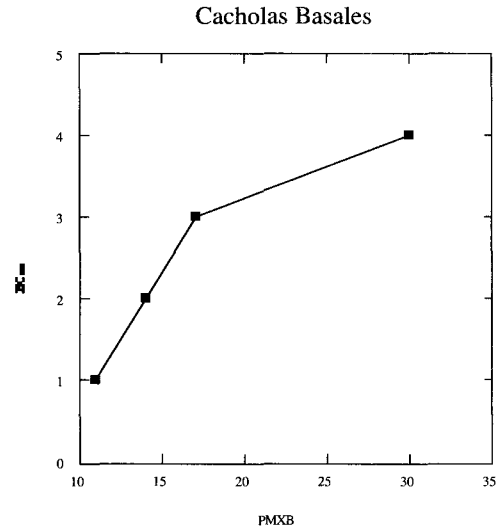


Figura 8B. Patrón de Desarrollo Basal.

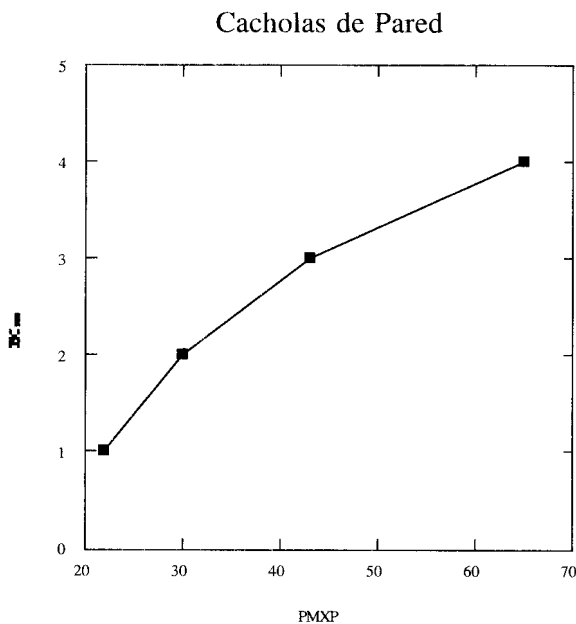


Figura 8C. Patrón de Desarrollo Pared.

para el ajuste según H1 ($Y=e^{1,894+0,525X}$ con $R^2=0.889$). Estas son las hipótesis que fundamentan el necesario desarrollo de una investigación futura.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor J. R. Vidal Romani (Universidad de A Coruña) por las sugerencias

acerca de las fuentes, la orientación y la presentación de este trabajo. Al Doctor J. de Uña Alvarez (Universidad de Vigo) por el asesoramiento sobre de las técnicas estadísticas y su aplicación. Al Doctor J. Yepes Temiño (Universidad de A Coruña) por los comentarios referentes a la geomorfología de Ourense.

Recibido: 16-1-2004

Aceptado: 30-6-2004

BIBLIOGRAFIA

- ARAUJO NESPEREIRA, P. (1991-92) Geomorfología de la depresión de Orense. *Bol. Aur.*, XX-XXI: 27-39
- BAONZA, J. (1999) Varios tafoni singulares en la Sierra de Guadarrama (Bustarviejo, Madrid). *Cuat. & Geom.*, 13 (1/2): 53-62
- BARRERA MORATE, J.L. et al (1989) Rocas graníticas Hercínicas. En *Memoria del Mapa Geológico de España*, Madrid, ITGME, E1: 200.000, Hoja 17/27, Ourense/Verín, 229-232
- BIROT, P. (1958) Les domes cristallines. *Mém. et Doc. du C.N.R.S.*, 6: 9-34
- BORRADAILE, G.J. (2003) *Statistics of earth science data*. New York, Springer
- BOURCART, J. (1930) Le problème des "taffoni" de Corse et l'érosion alvéolaire. *Rev. Geogr. Phys. et Geol. Dyn.*, 111: 5-15
- CAILLEUX, A. (1953) Taffonis et érosion alvéolaire. *Cah. Géol. Thoiry*, 16/17: 130-133
- CALKING, P. & CAILLEUX, A. (1962) A quantitative study of cavernous weathering (taffonis) and its application to glacial chronology in Victoria Valley, Antarctica. *Zeits. für Geomorph.*, 6: 317-324
- CAMPBELL, E.M. & TWIDALE, C.R. (1995a) Litologic and climatic convergence in granite morphology. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 20: 381-403
- CAMPBELL, E.M. & TWIDALE, C.R. (1995b) The various origins of minor granite landforms. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 20: 281-306
- CAPDEVILA, R. & FLOOR, P. (1970) Les différents types de granites hercyniens et leur distribution dans le Nord-Ouest de L'Espagne. *Bol. Geol. Min. Esp.*, LXXXI-II-III: 215-225
- CENTENO, J. D.; PEDRAZA, J. de; MOLINA, E.; SANZ, C.; VIDAL ROMANÍ, J.R. (1988) Geomorfología en granitos. En Gutiérrez & Peña (eds) *Perspectivas en Geomorfología*, Zaragoza, S.E.G. Monografías, 2: 37-46
- COLMAN, S.M. (1981) Rock weathering rate as a functions of time. *Quat. Res.*, 15: 250-264
- COTELO NEIVA, J.M. (1940) Alguns aspectos erosivos dos granitos do norte de Portugal. *Pub. Lab. Min. Geol. de Porto*, XIV: 3-8
- CHOFFAT, P. (1895) Sur quelques cas d'érosion atmosphérique dans les granites du Minho (Tafoni). *Com. Serv. Geol. Portugal*, III: 17-26
- DEMEK, J. (1965) Slope development in granite areas of Bohemian massif. *Zeits. für Geomorph.*, 5: 82-106
- DEN TEX, E. (1978) El zócalo policíclico y su importancia en la evolución de la cadena varisca en Galicia occidental. *Cad. Sem. Est. Cer. Sargadelos*, 27: 141-157
- DRAGOVICH, D. (1969) The origin of cavernous surfaces (tafoni) in granitic rocks of southern Australia. *Zeits. für Geomorph.*, 13: 163-181
- FRAGA VAZQUEZ, X.A.; RIKKINEN, K.; VIDAL ROMANI, J.R. (1994) The visit of the geographer and botanist Ragnar Hult to Galiza. *Ingenium*, 4
- GRENIER, M.P. (1968) Observations sur les taffonis du désert chilien. *Bull. Assoc. Geogr. Fran.*, 364/365: 193-211
- GODARD, J. (1977) *Pays et paysages du granite*. Paris, P.U.F.
- GOUDIE, A. (dir) (1994) *Geomorphological Techniques*. London, Routledge
- JENNINGS, J.N. (1968) *Tafoni*. In: Fairbridge (ed) *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinold Book Co., p. 1103
- KLAER, W. (1956) Untersuchungen zur klimagenetischen im granit auf Korsika. *Geogr. Z.*, 33: 247-260
- KVELBERG, I. & POPPOF, B. (1937) *Die tafoni-verwitterungserscheinung* Act. Univ. Latviensis. Kim. Fak. Ser. IV (6)
- L.I.G.U.S. (1952) Problèmes géomorphologiques corses. *Rev. Géomorph. Dyn.*, 4: 157-198
- MARTINI, I.P. (1978) Tafoni weathering with examples from Tuscany (Italy). *Zeits. für Geomorph. N.F.*, 22: 44-67
- MATSCHINSKY, M. (1954) Quelques considerations sur la théorie mathématique des taffoni. *Acad. Nac. Lincei. Rend. (ser. 8)*, 16: 632-633 y 731-734
- MATSUKURA, Y. & MATSUOKA, N. (1991) Rates of tafoni weathering on uplifted shore platforms in Nojima-Zaki, Boso Peninsula, Japan. *Earth Surf. Process. Landforms*, 16: 51-56
- MOTTERSHEAD, D.N. & PYE, K. (1994) Tafoni on coastal slopes, South Devon, U.K. *Earth Surf. Process. Landforms*, 19: 543-563
- NORWICK, S.A. & DEXTER, L.R. (2002) Rates of development of tafoni in the Moenkopi and Kaibab formations in Meteor crater and on the Colorado plateau, Northeastern Arizona. *Earth Surf. Process. Landforms*, 27: 11-26

- OTTMANN, F. (1956) Sur l'âge de quelques "taffoni" en Corse. *Bull. Soc. Géol. de France*, 6: 62-64
- PALLÍ, L.; PEDRAZA, J. de; ROQUÉ, C.; VIDAL ROMANÍ, J.R.; CENTENO, J. (2001) Geomorfología granítica en España. En Gómez y Pérez (eds) "Evolución reciente de la Geomorfología española (1980-2000)". *Aportación española a la V Conferencia Internacional de Geomorfología*: 55-68
- PEDRAZA, J. de; SANZ, M.A.; MARTIN, A. (1989) *Formas graníticas de La Pedriza*. Comunidad de Madrid, Cuadernos de Medio Ambiente
- PENCK, A. (1894) *Morphologie der Erdoberfläche*. Stuttgart, Engelhorn
- PIKE, R.J. (1995) Geomorphometry. Progress, practice and prospect. *Zeits. für Geomorph.*, Suppl. 101: 221-238
- PRADO, C. de (1864) Descripción física y geológica de la provincia de Madrid. *Col. CC. HH. e Ingeniería*, 2: 60-76
- REUSCH, H.H. (1883) Notes sur la géologie de la Corse. *Bull. Soc. Géol. de France*, 11: 53-67
- RONDEAU, A. (1961) *Recherches Geomorphologiques en Corse*. Paris, Armand Colin
- ROQUÉ PAU, C. & PALLÍ BUXÓ, L. (1998) Las formas graníticas del macizo de l'Ardenya. En Gómez y Salvador (eds) *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*, 107-114
- SUNAMURA, T. (1996) A physical model for the rate of coastal tafoni development. *Jour. of Geol.*, 104: 741-748
- TWIDALE, C.R. (1982) *Granite Landforms*. Amsterdam, Elsevier
- TWIDALE, C.R. (1989) The subsurface initiation of granite landforms and implications for general theories of landscape evolution. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 13: 49-68
- TWIDALE, C.R. & VIDAL ROMANÍ, J.R. (1994) On the multistage development of etch forms. *Geomorphology*, 11: 107-124
- TWIDALE, C.R.; BOURNE, J.A.; VIDAL ROMANÍ, J.R. (2002) Multistage landform development in various settings and at various scales. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 27: 55-76
- UÑA ALVAREZ, E. de (2001) Elementos Físico-Naturales En VVAA: *Guía da Natureza. Conxunto Arqueolóxico-Natural de Santomé*, Ourense, Grupo Marcelo Macías, 10-21
- UÑA ÁLVAREZ, E. de (2004a) Sobre los modelos conceptuales en la investigación de los paisajes graníticos. *Minius*, XII (en prensa)
- UÑA ÁLVAREZ, E. de (2004b) Paisajes graníticos. Claves de la investigación sobre los complejos morfológicos. *Hom. Prof. D. Fernández Ferro*, Universidad de Vigo (en prensa)
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1983) *El Cuaternario en la provincia de A Coruña. Geomorfología granítica. Modelos elásticos de formación de cavidades*. Tesis Doctoral, Madrid, Publ. Universidad Complutense (1985), 2 tomos
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1984a) Micromorfias tipo tafoni (cachola) y gnamma (pia). Un micromodelado sin relación con el clima o la estacionalidad. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 7: 273-277
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1984b) Geomorfología granítica. Modelos de deformación post-tectónica de los macizos rocosos. *Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 97: 143-158
- VIDAL ROMANI, J.R. (1989) Geomorfología granítica en Galicia. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 13: 89-163
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1990) Formas menores en rocas graníticas. Un registro de su historia deformativa. Teruel, *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*, S.E.G., 71-80
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1991) *Unidades paisajísticas de Galicia*. Xunta de Galicia, Cons. Ordenación Territorio y Obras Públicas, Serie "Territorio y Paisaje"
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (2002) O Relevo actual de Galicia. En VV.AA. *Galicia-Natureza, Historia Natural (Xeoloxía)*, A Coruña, Hércules, XXXVI: 305-341
- VIDAL ROMANI, J.R.; GRAJAL, M.; VILAPLANA, J.M.; RODRÍGUEZ, R.; MACIAS, F.; FERNÁNDEZ, S.; HERNÁNDEZ PACHECO, A. (1979) Procesos actuales: Micromodelado en el granito de Monte Louro, Galicia, España (Proyecto Louro). Banyoles, *Actas de la IV Reunión del GETC*, 246-266
- VIDAL ROMANÍ, J.R.; RODRÍGUEZ MARTÍNEZ-CONDE, R.; MACIAS VÁZQUEZ, F. (1984) Evolución de la vertiente granítica de Monte Louro (Galicia, España). Paris, *Hom. G. Zbyszewski, Ed Recherche sur les Civilisations*, 101-108

- VIDAL ROMANÍ, J.R. & GRACIA PRIETO, F.J. (1987) Formación de cavidades en granito bajo condiciones no epigénicas. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 12: 47-57
- VIDAL ROMANÍ, J.R.; BRUM, A.de; ZEZERE, J.L.; RODRÍGUEZ, L.; MONGE, C. (1990) Evolución cuaternaria del relieve granítico en la Serra de Geres-Xurés (Minho-Portugal, Ourense-Galicia) *Cuat. & Geom.*, 4: 3-12
- VIDAL ROMANI, J.R. & TWIDALE, C.R. (1998) *Formas y Paisajes graníticos*. Universidade da Coruña, Servicio de Publicacións, Monografías (55)
- VILLASANTE PINTO, R. (1989) Geomorfología. En VV.AA. *Memoria del Mapa Geológico de España*, Madrid, ITGME, E 1: 200.000, Hoja 17/27, Ourense/Verín, p. 11
- WILHELMY, H. (1958) *Klimamorphologie der Massengesteine*. Braunschweig
- YEPES TEMIÑO, J. (2002) *Geomorfología de un sector comprendido entre las provincias de Lugo y Ourense (Galicia, Macizo Hespérico)*. A Coruña, Edición do Castro, Serie Nova Terra, 21