

**Análisis morfométrico de gnammas en rocas graníticas.  
Resultados de un estudio piloto en Galicia**

**ELENA DE UÑA ALVAREZ**

Universidade de Vigo

**Resumen**

Se presenta un estudio comparativo de las propiedades geométricas en dos muestras de gnammas desarrolladas sobre afloramientos graníticos representativos del relieve de Galicia. Las observaciones de campo se someten a tratamiento mediante análisis exploratorio de datos; la información se relaciona con los resultados del análisis factorial, haciendo una valoración que sirva de ensayo piloto para posteriores investigaciones en morfometría específica.

Palabras clave: *Morfometría, Granito, Gnammas, Pías.*

**Abstract**

A comparative study of gnammas geometric properties between two field samples from granitic massifs in Galicia relief (Spain) is displayed. Field observations are subject to exploratory data analysis; information is release with factor analysis results (principal components) making a global assessment, useful for later research at specific morphometry.

Key words: *Morphometry, Granite, Gnamma, Pía.*

**1. INTRODUCCIÓN. HIPÓTESIS DE TRABAJO.**

Los caracteres específicos que ofrece la morfología en superficie de los diversos afloramientos rocosos reflejan la respuesta dinámica a determinado sistema natural, definido por la interacción de procesos geomórficos cuya naturaleza, dirección e intensidad derivan a su vez de los componentes endógenos y exógenos presentes, sus tipos de relaciones y la secuencia temporal considerada.

El análisis morfométrico constituye una de las técnicas que pueden ser utilizadas a fin de concretar, a partir de variables cuantitativas, la tipología de dicha respuesta. Los resultados permiten, además, comparar y agrupar las formas de manera que de su interpretación pueda avanzarse en el conocimiento acerca de los elementos que controlan la génesis y el desarrollo de los rasgos morfológicos.

La morfología granítica se interpreta en las investigaciones más recientes (TWIDALE y VIDAL, 1994) como un moplado complejo en cuya génesis intervienen procesos de diferentes edades: la existencia de una serie de eventos que preceden a la meteorización subsuperficial (fases magmática y de consolidación) crea un sistema de discontinuidades a través de las cuales la roca experimenta

contacto con el agua (fase de meteorización subsuperficial); la acción en el frente de alteración se ve ponderada por un conjunto de variables (textura y estructura de la roca, tectónica, temperatura y composición del agua, tiempo de contacto); cuando el afloramiento queda expuesto en superficie sufre una serie de modificaciones en condiciones epigénicas que diversifican las formas primarias.

Ciertas morfologías cóncavas de dimensiones centimétricas a métricas (gnammas, vasques, en Galicia *pías*) se definen como resultado de secuencias asociadas a las etapas de deformación (vía tectónica), y/o de alteración (vía edáfica), que pueden producir una concentración de cargas en un plano de discontinuidad susceptible de generar estas microformas; en superficie, los mecanismos subaéreos son responsables de la evolución de la cavidad apreciándose un incremento de dimensiones (longitud, anchura, profundidad) cuanto mayor sea su edad (VIDAL, 1989).

Se considera, por tanto, que las variables que inciden en el proceso son la petrología de la roca; su estructura y las condiciones exógenas; las dos primeras, de naturaleza endógena "se reproducen casi indefinidamente a medida que el sustrato rocoso es degradado por la alteración y evacuados los productos resultantes por la erosión"...la tercera "es la que ocasiona formas perecederas e irreproducibles que, una vez deja de actuar el proceso que las originó, pueden ser destruidas sin regenerarse...a no ser que se repita la actuación de aquel" (VIDAL et al., 1990: 5).

Exceptuando el caso de superficies glaciadas, las gnammas se caracterizan, en su distribución geográfica, por su frecuente presencia bien de manera aislada bien en conjuntos; ofrecen una gran variedad morfológica y funcional no habiéndose encontrado correlaciones significativas con los caracteres climáticos (modelado azonal) ni petrológicos en estudios morfométricos llevados a cabo en Galicia (p.e., VIDAL et al., 1979; VIDAL, 1982; DE UÑA, 1985).

En este estudio piloto se contrastará la posible influencia de las variables citadas en la morfología de las gnammas observadas en dos áreas graníticas de Galicia.

## II. CARACTERES DE LAS AREAS DE ESTUDIO

Se han seleccionado dos sectores de estudio (Fig. 1) en el contexto de *dos macizos graníticos gallegos* (La Coruña y Orense). Se trata de bloques fragmentados de la llamada penillanura fundamental por lo que la configuración del relieve se resume en la alternancia de horst y fosas delimitados por los sistemas de fracturación dominante SE-NO y SO-NE, esporádicamente con direcciones meridianas y/o submeridianas.

Las observaciones se han realizado en dos horst que presentan los caracteres "normales" de estas megaformas en Galicia: moderada altitud, topografía de cumbres plana, vertientes disimétricas, y tectónica de fractura intensa a la que se encuentra asociada una red de diaclasación de alta densidad (separación entre 20 y 50 cm) en sistemas de tipo ortogonal y curvilíneo.

En el *macizo de La Coruña* (LC) el área corresponde a dos bloques que conforman las mayores altitudes del conjunto y delimitan su sector meridional alineados en dirección NO-SE: los Montes de Santa Leocadia (longitud 7,5 Km; anchura 2 Km) cuyas cotas máximas se encuentran entre 300 y 400 m de altura, y los Montes do Xalo (longitud 7 Km; anchura 4 Km) cuyas cotas máximas oscilan entre los 400 y 530 m de altura. Conforman la divisoria de aguas entre los valles del río Arteixo y el, río Barcés. La petrología se define por la presencia de granodioritas precoces, no orientadas, con biotita dominante y feldespatos esencialmente plagioclasas.

En el *macizo de Orense* (OR) el área corresponde al bloque que delimita su sector nororiental alineado en dirección SO-NE (6 Km de longitud y 1,5 Km de anchura) conocido como Monte das Chairas (cotas máximas entre 390 y 430 m de altura), prolongando las observaciones hacia un transecto en dirección SE-NO en el Monte do Lombo (en 1 Km de longitud y 1,5 Km de anchura) donde las altitudes máximas rondan los 430 m. Conforman parte de la divisoria de aguas del río Loña. Petrologicamente se definen por la presencia de granodiorita tardía con megacrístales de feldespato

y biotita dominante en el primer caso, pasando hacia granitos de dos micas en el segundo (PARGA PONDAL, PARGA PEINADOR, VEGAS Y MARCOS, 1982).

El clima actual revela sensibles contrastes entre las áreas referidas. La temperatura media anual asciende ligeramente hacia la segunda estación de observación (13°C a 14°C), en el mismo sentido que la amplitud térmica (9°C a 14°C); un gradiente inverso lo presenta el valor total de precipitación anual (1.600 mm a 800 mm) siendo la estación cálida mucho más seca en el interior, de manera que la precipitación estival supone en La Coruña alrededor del 12% de las lluvias anuales mientras que en Orense tan solo el 9%, oscilando los valores de degradación específica (Fournier) entre 50 y 100 (ICONA, 1988).

### III. MATERIAL Y METODOS

En la primera fase de estudio se ha efectuado un muestreo espacial siguiendo la línea de cumbres y alta vertiente, recogiendo un total de 65 observaciones de campo. Se han consignado los datos referentes a las dimensiones de la cavidad y su ubicación, reteniendo para el análisis las variables que figuran en la Tabla 1. Para cada una de ellas se estableció un valor en base a su influencia en los procesos de alteración y erosión (la petrología por su grado de alterabilidad potencial, la orientación por exposición más o menos favorable a los flujos de humedad y viento, la pendiente de la superficie estimando su mayor o menor aptitud para la evacuación de agua y materiales procedentes de la gnamma) (Fig 1).

Con los datos del fichero así conformado se realizó un análisis estadístico de la muestra, examinando los valores de correlación entre variables. Los valores estadísticos descriptivos del análisis exploratorio se consignaron igualmente para los dos grupos de información, obteniendo índices morfométricos sencillos para, a continuación, discriminar los grupos morfológicos y sus posibles controles mediante un procedimiento de clustering.

La interpretación de los resultados se apoyó en un análisis factorial que permitiese ponderar la influencia del conjunto de variables retenidas.

**Tabla 1. VARIABLES RETENIDAS PARA EL ANÁLISIS**

TIPO	DENOMINACIÓN
Geográfico	Altitud (m) = AL T Orientación (N-NO, N, NE, E-NE, S, SO, SE, O, O-NO, O-SO) = OR Superficie (pendiente) = VS
Morfometría	Longitud (eje mayor superficie, cm) = LS Anchura (eje menor superficie, cm) = AS Profundidad (cm) = P Longitud (eje mayor fondo, cm) = LF Anchura (eje mayor fondo, cm) = AF
Geológico	Tipo de Granito (Gp, Gt, Dm) = GR Grado de desarrollo de exutorio = VE

#### IV. RESULTADOS

*Las gnammas* se localizan entre los 160 y los 521 m de altitud, siendo la mayor frecuencia de aparición la que se corresponde con 380-390 m; las dimensiones superficiales oscilan entre 15-205 cm de longitud y 15-118 cm de anchura, mientras que las dimensiones del fondo oscilan entre los 5 / 180 cm de longitud y los 10 / 108 cm de anchura, siendo la variación del índice de compacidad entre 1,00 Y 4,75 para la superficie.

Los valores más bajos de profundidad son de 1 cm mientras que los más elevados ascienden hasta 120 cm. Es esta última variable medida la que presenta un mayor coeficiente de variación (95%) frente a los coeficientes de las restantes (entre 47 y 66%).

*Los valores medios de la muestra* apenas difieren de los de las medianas, encontrándose definidos por los siguientes datos

longitud en superficie	84 cm
anchura en superficie	51 cm
profundidad	22 cm
longitud de fondo	66 cm
anchura de fondo	38 cm
ICS	1,67

*Los resultados del análisis estadístico exploratorio* para las gnammas de cada una de las áreas de estudio (Tabla 2) son significativos. Para las gnammas del área orensana se obtienen medidas de centralización con valores inferiores en las variables longitud en superficie, anchura en superficie y profundidad (Fig. 2).

**Tabla 2. ESTADÍSTICA DE LAS VARIABLES MORFOMÉTRICAS**

##### MACIZO GRANÍTICO DE LA CORUÑA

MEDIDA	LS	AS	P	LF	AF
mínima	15,00	15,00	1,00	5,00	10,00
máxima	200,00	118,00	120,00	180,00	107,00
rango	185,00	103,00	119,00	175,00	97,00
mediana	87,00	47,00	18,00	35,00	35,00
media	89,66	55,06	26,97	66,00	39,74
desviación s.	48,59	26,07	24,38	41,02	22,61
coef. variac.	54,00	47,00	90,00	62,00	57,00

##### MACIZO GRANÍTICO DE ORENSE

MEDIDA	LS	AS	P	LF	AF
mínima	27,00	18,00	3,00	16,00	10,00
máxima	205,00	110,00	64,00	180,00	108,00
rango	178,00	92,00	61,00	164,00	98,00
mediana	61,00	41,50	12,00	48,50	30,00
media	77,27	45,97	16,00	65,17	35,03
desviación s.	47,03	20,65	13,79	46,80	4,15
coef. variac.	61,00	45,00	86,00	72,00	65,00

LS= Longitud en superficie; AS= Anchura en superficie; P= Profundidad; LF= Longitud de fondo; AF= Anchura de fondo.

Al descomponer los valores en su distribución de frecuencia se pueden hacer una serie de matizaciones:

- la clase modal de *longitud* presenta dimensiones menores en el macizo de LC (40-60 cm) que en el de OR (60-80 cm) representando poco más del 25% de las observaciones en ambos casos; sin embargo, en el caso de OR los intervalos inferiores a 60 cm suponen el 36% de las observaciones mientras que en el caso de LC los intervalos superiores (60-140 cm) duplican la frecuencia de la clase modal (50%) por lo que se confirma el mayor valor longitudinal para las gnammas del macizo de LC.

- la clase modal de *anchura* presenta idénticas dimensiones en el macizo de LC y en el macizo de OR (40-50 cm) representando el 37% y 30% de las observaciones respectivamente; sin embargo, en el primer caso es el intervalo de 50-60 cm el siguiente en valor de frecuencia mientras que en segundo es el de 30-40 cm, representando las gnammas del primero mayores valores de anchura subrayados por la importancia de los intervalos superiores (100-110 cm = 15%).

- en ambos casos la clase modal de las dimensiones de *profundidad* se identifica con los valores inferiores a 20 cm; sin embargo, la frecuencia es sensiblemente inferior para las observaciones del macizo de LC (54%) respecto a las del macizo de OR (73%) confirmándose la menor profundidad en el último caso donde los valores inferiores a 40 cm suponen el 93% del total frente al 80% del primer caso situados bajo el valor de 60 cm.

Los resultados pueden expresarse con los valores obtenidos del empleo de *relaciones o índices morfométricos*. Se ha estudiado la contrastación de los estadísticos de la muestra con los de los índices de compacidad en superficie (ICS) y fondo (ICF), así como la relación de profundidad (IS):

$$(ICS = LS / AS) \quad (ICF = LF / AF) \quad (IS = AS / P)$$

Se identifica similitud en ambos macizos en el ICS mientras que existe un acusado contraste en el ICF e IS como podría deducirse de la variación de las dimensiones ya comentadas (Tabla 3). Las cavidades alargadas con secciones en planta similares a las de superficie, así como las que tienden a la forma circular y son profundas se desarrollan con mayor frecuencia en el macizo de La Coruña. Es allí donde se observa, generalmente, una mayor dispersión con referencia a los valores centrales.

**Tabla 3. ESTADISTICA DE LOS INDICES MORFOMETRICOS****MACIZO GRANITICO DE LA CORUÑA**

MEDIDA	ICS	ICF	IS
mínima	1,00	0,22	0,38
máxima	4,75	6,60	50,00
rango	3,75	6,38	49,63
mediana	1,39	1,41	2,40
media	1,69	1,89	4,17
desviación s.	0,85	1,35	8,24
caetic. variac.	50,00	72,00	197,00

**MACIZO GRANITICO DE ORENSE**

MEDIDA	ICS	ICF	IS
mínima	1,00	1,00	0,63
máxima	3,57	10,00	21,00
ranga	2,57	9,00	20,38
mediana	1,53	1,60	3,38
media	1,65	2,05	4,47
desviación s.	0,58	1,66	4,09
caetic. variac.	35,00	81,00	92,00

Los dendrogramas que expresan el resultado del cluster jerárquico aglomerativo (Fig. 3 y Fig. 4) permiten distinguir tres grandes conjuntos de tipologías de gnammas en función de las dimensiones y los espacios considerados:

\* En el macizo granítico de LC, un grupo estaría formado por las cavidades definidas según la relación equidimensional longitud/anchura siendo ésta inferior a la profundidad, o en su defecto el valor de la longitud ligeramente superior a la anchura (circulares o aproximadamente circulares), con pequeñas dimensiones (<50 cm); en contraste, otro grupo distingue las cavidades de mayor longitud (L>100 cm) con anchura variable (siempre <50 cm) y profundidad variable (alargadas lobuladas); el último grupo aglutina las gnammas que presentan características entre los dos anteriores desde circulares profundas hasta las ovoides y alargadas poco profundas.

\* En el caso del macizo granítico de GR, se distinguen igualmente tres grandes grupos; uno de ellos coincide en sus características con el del caso anterior (L> 100 cm) presentando una morfología alargada en sentido del eje mayor, aunque con profundidades menores (siempre <20 cm); otro grupo distingue los tipos que tienden a contornos circulares aunque nunca aparecen relaciones equidimensionales tan claras como en el caso del macizo de LC y son poco profundas (P<10 cm); el segundo grupo se caracteriza a su vez por aquellas cavidades que se encuentran alrededor de los 80 cm de longitud y 50 cm de anchura, de morfología ovoide.

Se ha buscado la explicación de estas diferencias empleando el sentido y grado de asociación de las variables mediante el *coeficiente de correlación* de Pearson. No se han encontrado correlaciones significativas entre ninguna de las retenidas para el estudio con la altitud y la orientación.

Se han encontrado correlaciones de bajo grado de asociación ( $r = 0,2-0,4$ ) entre la anchura de la cavidad en superficie con la alterabilidad potencial del granito (positiva) y la inclinación de la superficie en que se desarrolla la forma (negativa), así como entre la profundidad de la cavidad con la alterabilidad potencial del granito (positiva) y la presencia de un exutorio desarrollado (negativa).

Las correlaciones con grado de asociación medio ( $r = 0,4-0,7$ ) se identifican entre la longitud de superficie y de fondo con la anchura de fondo (positiva) y la inclinación (negativa), entre la anchura de superficie y la profundidad y longitud de fondo (positiva), y entre la presencia de exutorio desarrollado y el grado de alterabilidad potencial del granito (positiva).

Las correlaciones que expresan alto grado de asociación ( $r > 0,7$ ) se han encontrado entre los valores de longitud y anchura en superficie, entre los valores de anchura en superficie y anchura en fondo, así como entre los valores de longitud y anchura en superficie con la longitud de fondo (positivas).

La matriz de correlaciones se ha sometido entonces al *análisis factorial (ACP)* a fin de procurar un análisis más detallado de las posibles causas de la variabilidad morfométrica entre las muestras de los dos sectores de estudio. Se han diferenciado cuatro factores (Tabla 4) que explican la influencia combinada de las variables retenidas para el 30% (factor 1), el 19% (factor 2), el 14% (factor 3) y el 10% (factor 4) de la varianza muestral.

El primer factor presenta un peso importante en su composición procedente de las variables longitud en superficie (0,97), longitud en fondo (0,94), anchura en superficie (0,77), anchura de fondo (0,70) y, en consecuencia, de las variables ICS (0,60) e ICF (0,66). Lo denominamos "geometría de superficie y fondo".

El segundo factor combina la importancia de la variable profundidad (0,70), con el grado de alterabilidad potencial del granito considerado (0,40) y, lógicamente, el IS (0,32). Lo denominamos "vulnerabilidad petrológica".

En el tercer factor la alterabilidad potencial del granito subraya su importancia de nuevo al tener una composición marcada por el grado de desarrollo del exutorio de la forma (0,52), el tipo de granito (0,45) que aparece en combinación con la posición en altitud (0,40). Lo denominamos "alterabilidad potencial primaria".

Es a nivel del cuarto factor cuando comienza a distinguirse la influencia de la orientación geográfica (0,55) y la pendiente de la superficie y/o bloque en que se desarrolla la forma (0,50). Lo denominamos "alterabilidad potencial secundaria".

Se comprueba mediante la rotación varimax la validez de los resultados (Tabla 4). Los factores rotados redistribuyen ligeramente el porcentaje de explicación de la varianza (25%, 20%, 14% y 13% para los factores 1, 2, 3 y 4 respectivamente), adjudicando a las dos primeras combinaciones las variables de "geometría de superficie y fondo" y discriminando un peso mayor para las variables "vulnerabilidad petrológica" corridas a tercer componente (0,81 y 0,61); aparece un peso importante para la variable orientación en dicho componente (0,72), diferenciándose la correlación de la altitud a nivel del cuarto componente (0,43).

**Tabla 4. RESULTADOS DEL ANALISIS DE COMPONENTES**

**COMPONENTES PRINCIPALES NO ROTADOS**

	F1	F2	F3	F4
ALT	-0,28	0,26	0,40	-0,19
LS	0,97	0,11	0,04	0,12
AS	0,77	-0,50	0,28	0,04
P	0,20	-0,68	-0,31	0,39
LF	0,94	0,17	0,15	0,12
AF	0,69	-0,42	0,50	0,04
GR	0,25	-0,39	-0,45	-0,50
OR	0,17	-0,32	-0,32	-0,55
VE	-0,30	0,26	0,52	0,19
VS	0,37	0,28	0,22	-0,48
ICS	0,55	0,69	-0,37	0,12
ICF	0,44	0,66	-0,49	0,13
IS	0,25	0,32	0,36	-0,41

**COMPONENTES PRINCIPALES ROTADOS**

	F1	F2	F3	F4
ALT	-0,17	0,21	-0,29	0,43
LS	0,79	-0,57	0,09	0,08
AS	0,93	0,08	0,20	-0,08
P	0,33	0,12	0,25	-0,75
LF	0,80	-0,54	-0,00	0,16
AF	0,93	0,18	0,02	0,06
GR	0,07	0,02	0,81	-0,04
OR	0,03	0,09	0,72	0,09
VE	-0,08	0,19	-0,61	0,22
VS	0,23	-0,17	0,16	0,63
ICS	0,07	-0,95	-0,01	0,14
ICF	-0,06	-0,94	0,04	0,04
IS	0,18	-0,07	-0,01	0,65



## V. CONCLUSIONES

El estudio de gnammas a partir de las observaciones de campo recogidas en dos macizos de composición petrológica y clima diferentes revela *contrastes en la morfología*; tales contrastes se han puesto en evidencia en el caso de algunas medidas geométricas (longitud, anchura y profundidad de la forma) y se reflejan, a su vez, en los valores de los índices morfométricos elaborados.

La exploración estadística muestra, en efecto, que, particularmente en el caso de la variable profundidad, *los sectores petrológicamente más vulnerables registran mayores dimensiones*. La variedad de estas microformas es más rica también en ese caso, como se puede derivar de los primeros niveles de agregación del análisis cluster.

Los coeficientes de correlación entre variables subrayan, al mismo tiempo, este *sentido positivo de la asociación* entre el incremento del grado de alterabilidad potencial de la roca y del valor de las dimensiones de la gnamma; ponen de manifiesto igualmente, aunque con grado de asociación bajo, la relación entre el nivel de desarrollo de la microforma y la pendiente de la superficie en que se localiza (más avanzado cuanto menor sea ésta última) hecho que se encuentra en relación evidente con el estado del exutorio de la gnamma (más desarrollado cuanto mayor sea la inclinación de la superficie).

La aplicación del análisis de componentes principales confirma que el *orden de influencia de las variables seleccionadas* en relación con la evolución dimensional de las gnammas estudiadas es el siguiente: composición del granito, tamaño del grano, pendiente de la superficie, orientación y altitud. Ninguna de ellas, sin embargo, puede considerarse aisladamente manifestándose como factor primordial de los resultados del proceso de alteración (gnamma).

Parece deducirse que, por tanto, parte importante de los caracteres morfométricos que presentan las cavidades derivan de condiciones endógenas, siendo necesario completar este ensayo con nuevas aportaciones que contemplen de alguna forma dichas condiciones junto con otras variables exógenas aquí no retenidas.

## BIBLIOGRAFIA

- DE UÑA ÁLVAREZ, E. (1985): "Micromodelado granítico: ejemplos de gnammas en un afloramiento del noroeste peninsular". *Revista de Geografía*, Universidad de Barcelona, XIX, pp. 87-96.
- ICONA (1988): "Agresividad de la lluvia en España", M. A. P. A., Madrid, 39 pág.
- PARGA PONDAL, I.; PARGA PEINADOR, X.R.; VEGAS, R. Y MARCOS, A. (1982): "Mapa Xeolóxico do Macizo Hespérico": E. 1:500.000. Seminario de Estudos Galegos, eds. do Castro, A Coruña.
- TWIDALE, C.R. y VIDAL ROMANI, J. R. (1994): "On the multistage development of etch forms". *Geomorphology*, 11.
- VIDAL ROMANI, J. R. (1982): "El papel del agua en la evolución de la pía (vasque, gnamma). Correlación estadística de medidas." *Boletín Auriense*, XII, pp. 83-112.
- VIDAL ROMANI, J. R. (1989): "Geoinorfología granítica en Galicia (NW España)" en especial "Geomorfología granítica", *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 13, pp. 89-163.
- VIDAL ROMANI, J. R. et alt. (1979): "Procesos actuales: micromodelado en el granito de Mte. Louro", como a la IV Reunión del Grupo Español de Trabajo del Cuaternario, Actas, pp. 247-266.
- VIDAL ROMANI, J. R. et alt. (1990): "Evolución cuaternaria del relieve granítico en la Serra de Geres-Xures (Minho, Portugal-Ourense, Galicia)", *Cuaternario y Geomorfología*, 4, pp. 3-13.

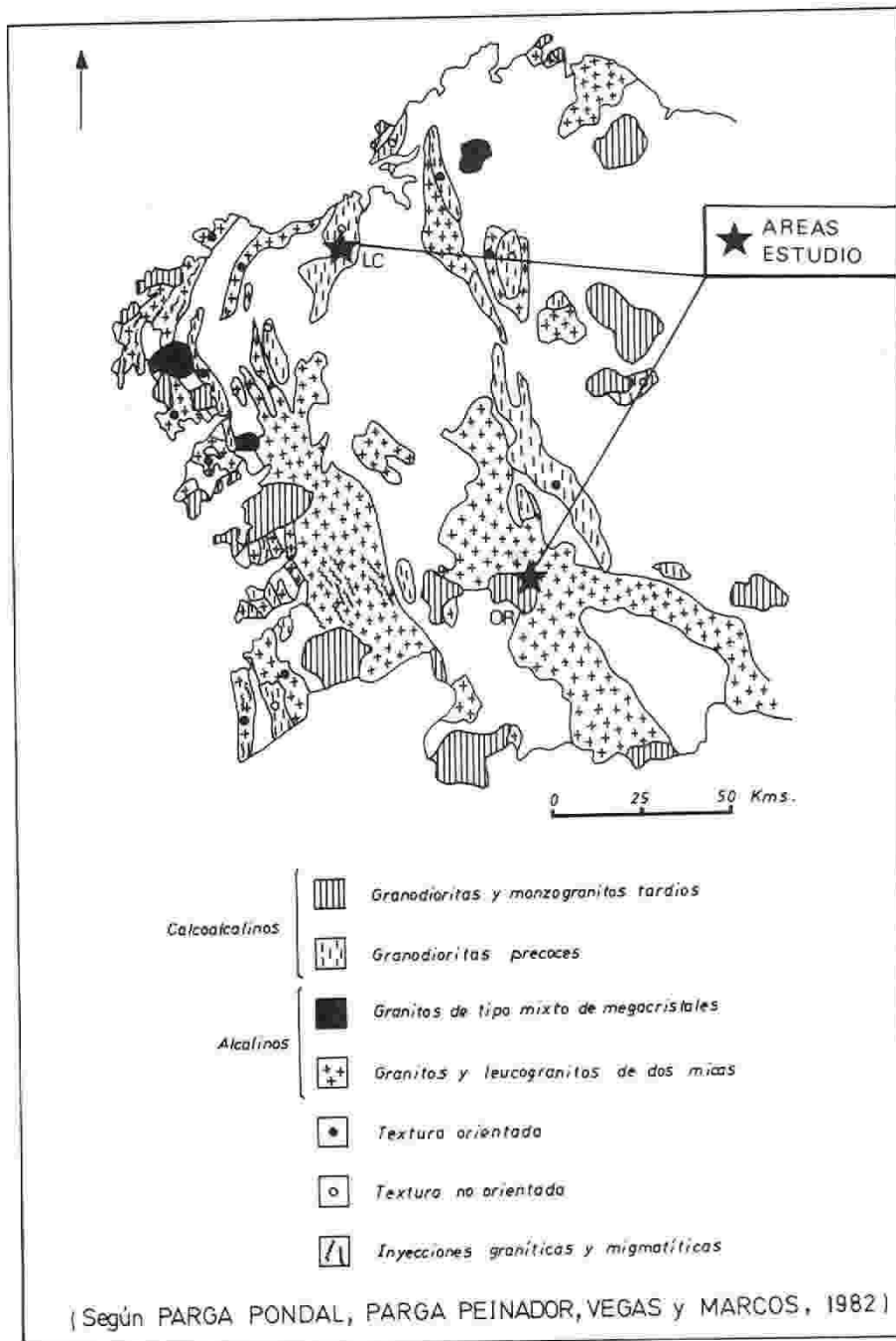


FIG. 1. Mapa de localización.

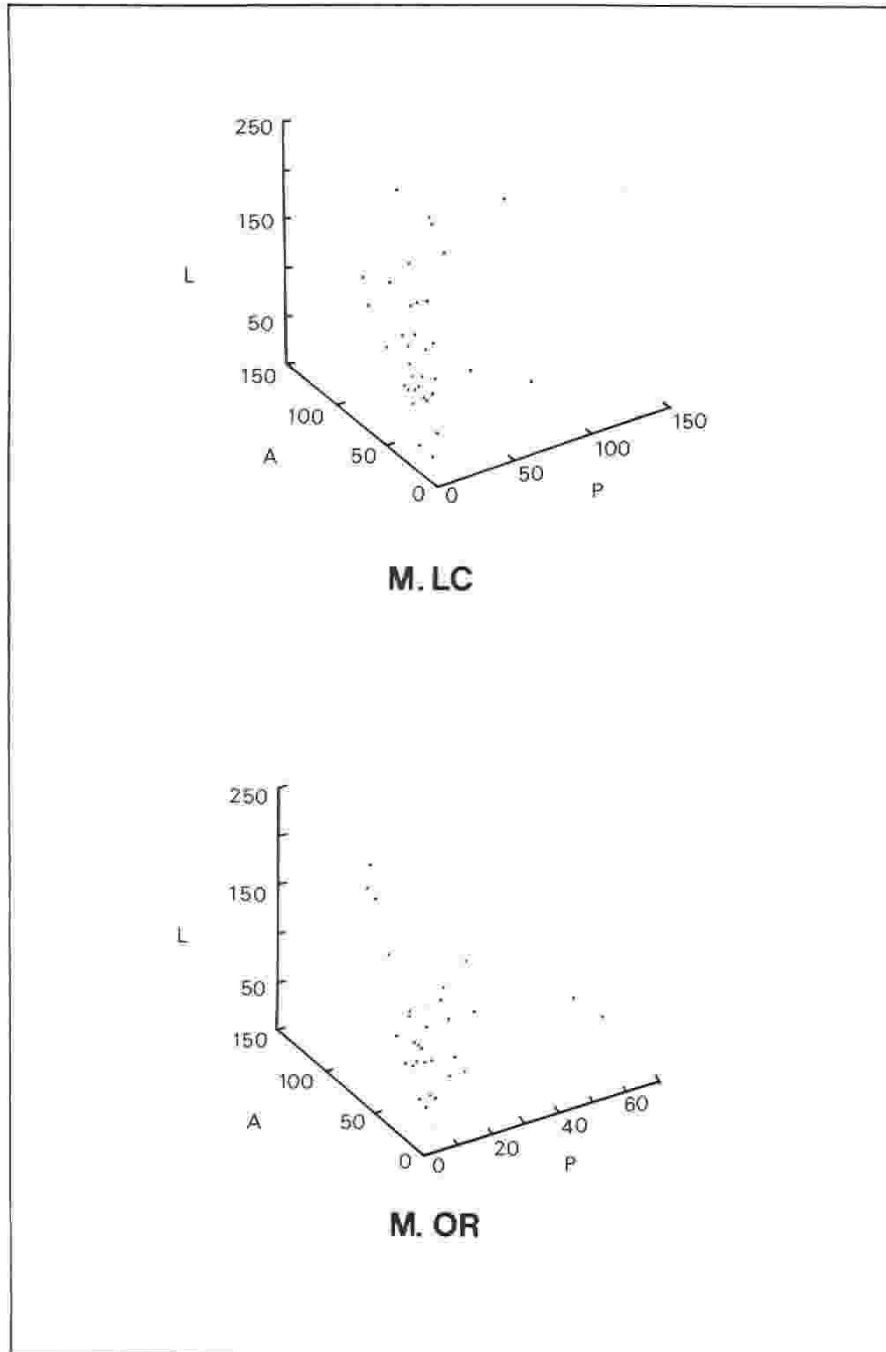


FIG. 2. Valor de las medidas morfométricas.

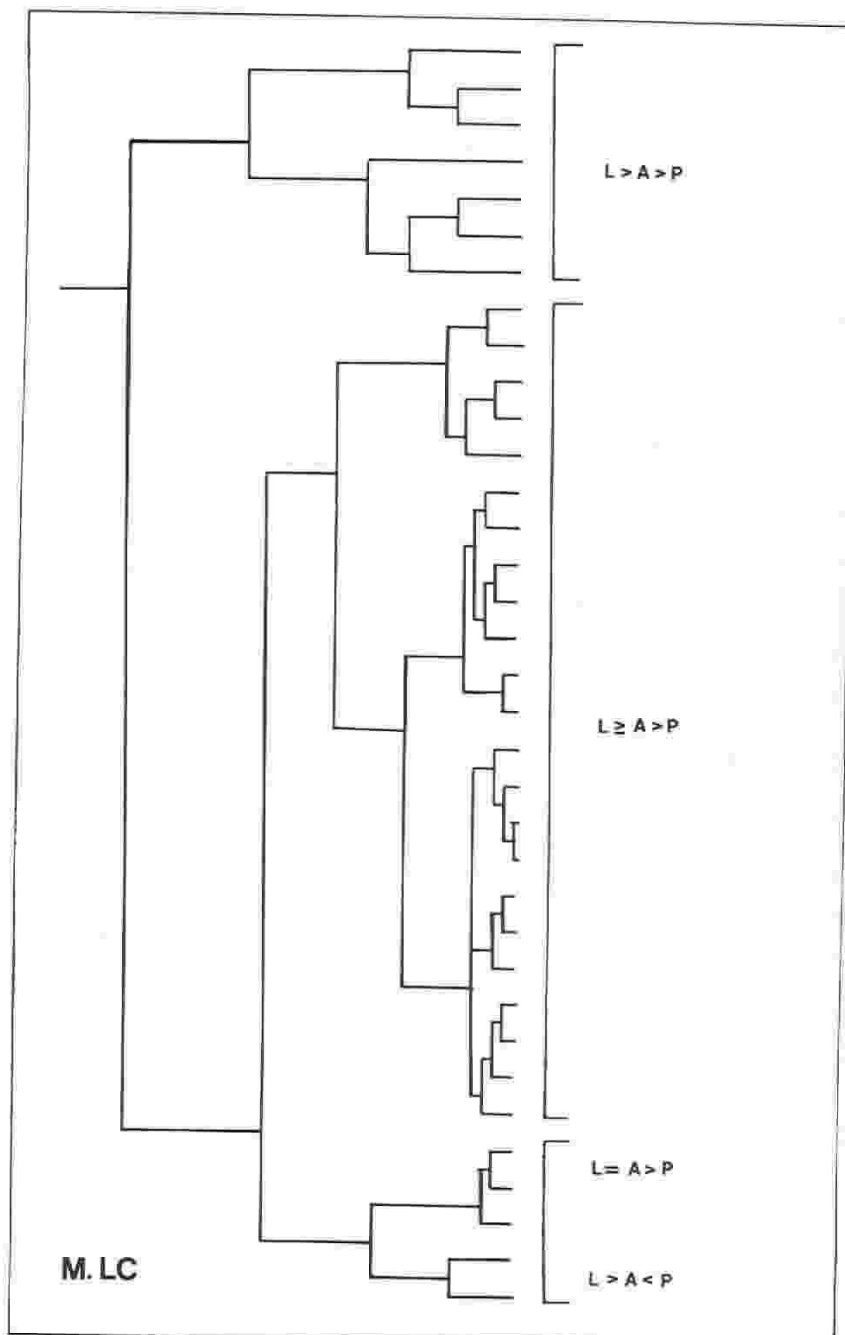


FIG. 3. Dendrograma de la muestra de gnammas (macizo de La Coruña).

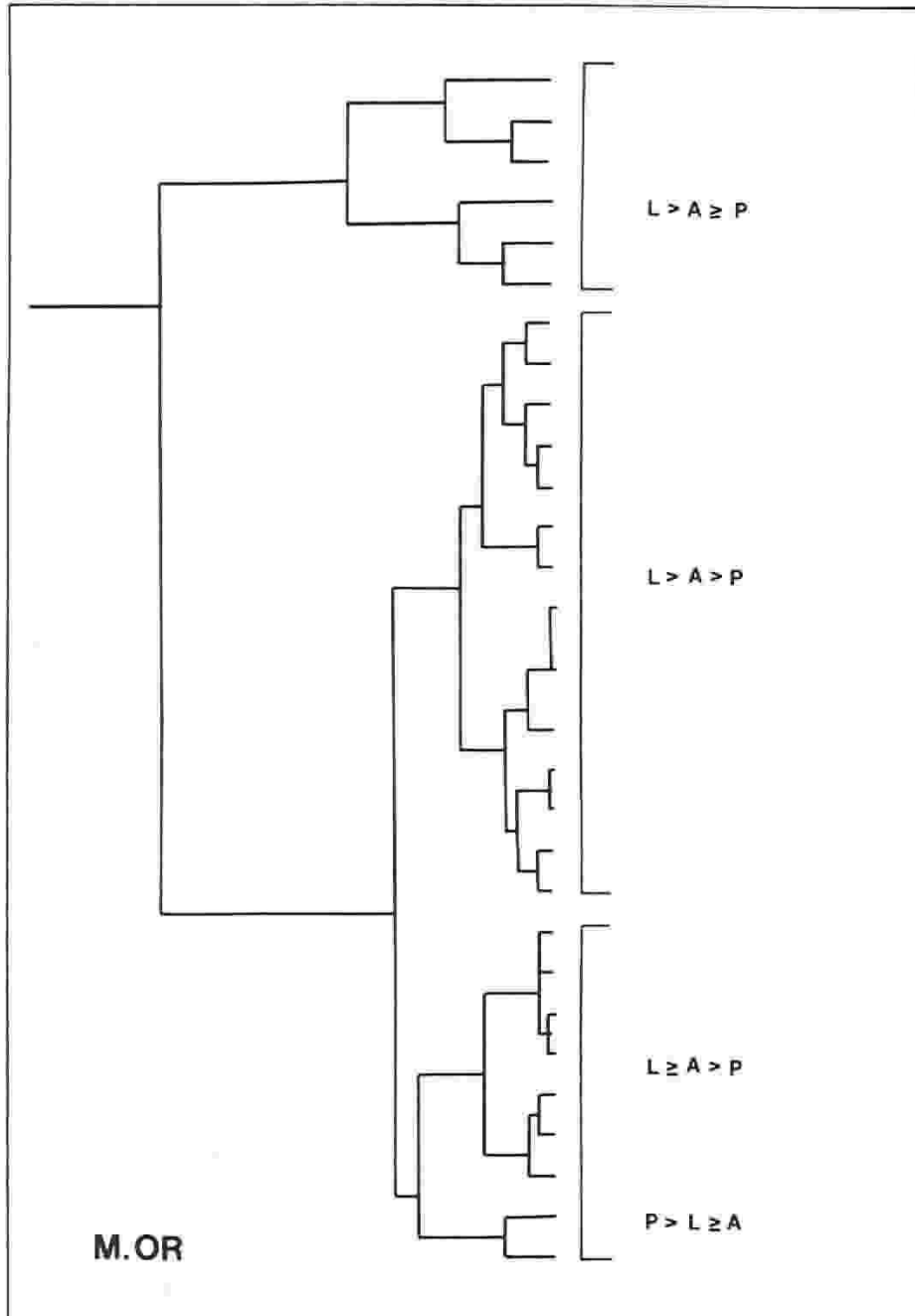


FIG. 4. Dendrograma de la muestra de gnammias (macizo de Orense).