

# Procedencia del material pétreo de los molinos de los yacimientos Cogotas I (Bronce Medio y Tardío) de la Cuenca del Duero y modelos consecuentes de flujo

## *Stone material source provenance of the Cogotas I Grindstones (Middle and Late Bronze Age) from the Duero Basin and consequent flow patterns*

M. López-Plaza<sup>1</sup>, A. Esparza Arroyo<sup>2</sup>, I. García Gómez<sup>3</sup>, F.J. López-Moro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca.  
Email: milplaz@usal.es, ORCID ID:<http://orcid.org/0000-0001-7622-0374>

<sup>2</sup> GIR PreHUSAL, Departamento de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología, Universidad de Salamanca, 37071 Salamanca.  
Email: esparza@usal.es, ORCID ID:<http://orcid.org/0000-0002-9139-0774>

<sup>3</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca.  
Email: ines.g.g@usal.es, ORCID ID:<https://orcid.org/0000-0002-0527-1454>

<sup>4</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca.  
Email: fjlopez@usal.es, ORCID ID:<http://orcid.org/0000-0002-3383-7638>

### RESUMEN

Se ha estudiado la procedencia del material pétreo de doce molinos de diferentes yacimientos cogotenses de la Cuenca del Duero. Utilizando una marcha metodológica previa, se alcanza una caracterización petrográfica, mineralógica y geoquímica del material, incluyendo el tratamiento de elementos traza mediante diagramas de normalización y comparación con datos disponibles de áreas fuente potenciales. Esto ha permitido, en muchos casos, la identificación de áreas fuente locales ya que la signatura geoquímica representa una huella arqueológica fidedigna de las facies o subtipos de rocas implicadas. La mayoría de las áreas fuente identificadas son graníticas, existiendo también granodioritas, gneises y areniscas, todas ellas pertenecientes al basamento varisco. Una de estas áreas incluye minerales de cobre, eventualmente aprovechables para metalurgia. Probablemente, ya desde la fase inicial de Cogotas I dejó de regir el principio del mínimo esfuerzo en el aprovisionamiento del material. El suministro de materias primas a los yacimientos arqueológicos es de carácter lejano y en direcciones cruzadas, de acuerdo con las áreas fuente establecidas, indicando una densa red de conexiones entre las comunidades de la región a escala hectokilométrica.

**Palabras clave:** Procedencia del material pétreo; molinos de vaivén; Bronce Medio y Tardío; Basamento Varisco Plutónico; Cuenca del Duero; modelos de flujo a gran escala; permeabilidad cultural

### ABSTRACT

The source provenance of twelve hand grindstones of Cogotian sites from the sedimentary Duero Basin was characterized using petrographic, mineralogical and geochemical criteria, according to an operational process

---

Recibido el 8 de agosto de 2017 / Aceptado el 24 de enero de 2018 / Publicado online el 21 de marzo de 2018

**Citation / Cómo citar este artículo:** López-Plaza, M. et al., (2017). Procedencia del material pétreo de los molinos de los yacimientos Cogotas I (Bronce medio y tardío) de la Cuenca del Duero y modelos consecuentes de flujo. *Estudios Geológicos* 74(1): e074. <http://doi.org/10.3989/egeol.42955.462>.

**Copyright:** © 2018 CSIC. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non 4.0 International License.

previously proposed. Many of the provenances were determined after trace-element normalized diagrams and comparative diagrams with respect to available data from potential source areas. This methodology confirms that the geochemical signature can be seen as an archaeological fingerprint which allows the identification of facies or rock sub-types from the established source areas. Granite sources are the commonest provenance, although granodiorite, orthogneisses and sandstone are also involved, all of them belonging to the Variscan Basement. One of these source areas includes copper minerals, which could have been used for metallurgical purposes. Probably, since the early phase of Cogotas I, the principle of least effort no longer was a guiding force to boost the supply of material. The archaeological sites experienced a long-distance raw material supply in crossed directions, according to the established sources areas, indicating a dense network of connections between the communities of the region at a hecto-kilometric scale.

**Keywords:** Stone material source provenance, grindstones, plutonic Variscan Basement, Duero Basin, Middle and Late Bronze Age, large-scale flow patterns, cultural permeability

## Introducción

Es aceptado que uno de los grandes retos de la Geología Aplicada a la Arqueología consiste en la determinación de la procedencia de la materia prima de las piezas arqueológicas (véanse los múltiples ejemplos en Catella *et al.*, 2017). En las últimas décadas este objetivo está siendo progresivamente potenciado en virtud de los tres siguientes factores: 1) el perfeccionamiento de las técnicas analíticas, tanto petrográficas, como geoquímicas de roca total y químico-mineralógicas; 2) la disponibilidad de información geológica regional, que refleja, por un lado, el avance del conocimiento geológico, y por otro lado, la mejora a la accesibilidad de las fuentes de información, incluyendo los aspectos cartográficos y composicionales; y 3) la adecuada valoración que está mereciendo la Geología Aplicada a la investigación arqueológica o Geoarqueología, no solo porque supone una fructífera innovación metodológica, sino también porque los resultados ayudan muy significativamente en la interpretación de la casuística arqueológica. Siendo conscientes de ello, se enfoca el presente estudio con el claro objetivo de la determinación de la procedencia del material pétreo de los molinos de vaivén de la Edad del Bronce en la Cuenca del Duero.

Se trata de un objetivo relevante para la investigación prehistórica, que trasciende lo que pudiera parecer un detalle meramente anecdótico. En efecto, el abastecimiento de molinos de vaivén desde lugares lejanos ha sido un argumento clave para la formulación de una hipótesis acerca de la sociedad de Cogotas I, una de las culturas arqueológicas de la Edad del Bronce de la Península Ibérica, que se desarrolló en la Submeseta Norte y parte de la meridional durante las fases denominadas Bronce Medio y Bronce Tardío (aprox. 1850-1150 cal AC).

Dada su funcionalidad —la molienda del grano—, los molinos raramente se hicieron con rocas sedimentarias de la Cuenca del Duero, sino con rocas duras procedentes del basamento varisco, predominantemente de naturaleza granítica. Esta apreciación conlleva a priori dos tipos de consecuencias. La primera de ellas, de carácter geológico, lleva implícita la identificación de un área fuente denominada primaria, en el sentido de Luedtke (1979), por tratarse de una formación geológica concreta, como lo es un plutón, en contraste con las áreas fuente secundarias, como un extenso depósito fluvial. Si además se llega a establecer la facies del plutón, el área de aprovisionamiento identificada queda espacialmente muy restringida y se considera local; o bien, puntual en el sentido de Bakken (2011) y Barrientos *et al.* (2015), en contraste con las áreas fuente secundarias, que se consideran frecuentemente difusas. La segunda consecuencia es de carácter arqueológico, y se desprende por la presencia de molinos graníticos hallados en algunos yacimientos arqueológicos de la zona central de la Cuenca, muy alejados del basamento, por ejemplo, el de Carricastro, junto a Tordesillas (Valladolid). Esta circunstancia ha llevado a suponer (Delibes *et al.*, 2007) la existencia de una actividad de transporte y redistribución que habría sido centralizada en ciertos poblados bien destacados en el territorio. De ser así, tales núcleos, que supuestamente jerarquizarían el poblamiento regional, constituirían un indicio en favor de una organización sociopolítica del tipo denominado ‘jefatura’, en la que una élite ejercería un papel redistribuidor de determinados bienes —molinos, algunos objetos metálicos— como justificación de su poder sobre la mayoría de la población, dedicada a las actividades productivas agrícolas y ganaderas.

Ciertamente, la revisión de la interpretación tradicional en términos de concentración poblacional y jerarquización social, reclama ya visiones

alternativas mucho más complejas (Blanco González, 2014), pero el estudio de los materiales alóctonos sigue siendo fundamental. En ese sentido, se habían hecho algunos trabajos sobre la procedencia de molinos hallados en yacimientos de la Edad del Bronce en la Submeseta meridional, pero sólo están sustentados en suposiciones sobre la geología de la zona (Blasco *et al.*, 2007) o, como mucho, en el estudio de láminas delgadas de muestras de molinos mediante microscopio petrográfico (Ruiz Taboada & Andonaegui, 1995). En cambio, con la finalidad de contribuir a la interpretación de la sociedad de Cogotas I, la determinación de la procedencia fue afrontada en un primer trabajo, de índole experimental (López Plaza *et al.*, 2016), mediante el diseño de una marcha metodológica y una primera aplicación a dos molinos de otro yacimiento vallisoletano, el de Castronuño; y ahora, con esa experiencia —y también la de un trabajo anterior sobre procedencia del material de los ortostatos dolméricos basada en criterios litológicos (López Plaza *et al.*, 2008)— se ha llevado a cabo la presente investigación, con un amplio y variado conjunto de molinos (Tabla 1; figura 1), y con dos tipos de objetivos:

1) Caracterización petrográfica, químico-mineralógica y geoquímica de roca total para todas las muestras, sin pretender profundizar en todos los aspectos, sino más bien para encontrar sus rasgos característicos o distintivos. Esta caracteri-

zación ha de conducir a la determinación de los distintos litotipos con significado de correlación en el contexto regional.

2) Proposición de áreas fuente potenciales y locales. Este objetivo representa los dos pasos sucesivos y últimos a los que se debe llegar para extraer conclusiones de implicaciones arqueológicas. No se considera aquí la posibilidad de reconocer el lugar exacto de extracción de la muestra a modo de cantera original, siendo conscientes de que es muy improbable que perdure algún vestigio de la actividad extractiva.

## Metodología y técnicas de estudio

### *Criterios para la selección de las piezas de molino en el contexto cogotense*

El conjunto de molinos analizado no puede considerarse una muestra representativa en el sentido estadístico del término, por diversas razones: en primer lugar, porque los condicionantes económicos y de tiempo obligan a trabajar con un lote muy reducido de molinos conocidos; en segundo lugar, porque en muchos yacimientos cogotenses —por ejemplo, los de las zonas de penillanuras de Ávila, Salamanca o Zamora— son molinos realizados sobre material lítico estrictamente local, como es lógico desde el punto de vista de la conducta humana. Por ello, la selección se

Tabla 1.—Molinos muestreados y estudiados.

	SIGLA	Localidad (provincia)	Yacimiento	Coordenadas ETRS89 UTM 30		Referencias
				X	Y	
1	AEC1	Ardón (León)	<i>El Castro</i>	289112,6611	4698296,4788	Celis Sánchez (2007)
2	AEC2	"	"			
3	DPC1	Dueñas (Palencia)	<i>Pico Castro</i>	372297,4994	4639356,5603	Crespo Díez <i>et al.</i> (2005)
4	DPC2	"	"			
5	FLE1	Fuentecén (Burgos)	<i>Las Empedradas</i>	427930,1167	4609490,2027	Palomino Lázaro & Rodríguez Marcos (1994)
6	GLM1	Gería (Valladolid)	<i>La Macañorra</i>	343207,2101	4602991,0700	Arranz Mínguez <i>et al.</i> (1993)
7	GLM2	"	"			
8	GLM3	"	"			
9	JOV1	Jabares de los Oteros (León)	<i>Las Vegas</i>	294413,1549	4698817,6851	Rodríguez Marcos <i>et al.</i> (1999)
10	REC1	Rábano (Valladolid)	<i>El Castillo</i>	410476,1391	4599662,0393	Rodríguez Marcos (2008)
11	SCC1	Santillana de Campos (Palencia)	<i>Carrelasvegas</i>	386628,2414	4691868,8972	Martín Carbajo <i>et al.</i> (1993)
12	TOR1	Tordesillas (Valladolid)	<i>Carricastro</i>	333493,2001	4600443,6927	Crespo Díez & Herrán Martínez (2012)

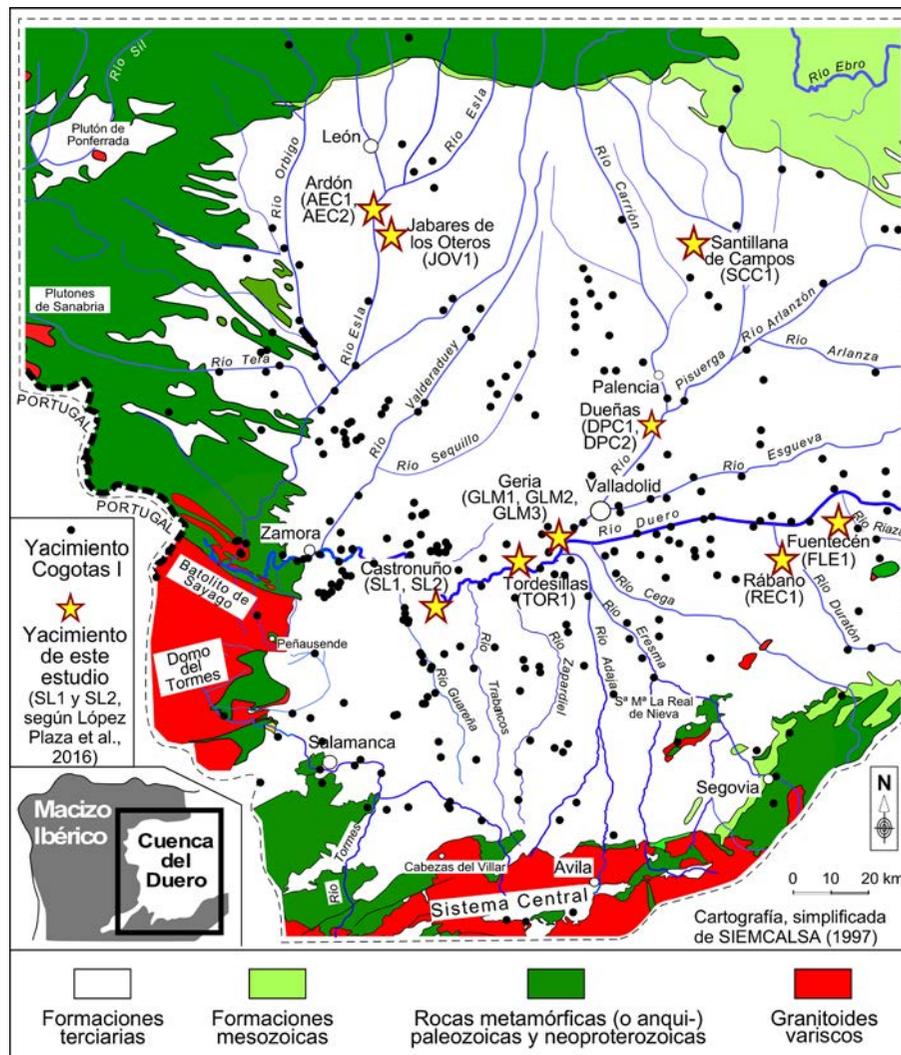


Fig. 1.—Esquema geológico de la Cuenca del Duero y del basamento varisco periférico, con la localización de los yacimientos Cogotas I (con estrella, los objeto de estudio).

ha centrado en un número limitado de molinos encontrados en yacimientos donde, por su naturaleza litológica, no es posible ese aprovechamiento local. Se han escogido ciertos yacimientos ubicados en las llanuras sedimentarias, claramente alejados de las posibles áreas de aprovisionamiento e idóneos para investigar flujos de materiales entre comunidades. En definitiva, la base de este trabajo no es un conjunto procedente de un muestreo al azar, sino de una meditada selección que se orienta hacia un problema concreto y asequible en términos metodológicos y prácticos: se trata de realizar una aproximación a los mecanismos de aprovisionamiento de las comunidades de la Edad del Bronce,

y no, claro está, de establecer la procedencia de todos los molinos de todos los yacimientos arqueológicos.

Una cautela similar debe tomarse respecto a los yacimientos de Cogotas I. El conjunto originario es obviamente desconocido —problema inherente a la arqueología—, disponiéndose solo de un catálogo provisional, en continuo crecimiento en relación con factores muy diversos que hacen que el área de dispersión de la cultura arqueológica sea una nube de puntos muy irregular, que viene a reflejar la actividad de las universidades de la región, la labor de algunos investigadores muy especializados, y, en gran medida, la realización de obras públicas

(canales, gasoductos, autovías, ferrocarril de alta velocidad, etc.) y de operaciones urbanísticas de las décadas entre 1990 y 2010, que han dado lugar a excavaciones arqueológicas previas, a veces limitadas a pequeños sondeos, pero también actuando en grandes áreas. Añádase el conocimiento somero de muchos de los yacimientos catalogados, e incluso la complejidad estratigráfica de los mismos, que no permiten datar con precisión: más allá de su pertenencia a la primera fase de la cultura (Proto Cogotas I, Bronce Medio, ca. 1850-1450 cal AC) o a la segunda (Cogotas I Pleno, Bronce Tardío, ca. 1450-1150 cal AC), puede decirse que ciertos yacimientos son sincrónicos..., pero no necesariamente simultáneos, por lo que, al hablar de contactos entre comunidades, de líneas de flujo entre poblados, hay que situarse en una perspectiva de larga duración, apropiada para fenómenos como el poblamiento.

### *Extracción de las muestras*

Las piezas de molino seleccionadas son de naturaleza granítica, gneílica y areniscosa, cuya procedencia del basamento varisco no ofrece ninguna duda.

De tales piezas, se extrajeron para su estudio 12 muestras fragmentadas de tamaño variable. En cada caso, la cantidad tomada fue de unos 300 g, y sirvió tanto para lámina delgada como para geoquímica de roca total. Para su extracción, en algunos casos, hubo que evitar una fina costra de alteración y de pátina arcillosa, localizada en la superficie de la pieza. Para causar el menor daño posible a la pieza, se consideró la parte menos visible y tosca, que generalmente es la parte convexa inferior. Con frecuencia, se trataba de

piezas ya fragmentadas. También se tuvo en cuenta la mayor facilidad de extracción, la mejor rotura y la menor alteración, que generalmente se localizaba en las aristas y en las formas menos romas. Aparte de la escasez de muestra tomada, las limitaciones en la extracción supusieron en ocasiones una pérdida parcial de representatividad de la roca, sobre todo, en el caso de los granitoides porfídicos con megacristales de feldespato potásico.

### *Técnicas de estudio*

De manera preliminar, se realizó una inspección muy detenida de visu de todo el conjunto de la pieza de molino. Las láminas delgadas y pulidas, según los casos, fueron preparadas en el Servicio General de Preparación de Rocas del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca, con grosor comprendido entre 30 y 35 micras.

El estudio petrográfico de cada una de las láminas delgadas se llevó a cabo mediante el microscopio óptico de luz transmitida y reflejada LEITZ, Larbolux 12 Pol S. Para los cálculos modales se utilizó un contador convencional de marca SWIFT, Basingstoke, acoplado a la platina del microscopio.

De las 12 muestras de partida sólo se realizaron 7 cálculos modales de sendas muestras (Tabla 2). Dos de las muestras fueron descartadas a estos efectos por su textura de grano muy grueso (AEC2 y GLM3), que hacía perder la representatividad del análisis, y por tanto, su validez. Otra de las muestras (DPC1) manifestaba un alto grado de alteración que invalidaba la determinación de la mineralogía primaria. Por último, las muestras de rocas no ígneas, como el gneis (FLE1)

Tabla 2.—Cálculos modales y parámetros de clasificación.

Muestra	Cuarzo	Feld. K	Plag.	Biot.	Mosc.	Turm.	Acces.	Q	A	P	M'
AEC1	43,23	34,06	9,57	1,30	11,84	-	-	49,77	39,21	11,02	1,30
TOR1	27,64	32,76	18,69	3,30	17,53	-	0,08	34,95	41,42	23,63	3,30
SCC1	32,94	41,99	7,99	4,42	12,62	-	0,04	39,72	50,64	9,63	4,42
GLM2	35,88	36,03	15,02	6,11	6,73	-	0,23	41,27	41,45	17,28	6,11
DPC2	18,80	38,61	24,67	17,25	-	-	0,67	22,90	47,03	30,06	17,25
GLM1	29,44	31,77	28,08	10,15	-	-	0,56	32,97	35,58	31,45	10,15
REC1	31,93	48,22	10,63	4,11	2,26	2,81	0,04	35,17	53,12	11,71	6,93

Abreviaturas: Feld.K: feldespato potásico; Plag.: plagioclasa; Biot.: biotita; Mosc.: moscovita; Acces.: minerales accesorios. Q, A, P: proporciones de minerales félsicos (cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa); M': Índice de color; -: no determinado.

y la arenisca (JOV1) se descartaron también al no aportar esta técnica información relevante. En todos los cómputos modales realizados se contabilizaron un mínimo de 2400 puntos.

Cada uno de los restos del material fragmentado se molió y se preparó para su análisis químico de roca total en los laboratorios ACTLABS, Ancaster, Canadá, incluyendo elementos mayores, menores y elementos traza (Tabla 3A). La determinación de los elementos mayores se realizó por Espectrometría de Emisión en Plasma Acoplado por Inducción con un Espectrómetro Óptico (ICP-AES), modelo Plasma II de la casa comercial Perkin Elmer, con inyector automático y un equipo de microanálisis elemental LECO CNHS932, mientras que los elementos traza (45 elementos), incluyendo los elementos del grupo de las tierras raras, se determinaron mediante ICP-MS.

El análisis químico-mineralógico fue orientado al estudio de moscovitas y biotitas de las láminas delgadas metalizadas. Se realizó en el Servicio de Microsonda de la Universidad de Oviedo utilizando el equipo de microsonda Camebax (CAMECA), operando a condiciones de 15 kV y 20 nA, para un tiempo de 20 s. Normalmente, sólo se han estimado los análisis de micas con un total superior al 94 %, excepto en una muestra, que a pesar de repetir los resultados, apenas se logró superar el 93 %, debido probablemente a su alteración clorítica (Tabla 4).

Para establecer la procedencia de las 12 muestras estudiadas se sigue, en general, la marcha propuesta

en el trabajo anterior (López-Plaza *et al.*, 2016), consistente primeramente en la determinación del litotipo (tal como se ha hecho anteriormente), seguido de la consideración de las áreas fuente potenciales, pasando después a seleccionar el área fuente potencial más plausible, por ejemplo, a escala de batolito, para llegar finalmente a proponer un área fuente local a escala hectométrica o de pocos kilómetros, por ejemplo, a escala de plutón.

## Litotipos

El estudio petrográfico, mineralógico y geoquímico de roca total realizado sobre las 12 muestras ha permitido establecer los siguientes litotipos (Fig. 2):

*Leucogranitos de dos micas deformados AEC1, TOR1, SCC1 y GLM2.*

Su textura es predominantemente hipidiomórfica equigranular; su tamaño de grano varía de grueso a fino. Todas las muestras presentan cierta deformación, que llega a ser muy intensa en una de ellas (AEC1). La proyección en el triángulo QAP permite clasificar las rocas de este litotipo como sienogranitos, excepto una de ellas (TOR1) que entra en el campo de los monzogranitos (Fig. 3A). La plagioclasa es albítica (An<sub>5-10</sub>). El contenido en micas es siempre elevado (12-20 % en volumen), con predominio de la moscovita, cuyo rango oscila entre 6 y 17 % (Tabla 2). En parte, la abundancia de moscovita

Tabla 3A.—Análisis químicos de roca total y parámetros de 12 muestras de molinos.

Litotipo	I. Leucogranitos de dos micas deformados				II. Granitoides biotíticos deformados			III. Granito de dos micas no deform.	IV. Pórfido granodiorítico	V. Ortogneises		VI. Arenisca lítica
	AEC1	TOR1	SCC1	GLM2	DPC2	GLM1	GLM3	AEC2	DPC1	REC1	FLE1	JOV1
SiO <sub>2</sub>	74,02	73,23	71,40	70,71	63,60	68,52	66,88	74,46	66,16	73,42	76,24	77,29
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,10	0,19	0,17	0,59	0,46	0,61	0,16	0,45	0,09	0,12	0,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,08	14,86	15,60	15,22	17,15	15,67	16,73	14,18	16,83	14,58	12,49	10,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	0,86	0,90	1,37	1,41	3,79	3,27	3,97	1,60	3,37	1,45	1,66	4,40
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,07	0,06	0,05	0,04	0,02	0,034	0,07
MgO	0,13	0,17	0,34	0,31	1,76	1,14	1,35	0,34	1,17	0,18	0,24	0,73
CaO	0,55	0,54	0,65	0,71	2,43	2,27	2,91	0,93	2,12	0,33	0,74	0,26
Na <sub>2</sub> O	3,94	3,58	3,05	3,27	3,63	3,18	3,35	2,99	4,15	3,45	2,5	0,76
K <sub>2</sub> O	4,63	4,50	5,25	5,10	5,13	4,20	3,75	4,90	3,37	5,42	4,75	2,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37	0,39	0,38	0,46	0,51	0,25	0,27	0,14	0,14	0,20	0,18	0,16

*Continued*

Tabla 3A.—Continued

Litotipo	I. Leucogranitos de dos micas deformados				II. Granitoides biotíticos deformados			III. Granito de dos micas no deform.	IV. Pórfido granodiorítico	V. Ortogneises		VI. Arenisca lítica
	AEC1	TOR1	SCC1	GLM2	DPC2	GLM1	GLM3	AEC2	DPC1	REC1	FLE1	JOV1
LOI	1,02	1,33	1,82	1,45	1,26	1,29	0,95	1,00	2,27	0,99	1,2	2,99
Total	100,70	99,61	100,10	98,84	99,90	100,30	100,80	100,80	100,10	100,10	100,2	100,1
Índ. ACNK	1,21	1,27	1,31	1,25	1,08	1,13	1,13	1,19	1,17	1,20	1,18	2,82
Parám. A	51	61	73	59	23	34	36	44	49	48	37	139
Parám. B	15	17	28	27	99	75	91	31	77	24	28	79
Rb	351	358	329	298	235	209	182	304	126	394	285	91
Cs	32,2	23,7	16,3	20,0	7,0	20,3	10,1	22,0	2,3	16,1	6,5	2,6
Sr	30	29	71	72	401	148	200	101	471	35	32	59
Ba	71	85	311	307	1179	399	547	378	802	120	113	394
Pb	26	20	30	33	53	27	23	25	23	20	20	14
Sc	2	2	2	2	8	10	11	5	5	3	5	9
V	< 5	7	11	9	50	38	49	14	35	7	9	74
Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	40	30	30	< 20	30	< 20	< 20	60
Co	141	159	164	133	121	166	107	215	79	142	159	195
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40
Y	6,10	6,80	9,10	11,30	27,60	28,80	29,90	19,10	13,70	21,30	25,60	19,40
Zr	31	55	92	79	350	171	216	90	197	68	69,00	137
Nb	9,0	9,5	9,3	11,6	13,6	11,7	13,2	11,2	16,4	7,3	7,6	8,2
Hf	1,0	1,6	2,4	2,3	7,1	3,9	4,8	2,8	4,5	2,3	2,2	3,2
Ta	3,95	3,71	3,33	4,20	1,93	2,90	2,20	4,35	2,00	2,53	2,25	2,17
Th	1,90	3,48	7,51	5,26	35,10	12,30	16,00	9,67	14,10	9,05	8,07	7,53
U	5,09	3,23	3,99	4,82	4,24	3,44	3,84	3,56	3,84	8,10	2,31	2,11
La	4,53	8,01	16,90	13,40	104,00	31,80	44,20	22,10	47,70	8,30	9,99	29,60
Ce	9,38	17,60	33,20	28,40	194,00	65,30	90,10	44,80	86,80	19,00	22,20	60,10
Pr	1,07	2,04	4,23	3,43	20,30	7,75	10,90	5,18	9,61	2,30	2,64	7,04
Nd	4,03	7,25	15,60	11,70	66,70	29,50	39,00	19,00	33,50	7,62	9,66	26,5
Sm	1,17	1,97	3,72	2,94	10,50	6,36	8,02	4,21	5,49	2,19	2,68	5,33
Eu	0,188	0,165	0,472	0,488	1,710	0,852	1,210	0,620	1,510	0,190	0,229	1,150
Gd	1,10	1,65	3,18	3,09	6,18	5,61	6,69	3,80	3,99	2,12	2,76	4,40
Tb	0,21	0,26	0,49	0,56	0,92	0,95	1,02	0,60	0,52	0,49	0,65	0,63
Dy	1,12	1,43	2,07	2,63	5,08	5,47	5,84	3,45	2,65	3,60	4,42	3,71
Ho	0,20	0,23	0,28	0,38	0,86	1,02	1,10	0,65	0,44	0,74	0,91	0,70
Er	0,52	0,52	0,67	0,80	2,58	3,14	2,93	1,81	1,23	2,26	2,77	1,84
Tm	0,07	0,08	0,09	0,10	0,38	0,45	0,40	0,25	0,18	0,37	0,45	0,27
Yb	0,41	0,48	0,54	0,56	2,23	2,89	2,66	1,56	1,15	2,77	3,02	1,88
Lu	0,05	0,07	0,08	0,08	0,35	0,43	0,40	0,25	0,16	0,44	0,45	0,29
ΣREE	24	42	82	69	416	162	214	108	195	52	63	143
ΣLREE	20	37	74	60	396	141	192	95	183	39	47	129
ΣHREE	3,7	4,7	7,4	8,2	18,6	20,0	21,0	12,4	10,3	12,8	15,4	13,7
LREE/HREE	5,48	7,81	9,95	7,30	21,29	7,05	9,14	7,70	17,74	3,08	3,06	9,38
(La/Lu)n	9,04	12,41	23,08	17,83	31,02	7,64	11,47	9,18	30,19	1,96	2,29	10,78
(Gd/Yb)n	2,17	2,78	4,76	4,46	2,24	1,57	2,03	1,97	2,80	0,62	0,74	1,89
Eu/Eu*	0,51	0,29	0,42	0,50	0,65	0,44	0,51	0,47	0,99	0,27	0,26	0,73

Eu/Eu\*=Eun/√[(Smn).(Gdn)]. n: valores de tierras raras normalizados al condrito de Evensen *et al.* (1978).

Tabla 3B.—Análisis químicos de roca total y parámetros de las muestras objeto de comparación.

Litología	Leucogranitos de dos micas deformados		Granitoides biotíticos deformados		Granito con cordierita		Granodiorita alterada		Segregado leucogranítico		Arenisca del Estefaniense	
	Domo del Tormes y su extensión NE (Salamanca y Zamora)		Batolito de Sayago (Zamora)		Ponferrada (León)		Estalaya (Palencia)		Zarzueta del Pinar (Segovia)		La Magdalena (León)	
Fuentes de datos	López-Plaza et al. (2016)	López-Moro (2000)	López-Plaza et al. (2008)	López-Moro (2000)	López-Moro (2000)	Fernández-Suárez (1994)	González Montero et al. (1989)		IGME (2007)		Pastor Galán et al. (2013)	
Muestra	SL2	Med Fi DT	PEU4	POR18B	DTI22	PO11	CP13		9041		PG11	
SiO <sub>2</sub>	71,49	72,18	71,43	62,58	68,89	73,38	67,55		75,23		78,32	
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,21	0,13	0,63	0,42	0,20	0,49		0,02		0,62	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,32	14,76	14,85	16,62	14,92	14,14	15,31		13,16		9,75	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	1,58	1,40	1,20	3,89	3,49	1,66	2,82		0,62		3,84	
MnO	0,02	0,01	0,03	0,06	0,02	0,06	0,10		0,02		0,05	
MgO	0,25	0,36	0,29	2,64	1,02	0,37	1,06		0,11		0,88	
CaO	0,69	0,68	0,64	3,31	1,73	1,03	1,87		0,49		0,23	
Na <sub>2</sub> O	3,33	3,20	3,39	3,61	2,95	3,52	3,93		2,86		1,01	
K <sub>2</sub> O	4,97	5,16	4,74	4,36	5,11	4,52	3,76		5,13		1,71	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,39	0,50	0,66	0,28	0,16	0,14		0,02		0,14	
LOI	1,02	1,25	1,55	0,76	1,00	0,69	4,19		1,58		2,68	
Total	98,2	99,6	98,7	99,1	99,8	99,7	101,2		99,2		99,2	
ACNK	1,18	1,22	1,25	1,00	1,10	1,13	1,10		1,18		2,48	
Parám. A	43	52	58	-0,8	27	31	27		39		114	
Parám. B	27	29	24	123	74	33	68		11		78	
Rb	177	302	225	236	247	282			223		67	
Cs	14,9	23,0	20,4	n.d.	n.d.	25,0			4,8		4,2	
Sr	73	76	69	718	191	90			17		78	
Ba	354	321	312	1967	640	263			555		324	
Pb	29	27	n.d.	n.d.	n.d.	24			30		15	
Sc	2	2	3	n.d.	n.d.	4			3		0	
V	6	7	7	60	36	13			0		68	
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	17	n.d.	n.d.			n.d.		192	
Co	2	n.d.	n.d.	52	n.d.	n.d.			n.d.		12	
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	21	n.d.	n.d.			n.d.		28	
Y	7,4	10,2	8,8	20,0	21,5	10,2			28,9		23,6	
Zr	54	99	65	311	167	58			44		189	
Nb	6,6	10,1	12,2	16,0	9,9	14,9			3,5		11,0	

Continued

Tabla 3B.— Continued

Litología	Leucogranitos de dos micas deformados		Granitoides biotíticos deformados		Granito con cordierita	Segregado leucogranítico	Arenisca del Estefaniense
	López-Plaza <i>et al.</i> (2016)	López-Moro (2000)	López-Moro (2000)	López-Moro (2000)			
Lugar	Domo del Tormes y su extensión NE (Salamanca y Zamora)		Batolito de Sayago (Zamora)		Ponferrada (León)	Zarzueta del Pinar (Segovia)	La Magdalena (León)
Fuentes de datos	López-Plaza <i>et al.</i> (2016)	López-Moro (2000)	López-Moro (2000)	López-Moro (2000)	Fernández-Suárez (1994)	IGME (2007)	Pastor Galán <i>et al.</i> (2013)
Muestra	SL2	Med Fi DT	POR18B	DTI22	PO11	9041	PG11
Hf	1,5	3,1	8,1	n.d.	1,5	2,3	4,3
Ta	1,50	3,48	1,80	n.d.	3,90	2,26	0,48
Th	2,2	9,2	39,1	n.d.	8,7	8,4	10,3
U	3,9	5,6	9,5	n.d.	4,2	3,9	3,8
La	7,44	18,61	131,00	57,51	17,63	9,84	38,70
Ce	14,4	39,9	243,0	113,0	39,2	23,9	71,2
Pr	1,85	4,80	24,80	12,63	4,28	3,00	7,36
Nd	6,91	17,89	93,30	46,21	16,83	10,76	28,80
Sm	1,91	4,23	13,60	8,38	3,73	3,49	5,77
Eu	0,387	0,571	2,500	1,240	0,570	0,040	1,131
Gd	2,31	3,51	5,50	5,93	2,93	3,89	4,99
Tb	0,41	0,53	0,90	0,84	0,36	0,68	0,68
Dy	2,15	2,32	0,90	4,27	2,24	4,59	3,50
Ho	0,28	0,31	0,70	0,80	0,38	0,99	0,38
Er	0,56	0,68	2,20	1,89	0,95	3,03	2,01
Tm	0,06	0,08	0,30	0,27	0,15	0,56	0,29
Yb	0,33	0,49	1,70	1,69	0,92	3,39	1,85
Lu	0,05	0,06	0,30	0,26	0,14	0,49	0,28
ΣREE	969	94	524	255	88	69	167
ΣLREE	171	85	506	238	79	51	152
ΣHREE	621	8	16	16	8	18	14
LREE/HREE	0,28	10,70	32,01	14,90	10,09	2,90	10,63
(La/Lu)n	16,31	30,12	45,33	22,96	12,23	2,08	14,25
(Gd/Yb)n	5,62	5,79	2,61	2,84	2,40	0,93	2,18
Eu/Eu*	0,57	0,45	0,88	0,54	0,49	0,03	0,64

n.d.: no determinado; n: valores de tierras raras normalizados al condrito de Evensen *et al.* (1978); Med Fin DT: media de leucogranitos de grano fino del Domo del Tormes.

Tabla 4.—Análisis químicos representativos de micas y fórmulas estructurales.

MUESTRA	MOSCOVITAS					BIOTITAS							
	AEC1	TOR1	GLM2	SCC1	AEC2	AEC1	TOR1	GLM2	SCC1	AEC2	DPC2	GLM1	GLM3
SiO <sub>2</sub>	46,92	47,37	47,53	45,87	46,75	34,39	34,65	34,51	33,66	33,89	35,45	35,02	34,95
TiO <sub>2</sub>	1,07	0,48	0,65	1,06	0,96	1,83	2,49	2,53	3,04	3,95	3,55	3,47	3,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,15	35,76	35,67	34,65	34,97	20,87	0,01	0,00	0,01	18,60	0,04	0,01	0,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	19,80	18,77	17,86	0,00	17,40	18,63	17,34
FeO	3,41	1,60	1,40	1,10	1,75	25,02	24,96	24,93	24,45	24,13	19,82	19,69	20,81
MnO	0,09	0,00	0,04	0,01	0,00	0,60	0,51	0,28	0,33	0,66	0,30	0,40	0,32
MgO	1,32	0,69	0,66	0,72	0,89	2,48	3,31	5,17	4,63	4,06	9,11	7,71	7,68
CaO	0,02	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,16	0,75	0,83	0,80	0,53	0,05	0,02	0,07	0,05	0,07	0,11	0,22	0,12
K <sub>2</sub> O	10,79	10,28	10,04	9,97	10,45	9,03	9,42	9,51	9,21	9,41	9,90	9,49	9,58
NiO	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
TOTAL	95,97	96,95	96,83	94,22	96,32	94,43	95,20	95,96	93,46	94,87	95,70	94,71	94,90
<b>FORMULA ESTRUCTURAL</b>													
Si	3,14	3,09	3,10	3,08	3,08	2,70	2,72	2,68	2,69	2,67	2,71	2,69	2,70
Al	2,54	2,75	2,74	2,74	2,72	1,93	1,83	1,72	1,68	1,73	1,57	1,69	1,58
Ti	0,05	0,02	0,03	0,05	0,05	0,11	0,15	0,15	0,18	0,23	0,20	0,20	0,23
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,10	0,11	0,05	0,00	0,04	0,06
Fe <sup>2+</sup>	0,19	0,09	0,08	0,06	0,10	1,56	1,64	1,51	1,52	1,53	1,27	1,22	1,29
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02
Mg	0,13	0,07	0,06	0,07	0,09	0,29	0,39	0,60	0,55	0,48	1,04	0,88	0,89
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,09	0,10	0,10	0,07	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02
K	0,92	0,86	0,84	0,85	0,88	0,91	0,94	0,94	0,94	0,94	0,97	0,93	0,94
TOTAL	7,01	6,98	6,96	6,97	6,98	7,64	7,70	7,74	7,71	7,69	7,79	7,72	7,73
Al IV	0,86	0,91	0,90	0,92	0,92	1,30	1,28	1,32	1,31	1,33	1,29	1,31	1,30
Al VI	1,68	1,85	1,85	1,82	1,80	0,64	0,54	0,40	0,37	0,39	0,28	0,38	0,28
Fe*	0,59	0,56	0,54	0,46	0,52	0,84	0,81	0,72	0,73	0,76	0,55	0,58	0,59

Fe\* = Fe<sup>+2</sup> / (Fe<sup>+2</sup> + Mg) (en fórmula estructural).

se debe a la alteración de sillimanita. La formación heterógena de moscovita en estas muestras se refleja, sobre todo, en la moscovita acicular o en las abundantes simplectitas de moscovita-cuarzo. La proporción de minerales accesorios es baja (apatito=0,04 % y circón=0,23 %) y llama la atención la abundancia de sillimanita acicular de la muestra AEC1. La alteración de estas rocas es variable, aunque la cloritización de la biotita está siempre presente. También

algunas muestras, como la SCC1 registran una alteración ferruginosa, impregnando irregularmente el conjunto de un color rojizo (Fig. 2).

Este litotipo se adscribe al grupo de los “leucogranitos peraluminicos” de macizos sintectónicos, definido por Capdevila (1969) y Castro & Corretgé (2002), por las siguientes características: 1) Texturas deformativas, al menos en el cuarzo; 2) carácter leucocrático, con abundante moscovita; 3) plagioclasa

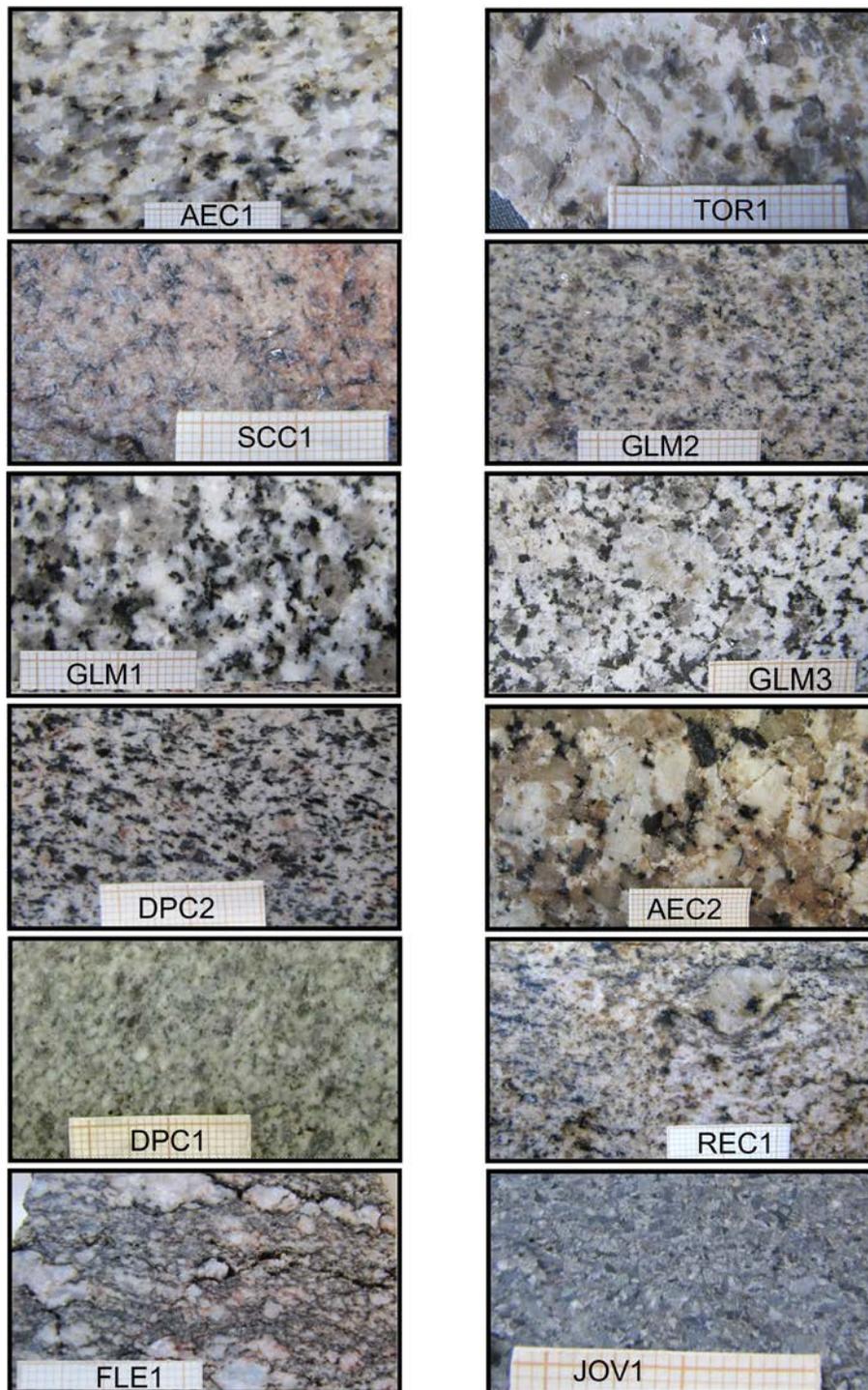


Fig. 2.—Fotografías *de visu* de las muestras estudiadas.

albítica no zonada; 4) carácter autóctono o sub-autóctono por la presencia de sillimanita, a veces relictas; 5) clasificación modal como sienogranito o monzogranito; 6) carácter fuertemente peraluminico

(ACNK=1,21-1,31, Tabla 3A; corindón normativo= 3,47-4,63); 7) proyección en el campo I del diagrama A-B de Debon y Le Fort (1983) (no presentado); 8) rocas enriquecidas en Rb (“granitos fuertemente

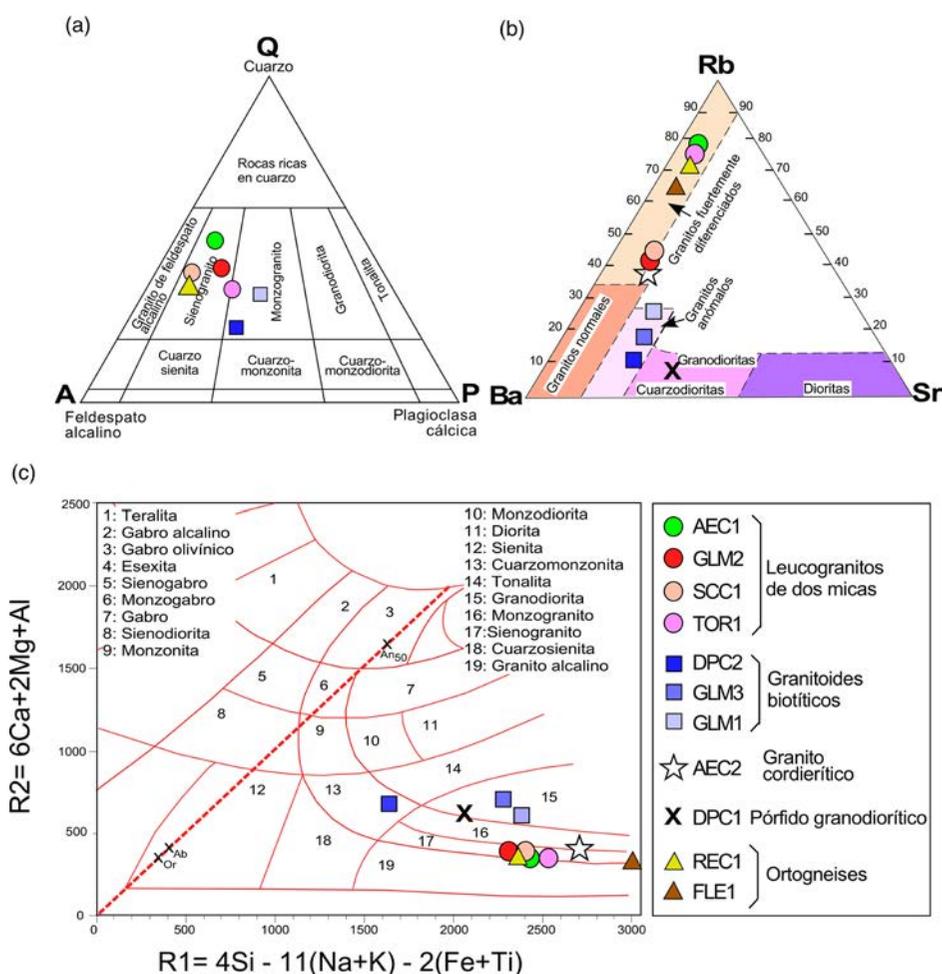


Fig. 3.—Clasificaciones modales y geoquímicas. A) Diagrama QAP de Streckeisen (1976); B) Diagrama triangular de Rb-Sr-Ba de El Bouseily & El Sokkary (1975) y C) Diagrama R1-R2 de De la Roche *et al.* (1980).

diferenciados” en el diagrama de Rb-Sr-Ba) (Fig. 3B); y 9) contenidos en tierras raras típicos de fundidos corticales, con acusada anomalía negativa en Eu ( $Eu/Eu^* = 0,29-0,51$ ) y alto grado de fraccionamiento ( $LREE/HREE = 5,5-10$ ) (Tabla 3A).

### Granitoides biotíticos DPC2, GLM1 y GLM3

El rasgo característico de este litotipo es la presencia abundante y casi exclusiva de biotita (17-10 % modal) sobre moscovita (Tabla 2). Las rocas de este grupo se clasifican modalmente como monzogranitos (Fig. 3A); si bien, la muestra menos leucocrática (DPC2) se proyecta próxima al campo de las cuarzo-monzonitas; de hecho, en el diagrama R1-R2 de De la Roche *et al.* (1980) se proyecta como cuarzo-monzonita (Fig. 3C).

Texturalmente, los granitoides de este litotipo tienen una textura inequigranular porfídica o bien seriada, de grano muy grueso a grueso. En la muestra DPC2 los cristales de biotita sobresalen junto con los de feldespato potásico. El tamaño de la biotita en esta muestra alcanza 0,5 mm, lo que le confiere una cierta afinidad textural vaugnerítica. También a este respecto el feldespato potásico anhedral viene a reforzar esta apreciación. En las otras dos muestras el feldespato potásico perthítico (“film perthite”) destaca en tamaño, mostrando siempre un carácter anhedral poiquilítico incluyendo a todos los demás minerales. Además, este mineral suele presentar una extinción ondulante irregular. Un rasgo distintivo mineralógico es el de la zonación de plagioclasa de  $An_{40-29}$  en el núcleo a  $An_{25-20}$  en el borde. Los minerales accesorios (circón, apatito y probable

monacita) son abundantes (0,5-0,6 % modal), apareciendo generalmente incluidos en biotita. Los minerales secundarios son clorita, sericita y epidota, a menudo formando parte del núcleo sausriritizado de la plagioclasa.

Los siguientes criterios concuerdan con los establecidos por Castro & Corretgé (2002) para considerarlas pertenecientes a las “granodioritas precoces”: 1) Se trata de rocas esencialmente biotíticas; 2) desarrollo de texturas de deformación, propias de macizos sintectónicos, manifestando la muestra DPC2 una foliación bien definida por la biotita; 3) amplio rango composicional en sílice, de 63,60 % (DPC2) a 68,52 % (GLM1); 4) zonado complejo en plagioclasa, con núcleo de andesina más o menos corroído; 5) carácter ligeramente peraluminico (ACNK= 1,08-1,13; Tabla 3A); 6) relativa pobreza en Rb en relación con Sr y, sobre todo, con respecto a Ba, proyectándose en el campo de “granitos anómalos del diagrama ternario de Rb-Sr-Ba (Fig. 3B), y 7) alto contenido en minerales accesorios, como circón, y por lo tanto, en tierras raras ( $\Sigma\text{REE}=162\text{-}416$ ; Tabla 3A), aumentando drásticamente con la basicidad.

#### *Granito de dos micas con cordierita y turmalina no deformado AEC2*

La existencia de cordierita y turmalina es el rasgo mineralógico más característico de este granito. Su textura es inequigranular con tendencia porfídica, con megacrystales de feldespato potásico poiquilítico que incluye cristales de plagioclasa (oligoclasa), con una zonación que supera el 20 % de An en el núcleo. La turmalina se presenta en cristales esqueléticos, mientras que la cordierita prismática aparece alterada a clorita/moscovita y/o pinnita. También se reconoce sillimanita acicular. La cloritización en esta muestra es muy intensa. Es destacable la ausencia de deformación. Se clasifica como monzogranito en el diagrama R1-R2 (Fig. 3C). Su contenido relativamente alto en Rb no impide que se proyecte en el campo de los “granitos fuertemente diferenciados” del diagrama ternario Rb-Sr-Ba (Fig. 3B). Otros rasgos geoquímicos distintivos son su moderada anomalía en Eu ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,47$ ) y su carácter fuertemente peraluminico (ACNK = 1,19) (Tabla 3A).

#### *Pórfido granodiorítico DPC1*

Se trata de una roca de textura subvolcánica, porfídica, con fenocristales mayoritariamente idiomorfos de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita, que a menudo se dispone en cúmulo-cristales. El cuarzo típicamente muestra golfos de corrosión. La matriz microcristalina es esencialmente cuarzo-feldespática. Como accesorios, aparecen circón y apatito. Son visibles en muestra de mano algunos enclaves milimétrico-centimétricos y microgranudos de probable composición cuarzodiorítica. En el diagrama R1-R2 se proyecta en el campo de las granodioritas (pórfido granodiorítico o microgranodiorita) (Fig. 3C).

Como suele ser común en este tipo de rocas, se manifiesta una intensa y generalizada alteración. Son muy abundantes los pseudomorfos de clorita a partir de biotita y probablemente de anfíbol en secciones idiomorfas basales. Hay que destacar que la alteración a clorita suele ir acompañada de epidota, titanita, leucoxeno, y muy significativamente, de prehnita y pumpellita, que se disponen en cristales fibroso-radiados o de manera sub-paralela a la exfoliación del pseudomorfo de clorita.

Desde un punto de vista geoquímico, presenta bajos contenidos en Rb (126 ppm) (Fig. 3B),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,14 %) y, sobre todo, de Cs (2,30 ppm), pero altos contenidos en Th, Zr y tierras raras (Tabla 3A), distribución que podría estar en relación con el proceso de alteración hidrotermal. Su carácter peraluminico (ACNK=1,17) (Tabla 3A) también puede ser consecuencia del alto grado de alteración de esta roca.

#### *Ortogneises (metagranitos) REC1 y FLE1*

Ambas muestras tienen una mineralogía similar, con cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita, biotita y granate (Tabla 2 para REC1). Su textura, sin embargo, es diferente (Fig. 2), con un bandeo migmatítico constituido por un leucosome y un melanosome en FLE1, y un bandeo más residual en REC1, que frecuentemente desaparece, confiriendo a la roca un aspecto más granudo y de tendencia diatexitica. A nivel mineralógico, cabe resaltar una plagioclasa ligeramente más cálcica en REC1 ( $\text{An}_{07-20}$ ) que en FLE1 ( $\text{An}_{04-12}$ ) y una mayor proporción de feldespato potásico frente a plagioclasa, que claramente indica que el protolito fue un sienogranito.

Desde un punto de vista geoquímico, ambos tipos de (orto)gneises son muy similares (Tabla 3A), con una gran riqueza en sílice, especialmente la muestra FLE1, moderado peraluminismo ( $ACNK=1,18-1,20$ ) y pobreza en Fe, Mg, Ti y Ca. Es decir, representan protolitos graníticos muy diferenciados, lo que se confirma mediante su proyección en el campo de los “granitos fuertemente diferenciados” del diagrama ternario Rb-Sr-Ba (Fig. 3B). Es relevante su acusada anomalía en Eu ( $Eu/Eu^*=0,26-0,27$ ) y el muy bajo grado de fraccionamiento en tierras raras (Tabla 3A).

#### *Arenisca lítica JOV1*

Se trata de una arenisca lítica de colores oscuros, constituida por clastos de fragmentos de roca predominantemente areniscosos, metapelíticos y de chert, cuyo tamaño puede alcanzar varios milímetros. Su compactación es elevada, pero no registra deformación post-deposicional. Geoquímicamente, es una roca pobre en  $Na_2O$  y  $CaO$  (Tabla 3A), propio de un importante componente pelítico; sin embargo, su alto contenido en sílice (77,3 %) y su escasa proporción de  $Al_2O_3$  (11 %) (Tabla 3A) es coherente con la relativa escasez de clastos pelíticos en relación con los ricos en cuarzo, confiriéndole una aceptable aptitud para piedra de molino a pesar de la aparente inadecuación del litotipo.

### **Discusión: Procedencia de las distintas muestras**

Una vez establecidos los seis litotipos se presenta a continuación una discusión para cada uno de ellos que incluye los pasos sucesivos de la marcha analítica, tales como la proposición de las áreas fuente potenciales y locales.

#### *Leucogranitos de dos micas deformados AEC1, TOR1, SCC1 y GLM2*

##### Áreas fuente potenciales

Asumiendo la adscripción al grupo de los “leucogranitos peraluminicos” de macizos sintectónicos, varias posibilidades aparecen como áreas fuente potenciales en las zonas periféricas a la Cuenca del Duero: 1) leucogranitos del área de Sanabria; 2) granitos de dos micas de la banda de Villalcampo-Pereruela en Zamora,

3) leucogranitos del Sistema Central y 4) leucogranitos del Domo del Tormes y NE de Peñausende. Los granitos del área de Villalcampo se descartan por su porfirismo, o bien, porque, en general, son más biotíticos y de plagioclasa más cálcica (IGME, 1982). Los leucogranitos del Sistema Central son realmente escasos (Villaseca *et al.*, 1988) y se caracterizan por un menor contenido en moscovita, así como por la presencia de cordierita, granate o turmalina, minerales aluminicos ausentes en las muestras del presente estudio. Los leucogranitos del área de Sanabria se descartan porque son más ricos en  $CaO$  (0,8-1,1 % frente a 0,54-0,71) y en Sr (157-163 ppm frente a 29-72 ppm) y más pobres en  $P_2O_5$  (0,10-0,30 % frente a 0,37-0,48 %), de acuerdo con los datos de Castro *et al.* (2003).

##### Áreas fuente locales

Ateniéndonos a criterios geoquímicos se distinguen dos grupos de leucogranitos en el mismo litotipo (Fig. 4): a) Muestras SCC1 y GLM2, que son leucogranitos relativamente ricos en Th (5-8 ppm) y en tierras raras ligeras ( $\Sigma LREE$ : 60-74), y b) Muestras AEC1 y TOR1, empobrecidas en Th (2-4 ppm) y en tierras raras ligeras ( $\Sigma LREE$ : 20-37). Ante la ausencia de allanita en este tipo de granitos, esta discriminación muy probablemente es debida a la diferencia en el contenido de monacita respecto al de circón, que llega a controlar el 65-80 % del contenido en Th y el 80-85 % de las tierras raras ligeras para leucogranitos peraluminicos (Bea, 1996).

Esta discriminación da pie a hacer una comparación con las muestras disponibles del Domo del Tormes (López-Plaza *et al.*, 2008; López-Moro *et al.*, 2011) y de su prolongación al NE en el área de Peñausende (López-Plaza *et al.*, 2012), en la línea del trabajo anterior de López-Plaza *et al.* (2016) (Tabla 3B). La variabilidad en Th y LREE en los leucogranitos del área considerada (Domo del Tormes y leucogranitos del área de Peñausende) no guarda una estrecha relación con el tamaño de grano del litotipo. En cierta medida, depende más bien del control regional, con bajos contenidos en Th en el sector de Sobradillo, Mogátar y Peñausende, prolongación al NE del Domo del Tormes.

Los dos pares de muestras presentan gran similitud entre sí, como se refleja en los diagramas de normalización (Figs. 4A y B), especialmente la

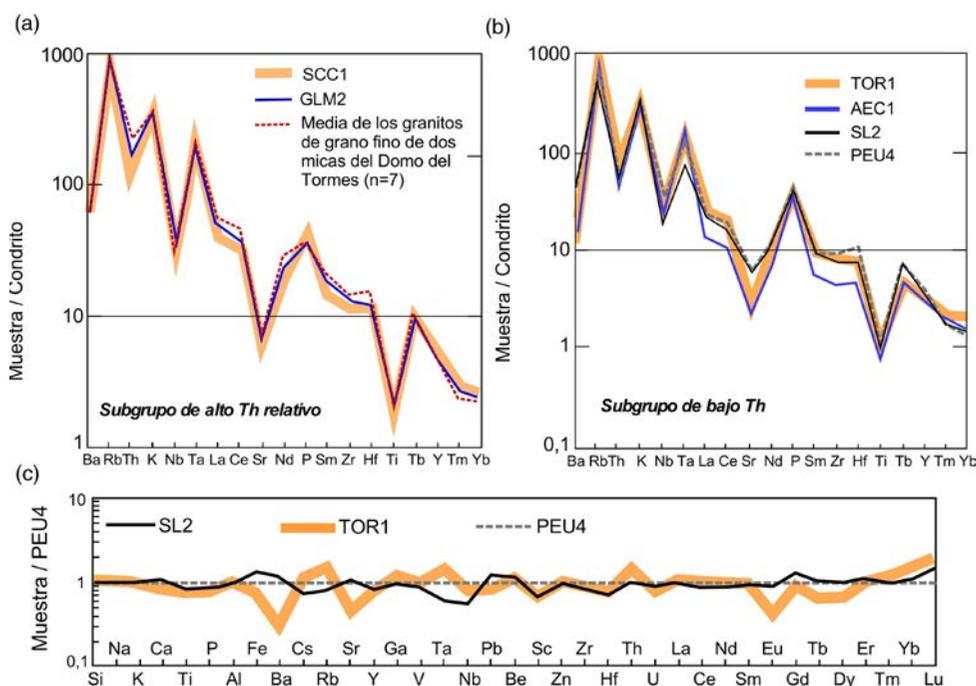


Fig. 4.—Comparación de las muestras de leucogranitos: A) Normalización al condrito de los leucogranitos de alto Th relativo, junto con la media de los leucogranitos del Domo del Tormes; B) Normalización al condrito de los leucogranitos de bajo Th, junto con la muestra PEU4, y C) Comparación de TOR1 y SL2 mediante la normalización a la muestra PEU4. (Datos: Domo del Tormes y PEU4, según López-Plaza *et al.*, 2008; SL2, López-Plaza *et al.*, 2016; valores del condrito, Thompson, 1982).

muestra SCC1 con GLM2, lo que sugiere una cierta especificidad en los procesos petrogenéticos de cada par. Los diagramas composicionales de la biotita demuestran no solo esta correspondencia (Figs. 5A y B; Tabla 4), sino que sugieren unas condiciones de cristalización similares para cada par, como indica la casi constancia en el parámetro Fe\* ( $\approx 0,72$  para el par SCC1 y GLM2;  $\approx 0,82$  para AEC1 y TOR1) (Tabla 4) (Fig. 5B). Igualmente, mediante los diagramas de caracterización para las moscovitas se llega a similares deducciones (Figs. 6A y B). En consecuencia, se infiere que cada uno de los pares de muestras muy probablemente ha debido de compartir una misma área fuente.

Las dos muestras de molinos estudiadas en un trabajo anterior (SL1 y SL2) del yacimiento de Castronuño fueron discriminadas con el mismo criterio geoquímico (López-Plaza *et al.*, 2016). A este respecto, la muestra SL2, empobrecida en Th, guarda bastante semejanza con las muestras AEC1 y TOR1, igualmente empobrecidas en Th (Fig. 4B; Fig. 6).

A efectos comparativos se ha seleccionado la muestra PEU4 (coordenadas 41° 17' 32,39" / 5° 51'

23,61"), situada al NE de la localidad de Peñausende en Zamora, prolongación NE del Domo del Tormes (Fig. 4C) (Tabla 3B). La normalización de la muestra TOR1 con respecto a PEU4 pone en evidencia su afinidad (Fig. 4C). Las discrepancias en Ca, Ba, Rb, Sr y Eu son probablemente debidas a desajustes en los minerales félsicos por imperfección en la representatividad de la muestra; no obstante, se pone de manifiesto la similitud con SL2, reproduciéndose en ambas algunas leves discrepancias con respecto a PEU4 para los elementos de alto potencial iónico y tierras raras. En consecuencia, la misma área fuente local (o del mismo entorno) que se propuso para la pieza SL2 puede ser propuesta ahora para las dos nuevas piezas. Esta área fuente local, por tanto, pudo haber sido compartida por los tres molinos SL2, AEC1 y TOR1, y está representada por la muestra PEU4 (Fig. 4C).

La muestra del molino SL1, anteriormente estudiada, tiene más contenido en Th que el par SCC1 y GLM2, por lo que no es razonable proponer el mismo área fuente. Dado que los leucogranitos equigranulares de tamaño medio/fino del Domo del Tormes se prolongan hasta el SO de Peñausende

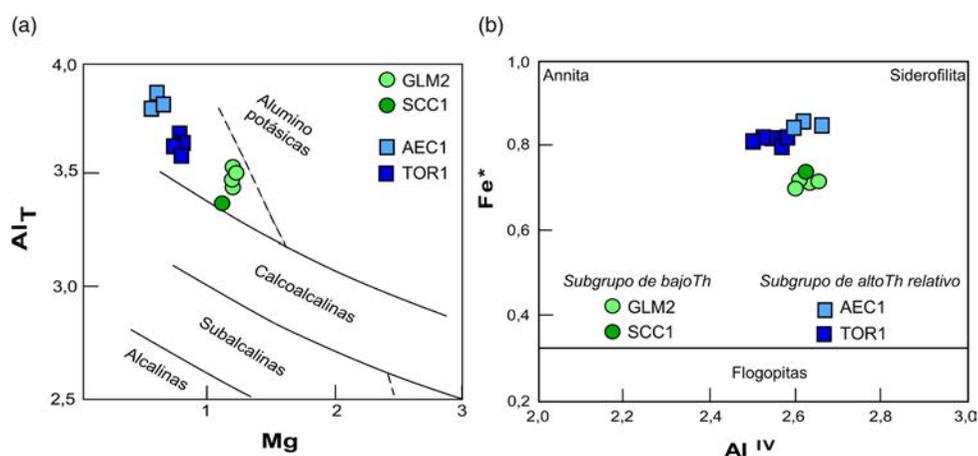


Fig. 5.—Composiciones de las biotitas de los dos pares de muestras de leucogranitos. A) Diagrama de Nachit *et al.* (1985) y B) Diagrama de Deer *et al.* (1962).

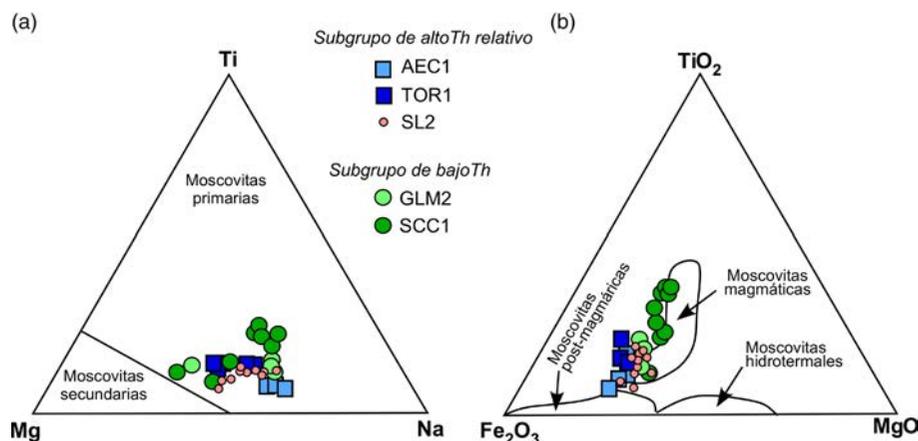


Fig. 6.—Composiciones de las moscovitas de los dos pares de muestras de leucogranitos. A) Diagrama ternario de Miller *et al.* (1981) y B) Diagrama ternario de Monier *et al.* (1984).

es oportuno su comparación con la media de este sector, resultando una equivalencia razonablemente aceptable (Fig. 4A) (Tabla 3B). No disponemos de ninguna muestra que se ajuste particularmente bien a la composición de SCC1 y GLM2, aunque la afinidad con los leucogranitos medios/finos del Domo del Tormes en su sector nororiental es muy probable, como se deduce por los diagramas presentados.

Las limitaciones expuestas no invalidan, creemos, la proposición del sector nororiental del Domo del Tormes y de los leucogranitos del área NE (Sobradillo-Peñausende) como área fuente local del material granítico de los molinos SCC1, GLM2, AEC1 y TOR1, la misma procedencia que ya se había propuesto para los molinos SL1 y SL2.

### Granitos biotíticos DPC2, GLM1 y GLM3

#### Áreas fuente potenciales

A pesar que este litotipo incluye diferentes tipos de rocas y pertenecen a dos diferentes yacimientos, se adscriben al grupo de las denominadas “granodioritas precoces”, según la denominación de Capdevila (1969), que yacen en macizos o batolitos alargados.

Las principales áreas periféricas a la Cuenca del Duero con “granodioritas precoces” son: Sanabria, Batolito de Sayago, y, aunque con claras diferencias, todo el sector septentrional del Sistema Central (Villaseca & Herreros, 2000; Bea *et al.*, 1988). Uno de los criterios discriminatorios o específicos de estas tres áreas potenciales es el contenido en K<sub>2</sub>O,

ya que Sanabria y, sobre todo, Sayago son, en general, más ricas en  $K_2O$ , lo que hace descartar como área fuente de la muestra cuarzomonzónica DPC2 el conjunto del Sistema Central, donde la asociación es estrictamente granodiorítica (Bea *et al.*, 1988).

El mayor contenido en K suele ir acompañado de un mayor contenido en tierras raras, reforzándose la apreciación anterior. A este respecto, las rocas granodioríticas del Batolito de Sayago muestran valores frecuentemente superiores a 300 ppm tanto en  $\Sigma REE$  como en Zr, en contraste con las granodioritas de Sanabria, que apenas sobrepasan 200 ppm en REE y 150 ppm en Zr (Castro *et al.*, 2003), y aún con mayor contraste, las rocas granodioríticas de todo el borde septentrional del Sistema Central, con valores por lo general muy inferiores a 200 ppm (Villaseca & Herreros, 2000). Dado que la muestra DPC2 contiene valores de  $\Sigma REE$  de 416 ppm y Zr de 350 ppm (Tabla 3A), es oportuno descartar las áreas de Sanabria y del Sistema Central como áreas fuente potenciales. Similares argumentos pueden ser esgrimidos para las muestras monzograníticas más diferenciadas representadas por GLM1 y GLM3.

### Área fuente local

De las muestras disponibles del Batolito de Sayago (López-Moro, 2000), la muestra POR18B se ajusta relativamente bien a la muestra DPC2 (Figs. 7A, B y C) (Tabla 3B), siendo el rango de la relación DPC2/POR18B de 0,6 a 1,4, y la media de 0,96. La mayor discrepancia en esta comparación es la anomalía negativa de DPC2 en Sr, Ca y Ba, debido probablemente a un menor contenido en feldespatos, especialmente en plagioclasa de núcleos andesínicos, lo que a su vez, justifica una ligera anomalía negativa en Eu (Fig. 7B), sin descartar leves diferencias originales en la muestra POR18B con respecto a la del molino.

Considerando la composición química de las biotitas de este litotipo (Tabla 4), se constata su proyección dentro del campo de las biotitas del Batolito de Sayago, según datos de López-Moro (2000) (Fig. 8). Su composición guarda una cierta relación con la química de roca total, en concreto con la sílice, de manera similar al Batolito de Sayago (Fig. 8). Además, el rango de 0,40-0,45 del número de magnesio de las tres muestras entra dentro del rango de

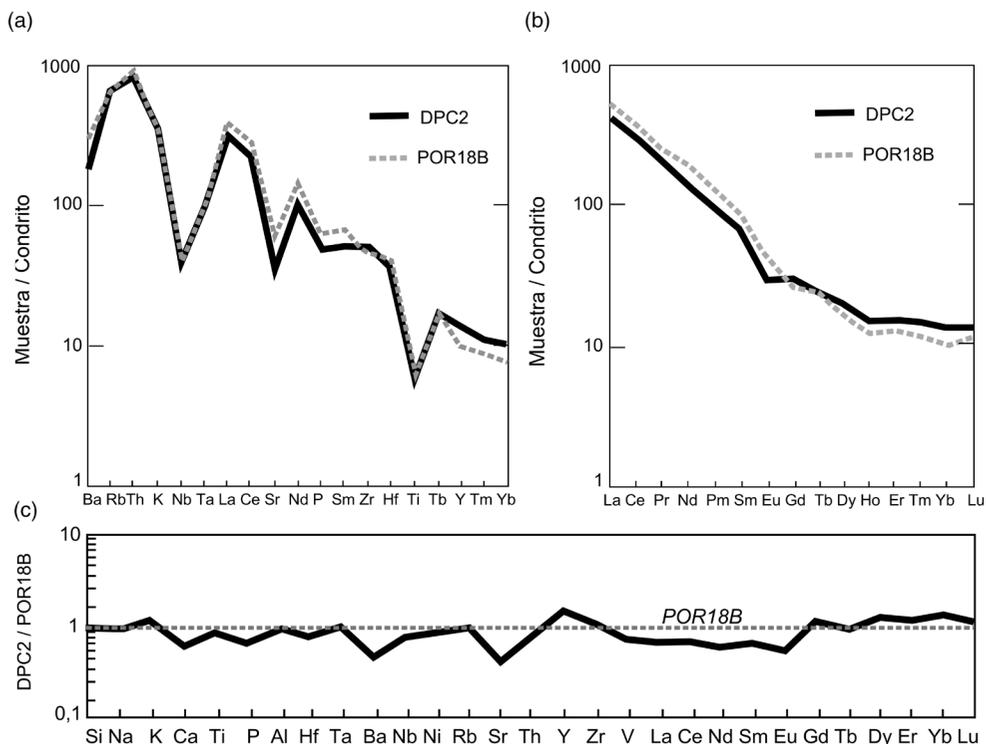


Fig. 7.—Comparación de la muestra DPC2 con la muestra del Batolito de Sayago POR18B. A) Diagrama de normalización multicomponente al condrito (valores de Thompson, 1982); B) Diagrama de normalización al condrito para tierras raras (valores de Evensen *et al.*, 1978), y C) Normalización de la muestra DPC2 respecto a la muestra POR18B.

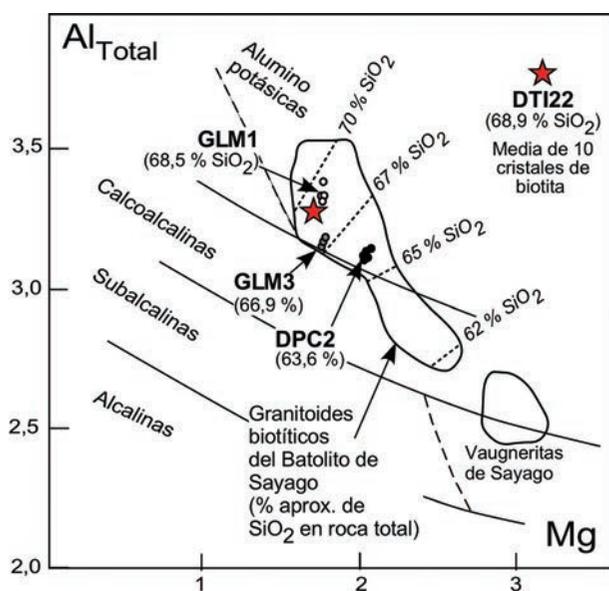


Fig. 8.—Diagrama de Nachit *et al.* (1985) en el que se representan las biotitas de las muestras de los granitoides biotíticos de los molinos (este trabajo), el campo de las biotitas del Batolito de Sayago y de la muestra DTI22 (según datos de López-Moro, 2000).

las biotitas del Batolito de Sayago, pero está por encima del valor característico de las granodioritas de Sanabria, que es de 0,3 (Castro *et al.*, 2003).

A efectos de comparación con las muestras más ácidas GLM1 y GLM3 se ha seleccionado la muestra DTI22 del Batolito de Sayago (Tabla 3B), cuya composición de las biotitas es acorde con la de los molinos (Fig. 8). En roca total, mediante el diagrama de normalización multicomponente al condrito (Fig. 9A) se establece una correspondencia para los picos negativos de Ba, Nb, Sr, P y Ti, al igual que para el Eu en el diagrama de normalización de tierras raras (Fig. 9B), estableciéndose la afinidad con la muestra sayaguesa DTI22. Más en concreto, la afinidad de la muestra GLM3 (extensible a la GLM1) se refleja en el diagrama de normalización a la propia muestra DTI22 (Fig. 9C), con una desviación estándar media de 0,20 respecto de  $GLM3/DTI22=1$ . La discrepancia más relevante es el mayor contenido en tierras raras pesadas e itrio de la muestra del molino, atribuible a un mayor contenido en circón. Probablemente, se trata de una pérdida parcial de representatividad de la muestra, con una sub-estimación de feldespato potásico (disminución de K, Ba y Rb), acompañada de una sobre-estimación de la fracción fina biotítica (aumento de V,

Fe, Mg y Ti) y plagioclásica (aumento de Na y Ca). Es común en granitoides de este tipo la asociación de inclusiones de circón en los cristales poiquilíticos de biotita; al igual que es común la presencia de cristales relativamente pequeños de plagioclasa en la fracción fina (o mesostasis).

Así pues, no es posible llegar a demostrar la correspondencia absoluta entre las muestras de los granitoides biotíticos de los molinos y las muestras seleccionadas de Sayago, aunque sí se establece una afinidad por criterios de geoquímica de roca total y de química mineral, que conduce a proponer el sector oriental del Batolito de Sayago como área fuente local.

#### *Granito de dos micas con cordierita no deformado (muestra AEC2)*

Este litotipo, constituido por una sola muestra, se aparta del grupo de los “leucogranitos peraluminicos” de macizos sintectónicos por las siguientes peculiaridades: 1) ausencia de deformación significativa (cuarzo sin extinción ondulante); 2) plagioclasa más cálcica (oligoclasa débilmente zonada); 3) presencia de sillimanita relicta, cordierita y turmalina; y 4) contenidos más altos en CaO y Sr (Fig. 3B).

Estas peculiaridades, combinadas con su peraluminismo, permiten correlacionarlo con el grupo de los “leucogranitos alóctonos” y tardíos de la banda de Boal-Los Ancares, ajustándose a los criterios de Corretgé *et al.* (2004). Dentro de los plutones de esta banda es el de Ponferrada el que presenta gran afinidad con la muestra AEC2, como indica el diagrama de Nachit *et al.* (1985) sobre la composición de las biotitas del conjunto del plutón (Fig. 10A), utilizando los datos de Fernández Suárez *et al.* (1992) y de Gallastegui (2002).

La mitad suroriental del Plutón de Ponferrada está constituida por una facies de dos micas porfídica, al igual que la muestra AEC2. Los datos de geoquímica de roca total de esta facies, proporcionados por Fernández-Suárez (1994), presentan una gran afinidad, especialmente las muestras PO6 y PO11 del citado autor (Tabla 3B), mostrando esta última una desviación estándar media de 0,32 respecto a  $AEC2/PO11 = 1$  para 31 elementos químicos (Fig. 10C). Igualmente, mediante el diagrama de normalización al condrito (Fig. 10B) se constata una gran similitud en los elementos traza. El hecho

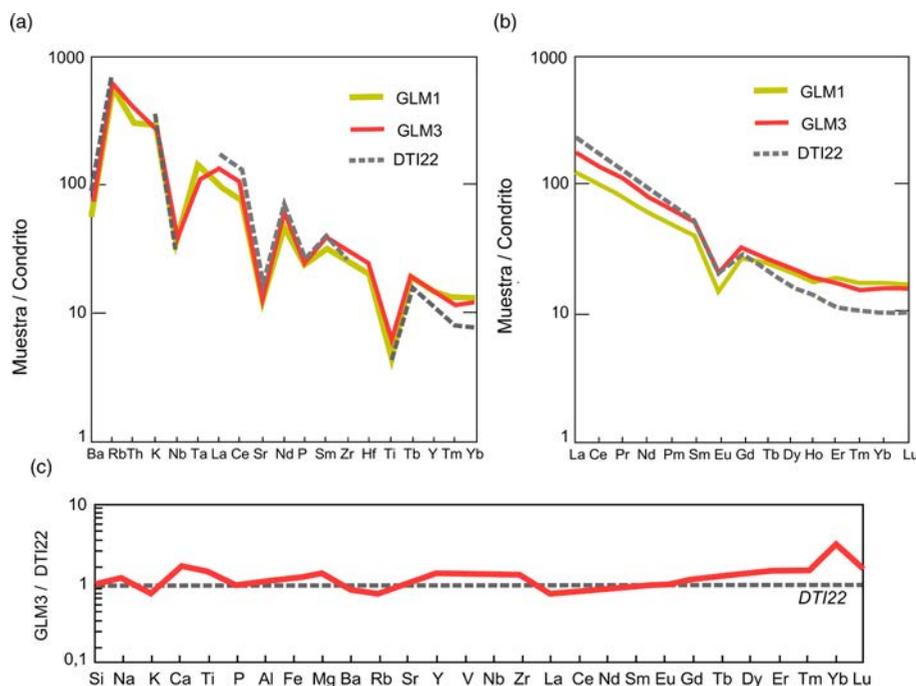


Fig. 9.—Comparación de GLM1 y GLM3 con respecto a DTI22 del Batolito de Sayago. A) Diagrama de normalización multicomponente al condrito de Thompson (1982) para las muestras GLM1, GLM3 y DTI22; B) Diagrama de normalización de tierras raras al condrito de Evensen *et al.* (1978), y C) Normalización de la muestra GLM3 respecto de la muestra DTI22.

que la muestra del molino tenga mayor contenido en tierras raras pesadas, junto con Y y Hf, se interpreta por su mayor contenido en circón, lo cual, a su vez, se puede justificar por una escasa cantidad de muestra analizada y, además, probablemente con un mayor contenido en partículas finas, es decir, en biotita y en sus inclusiones consecuentes de circón. El resto de los elementos normalizados a PO11 dan relaciones AEC2/PO11 muy próximas a la unidad. El mayor contenido en biotita de la muestra AEC2 es coherente con su mayor contenido en Ba y V (378 ppm frente a 295 ppm de Ba, y 14 ppm frente a 11 de V) (Tablas 3A y B). El contenido en monacita o en el mineral portador de Th y tierras raras ligeras, sin embargo, apenas se habría visto afectado, ya que la relación Th/Ce no cambia de AEC2 a PO11 (Th/Ce=0,22).

Desde un punto de vista geográfico, resulta coherente que las muestras más afines sean las más próximas al exocontacto SE del plutón, como la PO11, porque es el material granítico menos distanciado del propio yacimiento. Además, el acceso al lugar de extracción de la muestra pudo haberse realizado a través de los valles de los afluentes del río Sil, bien el río Meruelo, el Boeza, o ambos (Fig. 11).

**Pórfido granodiorítico DPC1**

La intensa alteración de este pórfido granodiorítico, con formación de abundantes minerales sílico-cálcicos, hace restringir la propuesta de área fuente potencial a la Zona Cantábrica, donde la alteración hidrotermal de los cuerpos de granitoides es un rasgo distintivo y específico, en contraste con los granitoides de la Zona Astur-Occidental Leonesa y Centro-Ibérica, en los que el hidrotermalismo se desarrolla más bien en las facies diferenciadas de los plutones o en sus manifestaciones filonianas.

Algunas texturas específicas, como la textura microporfídica con la biotita polimorfa como mineral cúmulo, así como la existencia de microenclaves dioríticos, indican una gran similitud con los granitoides del subtipo G1 de La Pernía, tipificados por Corretgé *et al.* (1987), donde los pequeños cuerpos subvolcánicos granodioríticos de estas mismas características son ciertamente abundantes. Más en concreto, la singular presencia de prehnita y pumpeilita, en asociación con la cloritización de la biotita, proporciona un criterio de muy alto grado de certidumbre sobre la procedencia de la Zona Cantábrica, y en concreto, del grupo de granitoides G1 de La

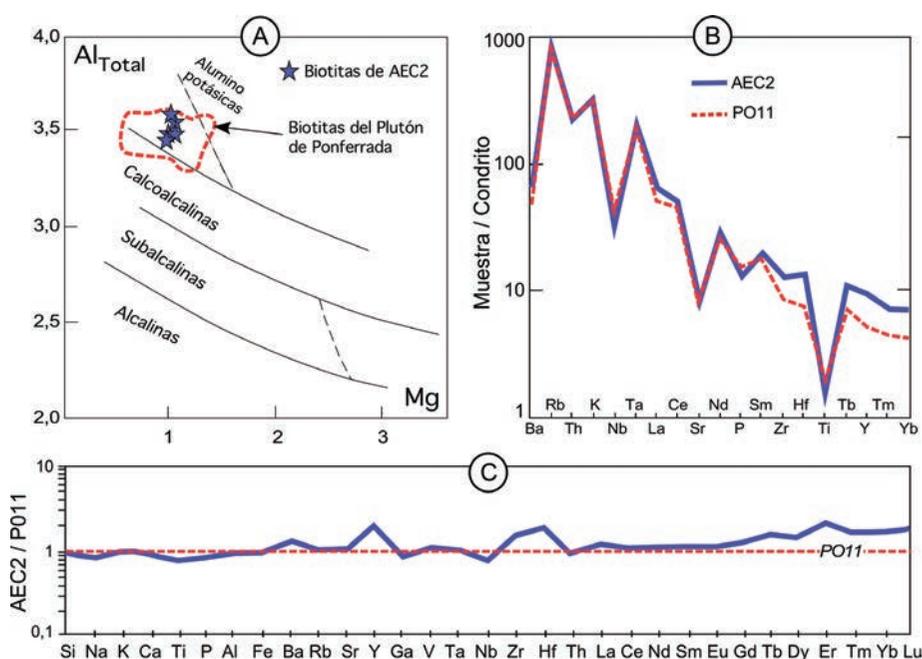


Fig. 10.—Comparaciones de la muestra AEC2 con las del Plutón de Ponferrada. A) Diagrama de Nachit *et al.* (1985) en el que se representan las biotitas de la muestra AEC2 y el conjunto de las del Plutón de Ponferrada. B) Diagrama de normalización al condrito de Thompson (1982), representando la muestra AEC2 y la muestra PO11 del Plutón de Ponferrada; C) Diagrama de normalización de la muestra AEC2 a PO11 para 31 elementos químicos.

Pernía. La aparición de estas ceolitas es relativamente frecuente en granitoides poco profundos en relación con la actividad hidrotermal desarrollada a bajo grado metamórfico, pero esta aparición es muy rara en el Macizo Ibérico y es prácticamente exclusiva de la Región Palentina (Corretgé *et al.*, 1987). En todo caso, la aparición de estos minerales aluminico-cálcicos requiere que el granitoide biotítico contenga, por un lado, proporciones relativamente elevadas en Ca ( $\text{CaO} > 1\%$ ) (Tulloch, 1979) y, por otro lado, ha de haber disponibilidad de un fluido acuoso a baja presión, condiciones que se dan en los granitoides G1 de la Región Palentina.

Estas deducciones se confirman por criterios geoquímicos, aunque la falta de análisis químicos completos impide una comparación sistemática, lo que se dificulta, además, por el variable grado de alteración hidrotermal. Aun así, los elementos mayores, mediante el diagrama A-B de Debon & Le Fort (1983) (Fig. 12A), vienen a confirmar la afinidad de la muestra DPC1 con los granitoides G1 de La Pernía. A pesar que su proyección en el diagrama A-B entra dentro de un campo solapado con los G3, es altamente improbable su adscripción a este grupo, que no presenta la intensa alteración con minerales

sílici-cálcicos de los G1, sino fundamentalmente cloritización y sericitización, de acuerdo con Corretgé *et al.* (1987). Algunos elementos traza, mediante el diagrama Rb versus Y+Nb, también sugieren la afinidad con los G1 (Fig. 12B). Además, los contenidos en Nb, Zr y Sr de la muestra DPC1 entran dentro del rango de los granitoides G1, según los datos de Corretgé *et al.* (1987).

Dentro del grupo G1, la muestra DPC1 guarda gran similitud en los elementos mayores con la muestra granodiorítica CP13 del stock de Estalaya (Fig. 12 A; Tablas 3A y B), caracterizado por una alteración metasomática que da lugar a la biotita prehnitizada (González Montero *et al.*, 1989), con rasgos texturales idénticos a los de la muestra DPC1.

En conclusión, se propone como área fuente local el propio stock de Estalaya, o bien, alguno de los afloramientos de los alrededores del actual embalse de Váñez en el río Pisuerga, incluyendo el stock de Carracedo, donde han sido descritos efectos metasomáticos relevantes que dieron lugar a la formación de un endoskarn y mineralización de calcopirita, mispiquel y magnetita y, ocasionalmente esfalerita, cobres grises, pirrotina y

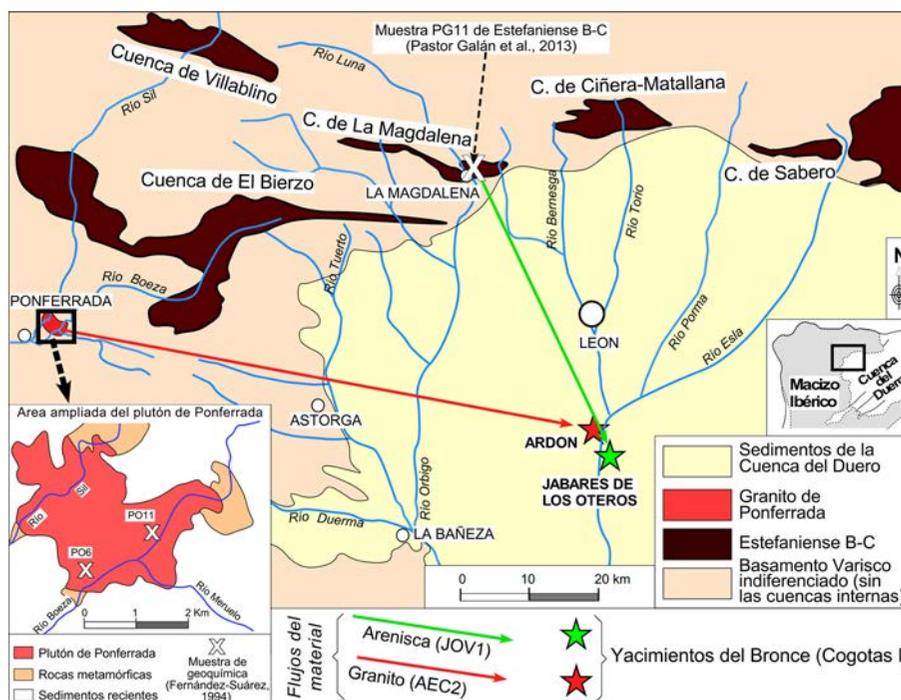


Fig. 11.—Esquema geológico del NO del área estudiada, incluyendo los yacimientos Cogotas I muestreados, la procedencia propuesta de los materiales pétreos y el esquema geológico, basado en el IGME (1976), del Plutón de Ponferrada (recuadro inferior izquierdo), con la localización de dos muestras afines al granito del molino AEC2.

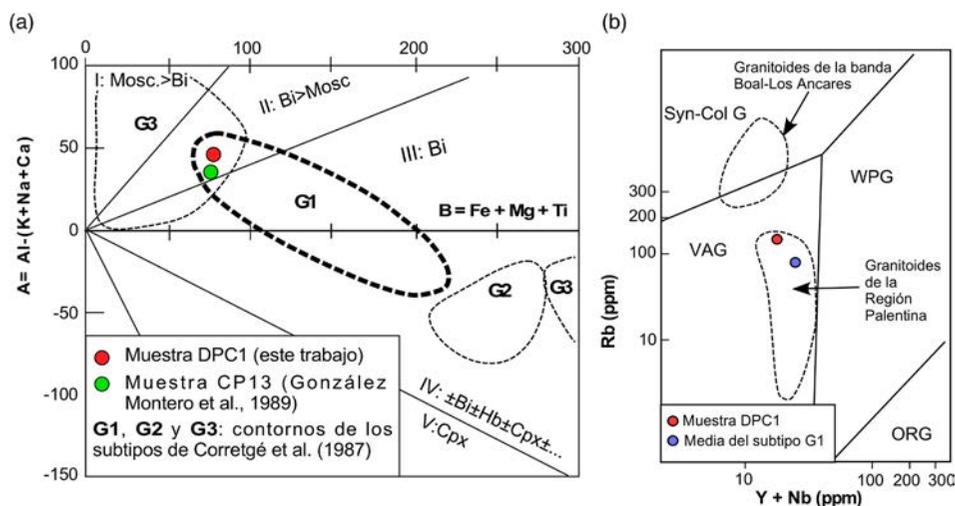


Fig. 12.—A) Diagrama A-B de Debon & Lefort (1982) y comparación de la muestra DPC1 con los subtipos plutónicos de la Región Palentina y con la muestra granodiorítica CP13 del stock de Estalaya, tomada de González Montero *et al.* (1989). B) Diagrama de Rb versus Y+Nb y comparación de la muestra DPC1 con los granitoides de Boal-Los Ancares y con los de la Región Palentina (según datos de Suárez & Corretgé, 1988) y con la media de sus valores (Corretgé *et al.*, 1987).

löllingita (Martín Izard *et al.*, 1986). La distancia entre la localidad de Cervera de Pisuerga, situada en el borde del basamento, y los afloramientos plutónicos más meridionales de los G1 es desde 300 m hasta unos 2 km. No podría extrañar, por tanto,

que los hombres de la Edad del Bronce accedieran al lugar de extracción de la muestra por el propio valle del río Pisuerga, descubriendo eventualmente alguno de los minerales metálicos citados anteriormente.

## Ortogneises REC1 y FLE1

### Áreas fuente potenciales

Aunque se trata de dos muestras gneísicas algo diferentes (una, leucogneis y la otra, gneis migmatítico con granate), ambas rocas presentan similares características geoquímicas, por lo que está justificado un tratamiento conjunto de cara a establecer similitudes con otras rocas del entorno regional.

Existen diversas áreas potenciales, a priori, con gneises comparables: Sanabria, Domo del Tormes y Este del Sistema Central, todas ellas pertenecientes al Dominio de Gneises o de foliación subhorizontal de Díez Balda *et al.* (1990). No obstante, el fraccionamiento de tierras raras ligeras a pesadas tan extraordinariamente bajo [(La/Lu)=1,96-2,29] así como la marcada anomalía negativa en Eu (Eu/Eu\*=0,26-0,27) se apartan del rango de los valores normales de los ortogneises relacionados con el gneis Ollo de Sapo (Díez Montes, 2007; Navidad & Bea, 2004; Navidad & Peinado, 1981). Tan solo tienen un cierto parangón con los leucogneises diferenciados del Sistema Central (Navidad *et al.*, 1992).

Este quimismo tan específico y, por supuesto, la gran proximidad de los yacimientos arqueológicos (Fuentecén y Rábano) al borde E del Sistema Central hace, obviamente, mucho más razonable considerar esta última área fuente potencial como la más plausible.

Dentro del E del Sistema Central, hay que seleccionar el denominado Dominio Central, según la división de Bellido *et al.* (1981) (Fig. 13), ya que es donde aparecen las rocas migmatíticas y meta-texiticas, descartándose los Dominios Oriental y Occidental, ambos de menor grado metamórfico, en general. Esta consideración hace descartar, por tanto, el Macizo de Santa María La Real de Nieva y gran parte del Macizo de Honrubia-Pradales, que pertenece al Dominio Oriental.

### Áreas fuente locales

De cara a establecer similitudes litológicas con los subtipos de gneises establecidos en este Dominio Central, ha de precisarse que la muestra REC1 se ajusta a los criterios del subtipo de “leucogneises con glándulas de mediano tamaño” de la Unidad Inferior de Rubio Pascual (2013), mientras que el

gneis migmatítico con granate (muestra FLE1) se ajusta a los criterios del subtipo de “leucogneises biotíticos bandeados”, también de la Unidad Inferior del citado autor.

A efectos comparativos con las litologías existentes en las distintas zonas del Dominio Central, se ha seleccionado un leucogranito con características geoquímicas similares a las de los gneises, la muestra 9041 de la Hoja de Cantalejo (IGME, 2007) (Tabla 3B). Tanto los gneises como la muestra seleccionada muestran características propias de granitos (o protolitos graníticos) muy diferenciados (alto contenido en sílice; pobreza en Fe, Mg y Ti, y riqueza en Rb) (Tabla 3B). Los espectros condriticos de comparación de esta muestra con los gneises (Figs. 14A y B) sugieren un modelo compatible con un fraccionamiento de feldespato, sobre todo de plagioclasa, que habría hecho empobrecer al fundido original en Sr y Eu. Asumiendo una ausencia de error analítico, la discrepancia mayor está referida al mayor pico negativo de P de la muestra 9041, indicando que podría tratarse de un segregado leucogranítico (IGME, 2007) genéticamente relacionado con los gneises, salvo que además de haber fraccionado feldespato, una fase fosfatada, como el apatito, podría haber quedado en la fracción acumulada. Obviamente, no se demuestra la correspondencia litológica entre las muestras del molino y el segregado leucocrático, aunque no se descarta que tanto los gneises, que son metagranitos irregularmente modificados por el metamorfismo y anatexia, como el propio segregado leucogranítico de la muestra 9041 formen parte de un mismo conjunto litológico que comparta determinados procesos petrogenéticos a partir de protolitos afines. Así, no es sorprendente que en dominios migmatíticos más meridionales del Sistema Central (Hoja de Tamajón, IGME, 2005) se reconozcan pequeños sills de leucogranitos de dos micas foliados que son composicionalmente idénticos a los metagranitos REC1 y FLE1.

Llegados a este punto, se discuten aquí brevemente tres posibles áreas fuente locales para las piezas de los molinos de Rábano y Fuentecén dentro del Dominio Central (Fig. 13):

- 1) Borde SO del Macizo de Honrubia, donde se alcanza localmente la isograda de la sillimanita-feldespato potásico. No obstante, a pesar de la corta distancia desde el yacimiento de Fuentecén, hay

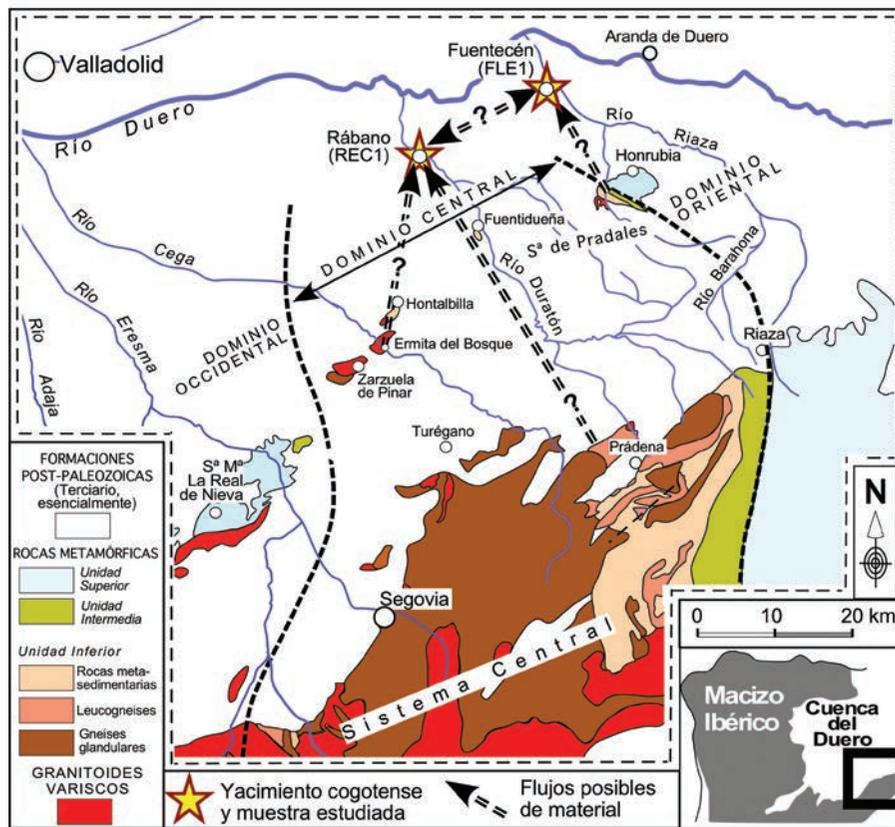


Fig. 13.—Cartografía simplificada del SE de la Cuenca del Duero y NE del Sistema Central, con la localización de los yacimientos cogotenses muestreados y posibles flujos de materiales pétreos. (Base cartográfica de Bellido *et al.*, 1991; y Rubio Pascual, 2013).

tres circunstancias que hacen improbable la consideración de esta área fuente local: a) elevado grado de alteración, b) escasez de los niveles metagraníticos como FLE1, de acuerdo con la cartografía de Rubio Pascual (2013), y 3) intensa deformación al estar próximos al techo de la Unidad Inferior.

- 2) Pequeños afloramientos de los macizos interpuestos entre los yacimientos de Rábano y Fuentecén y el Sistema Central. Es el caso de Zarzuela del Pinar-Hontalbilla, en concreto, la Ermita del Bosque, que es el lugar de procedencia de la muestra 9041 (IGME, 2007), discutida anteriormente y de clara afinidad genética con los gneises. Sin embargo, la intensa alteración en las rocas del basamento de esta zona hace mermar su posibilidad como área fuente local, a pesar del fácil acceso desde el yacimiento de Rábano.
- 3) Borde norte del Sistema Central, en los alrededores de Prádena (Hoja 458), donde afloran abundantes leucogneises, cuya petrografía y

geoquímica de elementos mayores (IGME, 2004) y trazas (muestras de leucogneises VI-1,3 y 4; LV-1 y MJ-6 de Villaseca *et al.*, 2016) es similar a FLE1 y REC1. El acceso a esta área del Sistema Central es difícil al Este del Río Duratón, debido a la interposición de la Sierra de Pradales, pero estaría favorecido por el relieve más bien plano y de carácter endorreico en gran parte del sector interfluvial septentrional entre el Duratón y Cega, suponiendo una distancia mínima de unos 40 Km desde el yacimiento de Rábano.

#### Arenisca lítica JOV1

Por su naturaleza, clasificación y ausencia de deformación, este tipo de roca se asocia a los sedimentos detríticos de las cuencas estefanienses que afloran en sinclinales, internamente no deformados, de la Zona Cantábrica y Astur-Occidental Leonesa, que, por otra parte, están relativamente

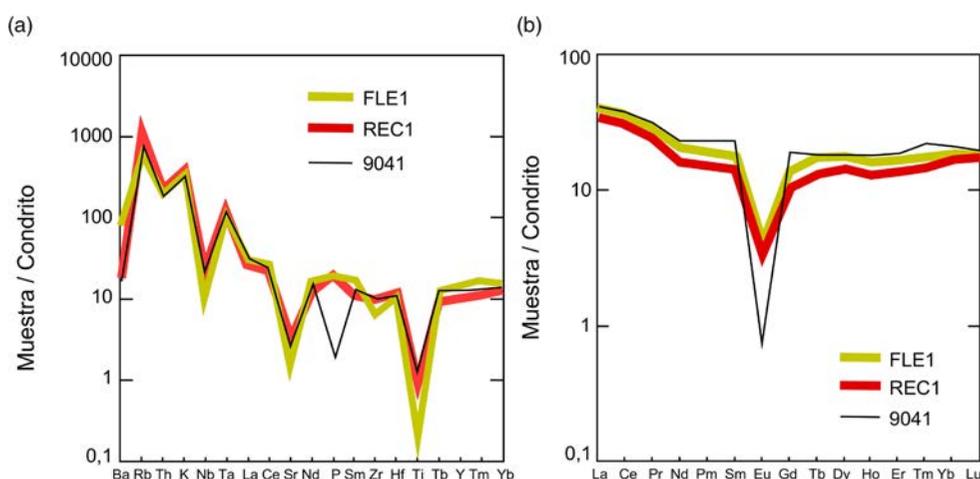


Fig. 14.—Comparación de los gneises con la muestra 9041 de la hoja de Cantalejo: A) Mediante el diagrama de normalización multicomponente al condrito de Thompson (1982), y B) Mediante el diagrama de normalización de tierras raras al condrito de Evensen *et al.* (1978).

próximos al yacimiento de Jabares de los Oteros (León) (Fig. 11).

A fin de encontrar la afinidad geoquímica con areniscas de la misma formación se han comparado los datos geoquímicos disponibles de areniscas del Estefaniense B-C de la Zona Cantábrica, utilizando las muestras PG7, PG8 y PG11 de Pastor-Galán *et al.* (2013), que guardan características geoquímicas propias y contrastadas con respecto a las del Estefaniense A y Pérmico. Mediante los diagramas de normalización (Figs. 15A y B; Tablas 3A y B) se llega a las siguientes deducciones:

- 1) La muestra del molino JOV1 y las tres muestras consideradas del Estefaniense B-C presentan gran afinidad con los valores medios de la corteza superior (Taylor & McLennan, 1985) (Fig. 15 A), habiendo que resaltar un pico negativo de Na, Ca y Sr, que puede ser justificado por la ausencia de plagioclasa y/o de fragmentos de roca carbonatada. El acusado pico negativo en Mn puede ser debido bien a las condiciones reductoras deposicionales (Wedepohl, 1978) de las cuencas carboníferas, que habrían propiciado la movilidad del  $Mn^{+2}$ ; o bien, a una roca madre desprovista de óxidos metálicos con Fe y Mn.
- 2) Las medias de las desviaciones estándar con respecto a la unidad  $[(1-(JOV1/Muestra)_N)]$  en términos absolutos para 27 elementos químicos normalizados a la corteza son esclarecedoras para las 3 muestras consideradas: 0,71 para

PG7; 0,74 para PG8 y 0,19 para PG11. La escasa dispersión de JOV1/PG11 respecto de la unidad hace considerar la muestra PG11 como la más semejante desde un punto de vista estadístico, desestimando las otras dos muestras que registran moderadas discrepancias en Na, Ca, Cs, Nd o Pb (Fig. 15A).

- 3) La afinidad entre las muestras JOV1 y PG11 se refleja en el mismo diagrama de normalización a la corteza superior (Fig. 15A), habiendo una correspondencia de todos los picos negativos, tanto los referidos de Na, Ca y Sr, como los de Nb y Ba, y los más débiles de Ce, Yb y Hf. Los elementos Mn y U son los que únicamente muestran una leve discrepancia. La muestra PG11 presenta valores algo superiores en U  $[(JOV1/PG11)_N=0,56]$  y algo inferiores en Mn  $[(JOV1/PG11)_N=1,54]$ , probablemente debido a cambios en las condiciones locales algo más reductoras, que habrían limitado su movilidad en forma de  $U^{+4}$ , un comportamiento antagónico al del  $Mn^{+2}$ , que habría hecho aumentar su movilidad. A este respecto, la asociación de las formaciones detríticas estefanienses de la Zona Cantábrica con restos vegetales y capas de carbón (Colmenero *et al.*, 2008), justifica, en general, los probables cambios locales en las condiciones deposicionales reductoras.
- 4) El diagrama de normalización al condrito (Evensen *et al.*, 1978) para las tierras raras pone de manifiesto también la mayor afinidad de la

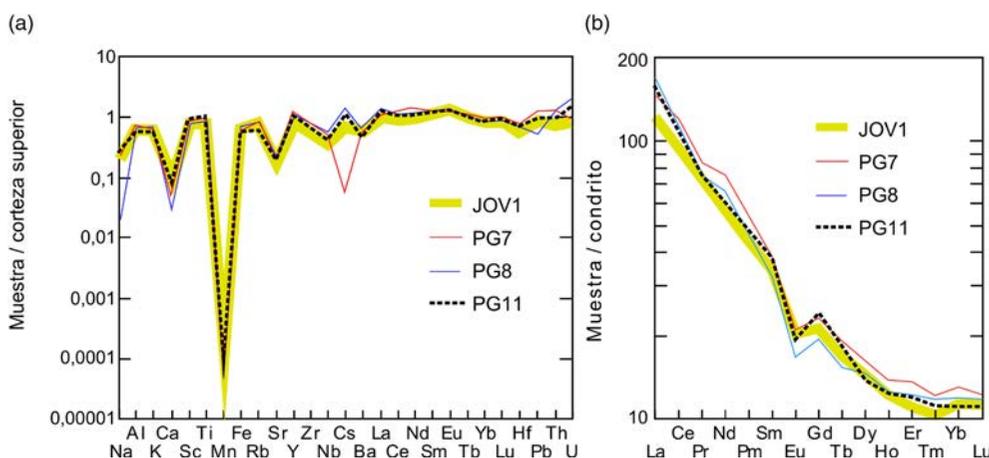


Fig. 15.—Comparación de la arenisca lítica JOV1 con diversas muestras de Pastor-Galán *et al.* (2013) del Estefaniense B-C de la Zona Cantábrica. A) Mediante la normalización a la media de la corteza superior (según valores de Taylor & McLennan, 1985), y B) mediante la normalización al condrito (según valores de Evensen *et al.*, 1978).

muestra PG11 de La Magdalena, mostrando un modelo de enriquecimiento en ligeras, espectro plano en pesadas y ligera anomalía en Eu, a la vez que se refleja una cierta discriminación de las otras dos muestras (Fig. 15B).

No se dispone de datos geoquímicos completos de las areniscas de la Cuenca del Bierzo para su comparación, aunque se trataría de una zona continental más elevada que la Zona Cantábrica, que integra las cuencas de La Magdalena, Ciñera-Matallana y Sabero con una probable relación genética entre ellas (Truyols Santonja, 1983). Por otra parte, las areniscas estefanienses de la Cuenca del Bierzo contienen un elevado contenido en fracción pelítica, tanto en los clastos como en la matriz (Santamaría & Robles Casas, 1990), lo cual difiere de la muestra JOV1, que presenta significativamente una gran proporción de clastos areniscosos y de chert.

Desde un punto de vista geográfico, resulta coherente la proposición de la muestra PG11 como indicativa del área fuente local en la cuenca de La Magdalena ya que se trata de la zona estefaniense de más proximidad al yacimiento de Jabares de los Oteros (Fig. 11), en contraste con las otras dos muestras PG7 y PG 8 de Pastor-Galán *et al.* (2013), situadas en puntos más septentrionales de la Zona Cantábrica (fuera del mapa de la Fig. 11). El valle del río Bernesga y los de sus afluentes pudieron haber facilitado el transporte desde el lugar de extracción hasta el yacimiento.

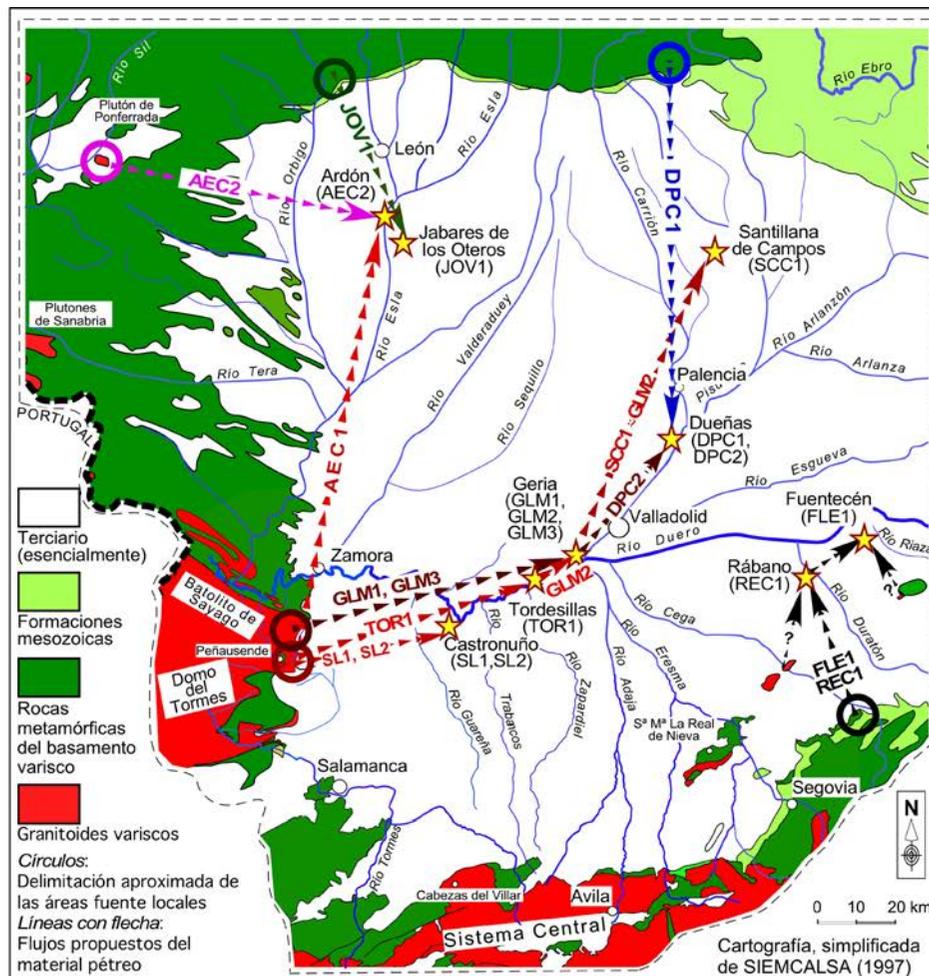
## Conclusiones y consideraciones finales

### Sobre los modelos de flujo

La determinación de las áreas fuente locales ha permitido llegar a proponer los siguientes modelos de flujo del material pétreo (Fig. 16): a) Modelo radial o centrípeto (muestras JOV1, AEC2 y ortogneises REC1 y FLE1), estando definido por la procedencia de lugares relativamente cercanos del borde del basamento. b) Modelo de flujo en diagonal SO-NE (leucogranitos y granitoides biotíticos), de largo alcance que cruza la Cuenca del Duero, incluyendo, en realidad, dos subflujos paralelos, con distancias extremas en línea recta de 122 km (muestra DPC2) y 174 km (muestra SCC1). Y c) Modelo de flujo de procedencia lejana y direcciones próximas a N-S (muestras DPC1 y AEC1).

### De carácter geológico y metodológico

La procedencia de los materiales pétreos de piezas arqueológicas, como los molinos estudiados, representa una oportunidad para desarrollar una metodología de aplicación geológica que aúna múltiples criterios, desde petrográficos, químico-mineralógicos y geoquímicos, además de los referentes a la Geología Regional. La finalidad concreta radica en llegar a proponer unas áreas fuente potenciales y finalmente, en cada caso, un área fuente local, de acuerdo con una marcha sistemática previamente establecida



ÁREA FUENTE LOCAL / LITOTIPO	MUESTRA	DISTANCIA EN LÍNEA RECTA (Km)	YACIMIENTO
Estefaniense de La Magdalena (León)	Arenisca lítica JOV1	48 km	Jabares de los Oteros (León)
Granitoides de La Pernía (Estalaya ?, Palencia)	Pórfido granodiorítico DPC1	112 km	Dueñas (Palencia)
SE del Plutón de Ponferrada (León)	Granito de dos micas cordierítico no deformado AEC2	85 km	Ardón (León)
Alrededores de Prádena (Segovia)	Ortogneises REC1	54 km	Rábano (Segovia)
	FLE1	56 km	Fuentecén (Burgos)
Sector oriental del Batolito de Sayago (Zamora)	Granitoides biotíticos GLM1, GLM3	97 km	Gería (Valladolid)
	DPC2	122 km	Dueñas (Palencia)
Domo del Tormes en su extensión NE y área de Peñausende (Zamora)	Leucogranitos de dos micas deformados SL1, SL2	54 km	Castroño (Zamora)
	TOR1	78 km	Tordesillas (Valladolid)
	GLM2	103 km	Gería (Valladolid)
	AEC1	106 km	Ardón (León)
	SCC1	174 km	Santillana de Campos (Palencia)

Fig. 16.—Arriba: esquema geológico con la configuración de los flujos del material pétreo. Abajo: recopilación y representación esquemática de los resultados.

(López-Plaza *et al.*, 2016), que se inicia con la determinación de los litotipos y que comúnmente acaba encontrando una especificidad y correspondencia mediante los elementos traza, de tal manera que la signatura geoquímica resulta ser una huella arqueológica fidedigna.

Como resultado del estudio de las 12 muestras de piezas de molino se llegan a proponer diversas áreas fuente locales (Fig. 16) con alto grado de certidumbre, cuya optimización, no obstante, puede resultar incompleta, dependiendo tanto de la especificidad y representatividad de la muestra estudiada, como de la disponibilidad de las muestras objeto de comparación.

Algunas de las muestras estudiadas reúnen una alta especificidad, no solo por sus características geoquímicas, sino sobre todo por sus características petrográficas y mineralógicas, como son la arenisca lítica del Estefaniense JOV1, el granito cordierítico de dos micas ( $\pm$ turmalina) AEC2, y el pórfido granodiorítico DPC1, con prehnita-pumpellita, permitiendo la determinación del área fuente local con alto grado de certidumbre. Otras muestras, como los gneises, presentan alta especificidad por los elementos traza. Y finalmente la especificidad encontrada para los leucogranitos y granitoides biotíticos está basada tanto en las composiciones químico-mineralógicas como en los elementos traza.

La falta de representatividad de algunas muestras de granitoides biotíticos y leucogranitos, debida a la técnica básica de extracción, se ha paliado, en parte, recurriendo a la comparación entre muestras afines de distintos yacimientos, lográndose establecer afinidades por pares de muestras, lo cual unido a criterios discriminativos geoquímicos muy específicos, como el contenido en Th, permite, por un lado, delimitar el área fuente local, y por otro, establecer un nexo geológico (y arqueológico) entre diversos yacimientos.

### *De carácter arqueológico*

Los resultados del trabajo posibilitan algunas reflexiones:

A) Los vectores de flujo anteriormente propuestos sobre argumentos geológicos encajan perfectamente con el mapa de dispersión de la cultura y reflejan la importancia que el Duero y su red hidrográfica parecen haber tenido en la localización de los poblados (Fig. 1). Las líneas

Sayago-Geria-Dueñas y Peñausende-Castronuño-Tordesillas-Geria-Santillana de Campos (que probablemente engloba la anterior) corresponden a un posible itinerario salpicado por gran número de yacimientos, algunos de los cuales, como los tres vallisoletanos, presentan materiales —cerámicas con decoraciones concretas— que seguramente indican la interrelación entre ellos, o al menos, la pertenencia a una amplia red.

B) El modelo de proveniencia lejana seguramente debe entenderse a la luz del mismo argumento anterior. Un caso relevante es el de Pico Castro (Dueñas), abastecido desde dos áreas opuestas como Sayago, con los puntos intermedios ante citados, y La Pernía, en la cabecera del Pisuerga, cuyo curso está también jalonado por numerosos yacimientos que harían posible una sucesión de desplazamientos de corta distancia. Un hecho análogo parece el del castro leonés de Ardón, donde se ha probado la llegada de molinos procedentes de la zona granítica más próxima, el Plutón de Ponferrada, a unos 85 km, pero también de otra, la del domo del Tormes, a más de 100 km que debía afrontar el problema del cruce del Duero. Ciertamente, sobre el propio domo tormesino hay una docena de yacimientos de Cogotas I, pero sobre todo es interesante referirse, para entender esta relación tan lejana, al elevado número de sitios cogotenses que, a lo largo del valle del Esla, están situados grosso modo en el camino natural conocido como “Ruta de la Plata”, y que además han suministrado evidencia de los contactos. Hace poco tiempo ha podido reconocerse (Sánchez-Polo, 2011) en algunos de ellos, desde Villaralbo (Zamora), en la orilla meridional del Duero, hasta el Castillo de Alange (Badajoz), en un vado nada más cruzar el Guadiana, una peculiar composición decorativa a base de puntitos impresos mediante una matriz de cinco puntas y, en algunos casos, con unos gestos técnicos muy concretos. La misma autora añadía otra decoración con bandas verticales de retículas y espigas hasta ahora reconocida solamente en otros yacimientos del mismo ámbito, desde “El Pelambre” (Villaornate, León) y Los Cenizales (Barcial del Barco, Zamora), ambos en la orilla izquierda del Esla, que enlazan con otros de la comarca zamorana de la Tierra del Vino, al sur del Duero y podría añá-

- dirse alguna vinculación decorativa entre éstos últimos y el de Jabares de los Oteros (Rodríguez Marcos *et al.*, 1999), el yacimiento leonés del valle medio del Esla del que procede el molino JOV1. Esa densa red de conexiones entre sitios cogotenses de la zona zamorano-leonesa —que enlazan con los de Extremadura a través de los de la zona de Béjar, por donde se pasaría el Sistema Central—, explica bien el abastecimiento de granito a Ardón desde el Domo del Tormes.
- C) Algunos de los vectores de aprovisionamiento suponen el cruce de ríos de gran importancia, como el Duero (para llevar los materiales del Domo del Tormes o del Batolito de Sayago hacia el centro de la cuenca) o el Esla (que hubo que cruzar para trasladar el material del Estefaniense de La Magdalena hasta Jabares de los Oteros). Descartado el cruce en las épocas de máximo caudal, tal vez se aprovecharon algunos vados que solamente pueden suponerse, ya que no habrá constancia documental de los mismos hasta tiempos mucho más recientes, medievales o modernos.
- D) Resulta especialmente interesante el aprovisionamiento de un mismo poblado desde zonas distintas. Así sucede en La Macañorra (Geria), donde hay molinos cuyos granitos proceden tanto del Domo del Tormes como del Batolito de Sayago. Como unos y otros pudieron llegar por un mismo camino, es más interesante aún el caso de Pico Castro (Dueñas), donde hay molinos de roca procedente tanto de la zona de La Pernía, al norte de la provincia palentina, como también del área zamorana de Sayago: un ejemplo más de la movilidad cogotense y la amplitud de las redes sociales.
- E) Al no haber, al menos hasta el presente, ningún yacimiento cogotense en las zonas más occidentales de León y más concretamente en El Bierzo, resulta altamente significativo el que uno de los molinos del castro de Ardón proceda del Plutón de Ponferrada, de donde se deriva un interrogante: ¿eran prospectores de Cogotas I quienes llegaban hasta esa zona de Ponferrada, o la extracción y transporte del material lítico corrían a cargo de gentes de una cultura arqueológica contemporánea, asentada en el Bierzo y aún desconocida?
- F) Bien diferente es el caso de la zona de La Magdalena donde aflora la arenisca estefaniense, pues en ella se encuentra el Castillo de Barrios de Luna, un lugar que, si no fue propiamente un yacimiento cogotense, al menos recibió alguna cerámica Proto Cogotas I (Celis Sánchez, 2000-1). Este yacimiento está a un par de horas de camino de la probable área-fuente propuesta para el molino de Jabares (JOV1).
- G) La pregunta antes formulada sobre los agentes mineros puede ser trasladada también a otro aprovechamiento del medio geológico, el de los minerales cupríferos. En el ámbito de Cogotas I se documentan no solo objetos bronceos, sino también la realización de actividades metalúrgicas en poblados cuyo contexto geológico exigía el abastecimiento desde zonas lejanas. De ellos cabe destacar especialmente tres de los aquí estudiados, los de Pico Castro de Dueñas, El Castro de Ardón y Carricastro en Tordesillas, en los que se han hallado moldes para fundir hachas, acompañados en los dos últimos por otros indicios de talleres bronceos, como lingotillos y goterones (Delibes *et al.*, 2007; Celis Sánchez, 2007). Pues bien, de cara a la localización de los veneros, en páginas anteriores ya se ha llamado la atención sobre la facilitadora coincidencia entre los afloramientos de minerales cupríferos y el de los granitoides de La Pernía, en el norte de Palencia, de donde procede uno de los molinos de Pico Castro (DPC1).
- H) Las distancias entre las posibles áreas de aprovisionamiento y los sitios arqueológicos en los que se encontraron los molinos graníticos parecen descartar, salvo en algunos casos, el abastecimiento directo, sobre todo teniendo en cuenta la nula o escasa disponibilidad de medios de transporte entre las gentes de Cogotas I (López-Plaza *et al.*, 2016). Más plausible resulta que la circulación del material lítico, en forma de bloques desbastados o de molinos ya labrados, se hiciese aprovechando la interrelación entre comunidades muy dispersas en el territorio.
- I) En un arriesgado ejercicio, que requeriría un efectivo más amplio, puede introducirse la cronología de los molinos: aunque no la conocemos con total seguridad, toda vez que algunos podrían haber tenido una larga utilización, parecería que hubo una distancia de aprovisionamiento algo menor en la fase Proto Cogotas I —a la que atribuimos los molinos de Fuentecén (FLE1), Jabares (JOV1),

Rábano (REL1) y Santillana (SCC1)— que en la fase de Plenitud, a la que corresponderían, con la mencionada reserva, los ocho ejemplares restantes, de Ardón, Dueñas, Geria y Tordesillas, así como los dos de Castronuño. Tal vez fuese más preciso concluir que la red de aprovisionamiento por la que fluyen los molinos es más amplia en la fase de Plenitud.

- J) En diversos yacimientos cogotenses del centro de la cuenca se han hallado algunos molinos hechos en rocas locales —por ejemplo, en Pico Castro (Dueñas) hay algunos realizados sobre ortoconglomerados y areniscas—, lo que podría dar pie a la suposición simplista de que las poblaciones de Cogotas I se regían por la “ley del mínimo esfuerzo”. Pero la reiterada presencia de molinos de procedencia lejana parece indicar más bien una conducta económica ‘incrustada’ en la esfera de las relaciones sociales, que tejen una complicada red intercomunitaria que facilitaría el establecimiento de alianzas en aras de la exogamia, de la ayuda mutua en caso de penuria, etc. Todavía no es posible dilucidar si el marco social era de jefaturas redistribuidoras o más bien de reciprocidad igualitaria, pero una observación sí parece significativa: aunque la presencia de molinos de procedencia lejana en grandes yacimientos emplazados en altura —El Castro (Ardón), Picos Castro (Dueñas) o Carriastro (Tordesillas)— pudiera apoyar la idea de unos poblados centrales con élites redistribuidoras, la aparición de molinos traídos también desde muy lejos en sitios muy sencillos y nada destacados en el paisaje, como La Macañorra (Geria), Las Vegas (Jabares) o Carrelasvegas (Santillana de Campos) pudiera interpretarse más bien en el sentido de un alcance generalizado. En cualquier caso, los resultados de este trabajo constituyen un importante y novedoso elemento de discusión.

## AGRADECIMIENTOS

Sin menoscabo de su exclusiva responsabilidad, los autores reconocen que el trabajo hubiera sido difícilmente concretado sin la información aportada por G. Gutiérrez-Alonso, J. Fernández-Suárez y L.G. Corretgé, ni tampoco sin la ayuda petrográfica de J.C. Gonzalo Corral y P. Franco González. También agradecen el esfuerzo analítico con la microsonda

de M. Ángel Fernández y algunos comentarios de J.R. Colmenero e I. Armenteros. Finalmente, los autores expresan su agradecimiento a C. Villaseca por la concienzuda revisión del manuscrito. Este trabajo es una aportación al proyecto HAR2013-43851-P, financiado por la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación (MINECO). La Consejería de Cultura de la Junta de Castilla y León autorizó el estudio de los materiales en los Museos de Burgos, León, Palencia, Salamanca y Valladolid, a cuyos directores y conservadores agradecemos las facilidades para el trabajo con los molinos, en el que fue muy importante la intervención de G. Delibes de Castro, J. Celis Sánchez, J. A. Rodríguez Marcos, A. Sánchez Polo y A. Bellido Blanco.

## Referencias

- Arranz Mínguez, J.A.; Gómez Pérez, A.; Sánchez Simón, M. & Bellido Blanco, A. (1993). El Teso de La Macañorra, un poblado de la Edad del Bronce en la cuenca media del Duero. *Numantia. Arqueología en Castilla y León*, 4: 75–92.
- Bakken, K.E. (2011). *Lithic Raw Material Use Patterns in Minnesota*. PhD Thesis, Faculty of the Graduate School of the University of Minnesota, 543 pp.
- Barrientos, G.; Catella, L. & Oliva, F. (2015). The spatial structure of lithic landscapes: the late Holocene record of east-central Argentina as a case study. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 22(4): 1151–1192. <http://doi.org/10.1007/s10816-014-9220-0>.
- Bea, F. (1996). Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths; Implications for the chemistry of crustal melts. *Journal of Petrology*, 37 (3): 521–552. <https://doi.org/10.1093/petrology/37.3.521>.
- Bea, F., Sánchez González de Herrero, J.G. & Serrano Pinto, M. (1988). Una compilación geoquímica (elementos mayores) para los granitoides del Macizo Hespérico. In: *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico* (F. Bea, A. Carnicero, J.C. Gonzalo, M. López Plaza & M.D. Rodríguez Alonso, Eds.), Rueda, Madrid, 87–193.
- Bellido, F.; Capote, R.; Casquet, C.; Fuster, J.M.; Navidad, M.; Peinado, M. & Villaseca, C. (1981). Caracteres generales del cinturón hercínico en el sector oriental del Sistema Central español. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 7: 15–52.
- Blanco González, A. (2014) Sitios en altura y vasijas rotas: reconsiderando la etapa de ‘plenitud’ de Cogotas I (1450–1150 cal AC) en la Meseta. *Trabajos de Prehistoria*, 71(2): 305–329. <https://doi.org/10.3989/tp.2014.12136>
- Blasco, M<sup>a</sup> C. ; Blanco, J.F.; Liesau, C.; Carrión, E. ; García, J. ; Baena, J.; Quero, S. y Rodríguez de la Esperanza, M.<sup>a</sup> J. (2007): El Bronce Medio y Final en la región de Madrid. El poblado de la Fábrica de Ladriillos (Getafe, Madrid). Comunidad de Madrid, Madrid. *Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas*, 14–15.

- Capdevila, R. (1969). Le métamorphisme régional progressif et les granites dans le segment hercynien de Galice Nord-oriental (NW de l'Espagne). Tesis Doctoral, Université de Montpellier, 430 pp.
- Castro, A. & Corretgé, L.G. (2002). Variscan Granites. In: *The Geology of Spain* (W. Gibbons & T. Moreno, Eds.). Geological Society, London, 129–136.
- Castro, A., Corretgé, L.G.; De la Rosa, J.D.; Fernández, C.; López, S.; García-Moreno, O. & Chacón, H. (2003). The Appinite-Migmatite Complex of Sanabria, NW Iberian Massif, Spain. *Journal of Petrology*, 44: 1309–1344.
- Catella, L.; Barrientos, G. & Oliva, F. (2017). La identificación del uso de fuentes secundarias de materiales líticos asistida por SIG: el Arroyo Chasicó (Argentina) como caso de estudio. *Estudios Geológicos*, 73(1), <https://doi.org/10.3989/egeol.42720.441>
- Celis Sánchez, J. (2000–2001). El Castillo de los Barrios de Luna. Un yacimiento del Bronce Inicial-Medio en el occidente de la cordillera cantábrica. *Lancia*, 4: 85–102.
- Celis Sánchez, J. (2007). El contexto cultural del depósito de Valdevimbre. El Bronce Final en el Noroeste de la Meseta. In: *El hallazgo leonés de Valdevimbre y los depósitos del Bronce Final Atlántico en la Península Ibérica*. Instituto Leonés de Cultura/Junta de Castilla y León, León, 133–167.
- Colmenero, J.; Suárez-Ruiz, I.; Fernández-Suárez, J.; Barba, P. & Llorens, T. (2008). Genesis and rank distribution of Upper Carboniferous coal basins in the Cantabrian Mountains, Northern Spain. *International Journal of Coal Geology*, 76: 187–204.
- Corretgé, L. G.; Cienfuegos, I.; Cuesta, A.; Galán, G.; Montero, P.; Rodríguez Pevida, S.; Suárez, O. & Villa, L. (1987). Granitoides de la Región Palentina (Cordillera Cantábrica, España). IX Reunión Geología Oeste Peninsular, Universidade do Porto, Memorias nº 1: 469–501.
- Corretgé, L.G.; Suárez, O.; Galán, G. & Fernández Suárez, J. (2004). Magmatismo. In: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed). SGE-IGME, Madrid, 63–68.
- Crespo Díez, M. & Herrán Martínez, J.I. (2012). Primera intervención arqueológica en el yacimiento de la Edad del Bronce de Carricastro (Tordesillas, Valladolid). In: *Cogotas I: una cultura de la Edad del Bronce en la Península Ibérica* (J. A. Rodríguez Marcos & J. Fernández Manzano, eds.). Universidad de Valladolid, Valladolid, 377–395.
- Crespo Díez, M.; Herrán Martínez, J. I. & Puente Aparicio, M.<sup>a</sup> J. (2005): Intervención Arqueológica en el Pico Castro, Dueñas, Palencia. Informe técnico depositado en el Servicio Territorial de Cultura de la Junta de Castilla y León. Palencia. (2 vols)
- Debon, F. & Le Fort, P. (1983). A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 73: 135–149.
- Deer, W. A.; Howie, R. A. & Zussman, J. (1962). *Rock forming minerals*. Longman, London.
- De La Roche, H.; Leterrier, J.; Grandclaude, P. & Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2 diagram and major-element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29: 183–210.
- Delibes, G., Fernández, J. & Herrán, J. I. (2007). Los bronzes de Valdevimbre y la metalurgia Cogotas I. In: *El hallazgo leonés de Valdevimbre y los depósitos del Bronce Final Atlántico en la Península Ibérica*. Instituto Leonés de Cultura/Junta de Castilla y León, León, 106–131.
- Diez Balda, M.A., Vegas, R. & González Lodeiro, F. (1990). Central-Iberian Zone. Autochthonous Sequences. Structure. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (R.D. Dallmeyer & E. Martínez García, Eds.), Springer-Verlag, Berlin, 172–188.
- Diez Montes, A. (2007). La geología del Dominio “Ollo de Sapo” en las comarcas de Sanabria y Terra do Bolo. Área de Xeología e Minería do Seminario de Estudos Galegos, A Coruña (Serie Nova Terra 34). 506 pp.
- El Bouseily, A.M. & El Sokkary, A.A. (1975). The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, 16: 207–219.
- Evensen, M.M.; Hamilton, P.J. & O'niions, R.K. (1978). Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42: 1199–1212.
- Fernández-Suárez, J. (1994). *Petrología de los granitos peraluminicos y metamorfismo de la banda Boal-Los Ancares*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 418 pp.
- Fernández-Suárez, J.; Suárez, O. & Corretgé, L.G. (1992). Composición y significado petrológico de las Biotitas y Moscovitas de los Granitoides de la banda metamórfica Boal-Los Ancares (Zona Asturoccidental Leonesa). *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 17: 293–308.
- Gallastegui, G. (2002). Estudio geológico aplicado a la investigación de recursos minerales y materias primas en las comarcas de El Bierzo, La Cabrera, Sanabria y Valdeorras. *Mineralogía y geoquímica de rocas ígneas*. IGME, Madrid. 44 pp.
- González-Montero, M. P.; Corretgé, L. G.; Suárez, O. & Cuesta, A. (1989). Las rocas ígneas de Estalaya (Palencia) y los skarns asociados. *Geogaceta*, 6: 23–25.
- IGME (1976). Mapa geológico 1:50.000 y memoria de la Hoja 158, Ponferrada.
- IGME (1982). Mapa geológico 1:50.000 y memoria de la Hoja 368, Carbajales de Alba.
- IGME (2004). Mapa geológico 1:50.000 y memoria de la Hoja 458, Prádena.
- IGME (2005). Mapa geológico 1:50.000 y memoria de la Hoja 459, Tamajón.
- IGME (2007). Mapa geológico 1:50.000 y memoria de la Hoja 430, Cantalejo.

- López-Moro, F.J. (2000). Las rocas plutónicas calcoalcalinas y shoshoníticas del domo varisco del Tormes (Centro-Oeste español). Estudio mineralógico, geoquímico y petrogenético. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca, 441 pp.
- López-Moro, F.J.; López-Plaza, M. & Romer, R. L. (2011). Generation and emplacement of shear-related highly mobile crustal melts: the synkinematic leucogranites from the Variscan Tormes Dome, Western Spain. *International Journal of Earth Sciences*, 101: 1273–1298.
- López-Plaza, M.; López-Moro, F.J.; Vicente-Tavera, S. & Vicente-Villardón, J.L. (2008). Los leucogranitos equigranulares del Domo del Tormes (Zona Centro Ibérica): discriminación geoquímica mediante Biplot Canónico y significado petrogénico. *e-Terra*, 5(4): 1–16.
- López-Plaza, M.; Molina, E.; López-Moro, F.J. & García Talegón, J. (2012). Los granitos silicificados del E de Sayago (Zamora). In: De los plutones a los monumentos: Un recorrido temático por la piedra del este de Sayago (Zamora) (López-Moro, F.J. et al., Eds.). Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo, Zamora, 17–30.
- López-Plaza, M., López-Moro, F.J. & Esparza Arroyo, A. (2016). Procedencia del material granítico de los molinos de vaivén prehistóricos: el caso del yacimiento Cogotas I de Arroyo Mucientes-San Lázaro (Castronuño, Valladolid) y propuesta de una marcha metodológica general. *Complutum*, 27 (1): 63–79.
- López Plaza, M<sup>a</sup>. S.; López-Plaza, M. & López-Moro, F.J. (2008). Los factores litológicos como indicadores del paisaje en el megalitismo de la penillanura salmantina (centro-oeste de España). *Zephyrus*, 61: 107–130. <http://hdl.handle.net/10366/70575>
- Luedtke, B. (1979). The identification of sources of chert artifacts. *American Antiquity*, 44: 744–756. <https://doi.org/10.2307/279116>
- Martín Carbajo, M.A.; Misiego Tejada, J.C.; Pérez Rodríguez, F.J.; Fernández Giménez, J.M.; Sanz García, F.J. & Marcos Contreras, G.J. (1993). Documento funerario del Bronce Medio en la Submeseta Norte: Carrelasvegas (Santillana de Campos, Palencia). *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 59: 69–83.
- Martin Izard, A.; Palero Fernández, F. J.; Reguilón Bragado, R. & Vindel Catena, E. (1986). El skarn de Carracedo (San Salvador de Cantamuda). Un ejemplo de mineralización pirometasomática en el N. de la provincia de Palencia. *Studia Geologica*, 23: 171–192.
- Miller, C.F.; Stoddard, E.F.; Bradfish, L.J. & Dollase, W.A. (1981). Composition of plutonic muscovite: Genetic implications. *Canadian Mineralogist*, 19: 25–34.
- Monier, G.; Mergoïl-Daniel, J. & Labernardiere, H. (1984). Générations successives de muscovites et feldspaths potassiques dans les leucogranites du massif de Millevaches (Massif Central Français). *Bulletin de Minéralogie*, 107: 55–68.
- Nachit, H.; Razafimahefa, N.; Stussi, J.M. & Carron, J.P. (1985). Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série II*, 301, 11: 813–818.
- Navidad, M. & Bea, F. (2004). El magmatismo prevarisco. In: Vera, J.A. (Ed.), *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 92–96.
- Navidad, M. & Peinado, M. (1981). Ortogneises y metasedimentos de la formación infrabasal al Olló de Sapo (Macizo de Hiendelaencina, Guadarrama oriental). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 7: 183–199.
- Navidad, M.; Peinado, M. & Casillas, R. (1992). El magmatismo pre-Hercínico del Centro Peninsular (Sistema Central Español). In: *Paleozoico Inferior de Iberoamérica* (eds J. C. Gutiérrez-Marco, J. Saavedra & I. Rábano), Universidad de Extremadura, Badajoz: 485–494.
- Palomino Lázaro, A.L. & Rodríguez Marcos, J.A. (1994): El yacimiento arqueológico de “Las Empedradas”: un enclave del Bronce Medio en la Ribera del Duero burgalesa. *Numantia. Arqueología en Castilla y León*, 5: 59–71.
- Pastor-Galán, D.; Gutiérrez-Alonso, G.; Fernández-Suárez, J.; Brendan Murphy, J. & Nieto, F. (2013). Tectonic evolution of NW Iberia during the Paleozoic inferred from the geochemical record of detrital rocks in the Cantabrian Zone. *Lithos*, 182–183: 211–228. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.09.007>
- Rodríguez Marcos, J. A. (2008): Estudio secuencial de la Edad del Bronce en la Ribera del Duero (provincia de Valladolid). Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Rodríguez Marcos, J. A.; Marcos Contreras, G.J.; Martín Carbajo, M.A.; Misiego Tejada, J.C. & Sanz García, F. J. (1999). Excavaciones arqueológicas en ‘Las Vegas’ (Jabares de los Oteros), un yacimiento arqueológico del Horizonte Protocogotas I en la provincia de León. In: *Protección del patrimonio cultural y obras públicas. Actuaciones arqueológicas en la autopista del camino de Santiago (1994–1997)* (J. M. Vidal Encinas, ed.). GICAL-Junta de Castilla y León, León, 48–70.
- Rubio Pascual, F. J. (2013). Evolución tectonotermal varisca del Sistema Central en Somosierra (Honrubia). Universidad de La Coruña, Nova Terra: 1–364.
- Ruiz Taboada, A. & Andonaegui, P. (1995). Movilidad e intercambio durante la Edad del Bronce en la Meseta Sur. *Férvedes*, 2: 59–69.
- Sánchez-Polo, A. (2011). Aproximación espacial a una composición decorativa en cerámicas de Cogotas I. In: *Los vínculos entre el hábitat y el paisaje: actas del I Congreso de Arqueología de Chamartín (Avila)* (López García, J. P., Hernández Sánchez, D. & García Sánchez, J., coords.). La Ergástula, Madrid, 105–116.

- Santamaría, J. & Robles Casas, R. (1990). Algunas aportaciones al conocimiento tecto-sedimentario del Carbonífero de "El Bierzo" (León). *Geogaceta*, 8: 68–69.
- SIEMCALSA (1997). Mapa Geológico de Castilla y León (1997). Escala 1: 400.000. Ed. SIEMCALSA (coord. Crespo Ramón, J.L.). Valladolid. 459 pp.
- Streckeisen, A.L. & LeMaitre, R.W. (1979). Chemical approximation to modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 136: 169–206.
- Suárez, O. & Corretgé, L. G. (1988). Plutonismo y metamorfismo en las Zonas Cantábrica y Astur-Occidental Leonesa. In: *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Ibérico* (F. Bea; A. Carnicero; J. C. Gonzalo; M. López Plaza & M. D. Rodríguez Alonso, Eds.), Rueda, Madrid, 13–26.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Pub., Palo Alto, CA.
- Thompson, R.N. (1982). Magmatism of the British Tertiary province. *Scottish Journal of Geology*, 18: 49–107.
- Truyols Santonja, J. (1983). El Carbonífero superior al Oeste de la Región de Picos de Europa. In: *Carbonífero y Pérmico de España* (Martínez Díaz, C., Ed.). X Congreso Internacional de Estratigrafía y Geología del Carbonífero. IGME, Madrid, 95–105.
- Tulloch, A. J. (1979). Secondary Ca-Al silicates as low-grade alteration products of granitoid biotite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 2: 105–117.
- Villaseca, C.; Merino Martínez, E.; Orejana, D.; Andersen, T. & Belousova, E. (2016). Zircon Hf signatures from granitic orthogneisses of the Spanish Central System: Significance and sources of the Cambro-Ordovician magmatism in the Iberian Variscan Belt. *Gondwana Research*, 34: 60–83.
- Villaseca, C. & Herreros, V. (2000). A sustained felsic magmatic system: the Hercynian granitic batholith of the Spanish Central System. *Transactions of the Royal Society of Edimburg: Earth Sciences*, 91L: 207–219.
- Villaseca, C.; Barbero, L. & Herreros, V. (1998). A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. *Transactions of the Royal Society of Edimburg: Earth Sciences*, 89: 113–119.
- Wedepohl, K. H. (1978). *Handbook of Geochemistry*, 2/3. Springer, Berlin.