

Evidencia geoquímica de un área fuente común para las pelitas del Neoproterozoico Superior-Cámbrico Inferior en las Zonas Asturoccidental Leonesa, Cantábrica y Centro Ibérica.

Geochemical evidence for a common source area for the Upper Neoproterozoic-Lower Cambrian shales in the West Asturian-Leonese, Cantabrian and Central Iberian Zones.

J.M. Ugidos, P. Barba y M.I. Valladares

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008, Salamanca.

ABSTRACT

The Upper Neoproterozoic shales of the West Asturian-Leonese and Cantabrian Zones are geochemically very homogeneous and show similar mean contents of Zr, Hf, Nb, rare earth elements, Y, Th, U, V, Cr, Co and Ni and element ratios such as Al_2O_3/TiO_2 , Rb/Zr, (La/Yb)_n, Th/Yb, Ti/Zr, and Ti/Nb. The Lower Cambrian shales in the same Zones are not as homogeneous although their Al_2O_3/TiO_2 , Rb/Zr, (La/Yb)_n, Th/Yb, Ti/Zr, and Cr/Zr average ratios are systematically higher, and the Ti/Nb ratio lower, than those of the Upper Neoproterozoic rocks. These distinctive features are coincident with those of the corresponding shales in the Central Iberian Zone. Thus, the geochemical data strongly support the notion that all three Zones shared a very extensive and homogeneous source area.

Key words: shales, geochemistry, Upper Neoproterozoic, Lower Cambrian, North Spain.

Geogaceta, 36 (2004), 23-26
ISSN:0213683X

Introducción

En los últimos años se ha logrado un buen conocimiento de las características estratigráficas y geoquímicas de los materiales siliciclásticos del Neoproterozoico Superior (NPS) y del Cámbrico Inferior (CI) de la Zona Centro Ibérica (ZCI) (Valladares *et al.*, 2000, 2002; Ugidos *et al.*, 2003a,b; referencias en estos autores). Entre los aspectos más relevantes destacan: 1) La presencia de una discontinuidad estratigráfica que corresponde a un importante descenso del nivel del mar a final del NPS y separa las unidades sedimentarias del NPS y del CI. Como consecuencia directa del cambio del nivel del mar y posible exposición subaérea y retrabajado de sedimentos ya acumulados las areniscas y pelitas del CI basal muestran una gran madurez química y también una importante redistribución de elementos traza como Zr, Th, U, Y y tierras raras (ETR). 2) El uso combinado de varios parámetros químicos como los contenidos en algunos elementos (Ti, Zr) y de varias relaciones elementales (Ti/Nb, Rb/Zr, etc.) permite separar las rocas detríticas de NPS de las del CI. 3) Los resultados isotópicos de Sm-Nd permiten igualmente la discriminación entre ambos conjuntos de materiales siliciclásticos y revelan la presencia de un componente

juvenil en los sedimentos del NPS que se reduce notablemente o falta en los sedimentos del CI. 4) Los datos de campo, estratigráficos, petrológicos y geoquímicos apoyan, consistentemente, que el área fuente de la sucesión sedimentaria Precámbrico-Cámbrica en la ZCI ha sido un contexto continental estable de una gran extensión y muy homogéneo. A fin de ampliar el conocimiento sobre el registro Precámbrico-Cámbrico y de comprobar si los resultados obtenidos en la ZCI son comunes a otras áreas peninsulares se inicia, con el presente trabajo, el estudio de los materiales detríticos equivalentes en las Zonas Asturoccidental Leonesa (ZAOL) y Cantábrica (ZC) en el que se comparan los resultados geoquímicos de las rocas siliciclásticas de estas zonas con los de rocas equivalentes en la ZCI.

Contexto geológico

Rocas de edad Precámbrica afloran en el núcleo del Antiforme del Narcea, en el límite entre ZC y ZAOL, mientras que en sus flancos, este (ZC) y oeste (ZAOL), se encuentran discordantes rocas de edad Cámbrica (Fig. 1). Las rocas precámbricas, conocidas como Pizarras de Narcea (Lotze, 1956), están constituidas por una sucesión de 1000-2000 m de espesor de pizarras y areniscas alternando, con inter-

calaciones de niveles porfídicos en la parte inferior (Pérez Estaún, 1973) y niveles de microconglomerados (Marcos, 1973).

En ambos flancos del Antiforme del Narcea las Fms. Herrería/Cándana (Comte, 1937; Lotze, 1961) del Cámbrico Inferior aparecen discordantes sobre las Pizarras de Narcea y esa discordancia está acentuada por una zona de meteorización de color rojo de 10-25 m de espesor (van den Bosch, 1969) que corresponde a una paleoalteración debida a exposición subaérea. Las Fms. Herrería/Cándana son fundamentalmente areniscas, entre las que se intercalan niveles de conglomerados sobre todo hacia la base, pizarras y dolomías (Lotze, 1961; Aramburu *et al.*, 1992) con espesores de 900-1700 m en el este y hasta 2500 m en el oeste del antiforme.

Para este trabajo, se estudian muestras de pelitas precámbricas tanto en ZC como en ZAOL. Las muestras de pelitas cámbricas son de todo el flanco este del antiforme (ZC, Asturias y León) y de la parte asturiana del flanco oeste (ZAOL).

Geoquímica

Los valores medios de los distintos tipos de pelitas en ZAOL y ZC se exponen en la Tabla 1. Se incluyen en esta Tabla los valores medios de 22 pelitas

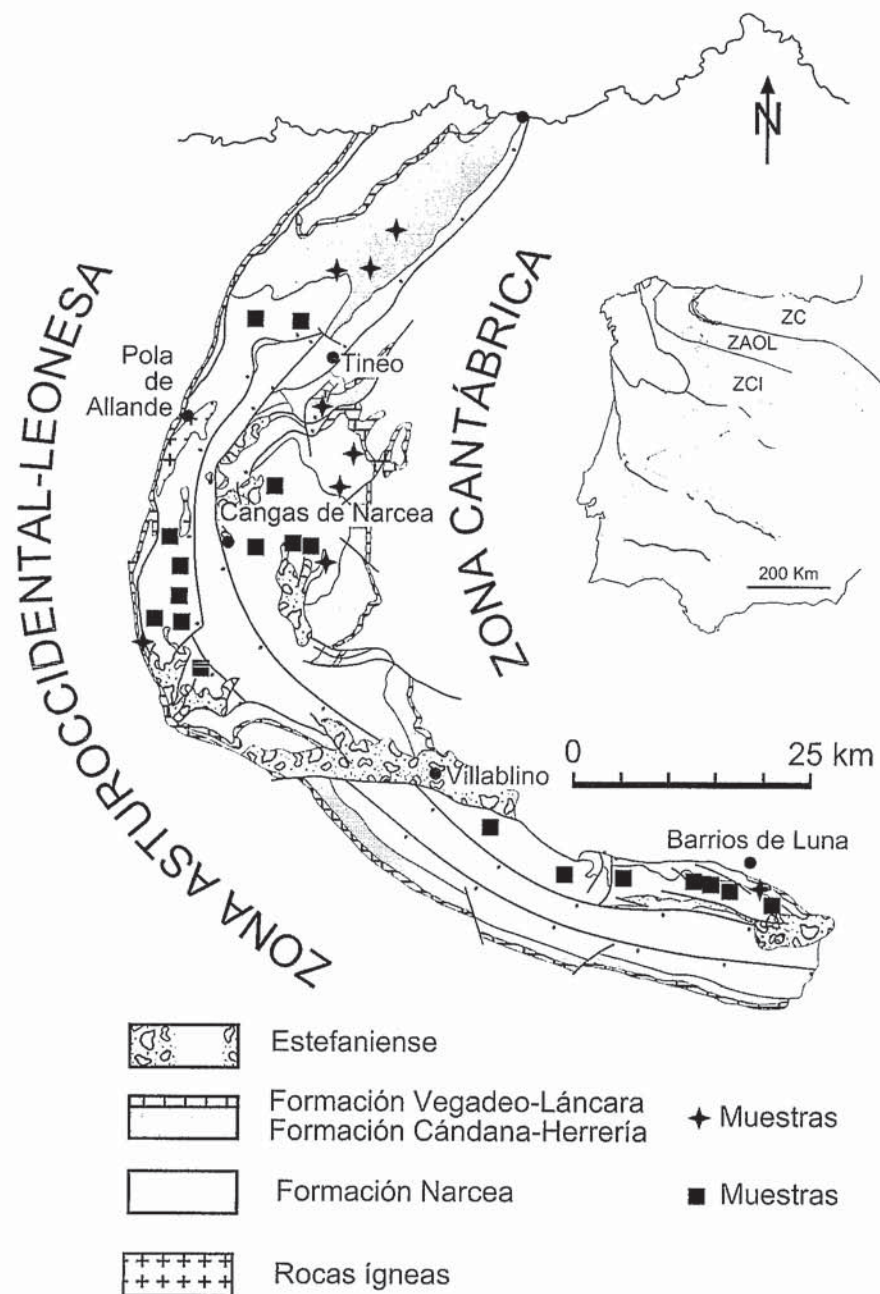


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado con situación de las muestras: estrellas (Fm. Cándana-Herrería); cuadrados (Fm. Narcea)

Fig. 1.- Simplified geological map. Sample locations: stars (Cándana-Herrería Fm.); squares (Narcea Fm.).

precámbricas y 21 cámbricas de la ZCI, cuyas posiciones en el registro estratigráfico han sido bien establecidas, con la finalidad de comparar las características geoquímicas de las shales de las tres Zonas. Destacan en esta Tabla las relativamente bajas desviaciones estándar de los elementos mayores y de la mayor parte de los elementos traza, en todas las pelitas precámbricas. Atendiendo a los valores medios de las abundancias de casi todos los elementos traza (especialmente: ETR, Zr, Hf, Th, U, V, Nb, Cr, Co, Ni) las pelitas de ZAOL y ZC no son distinguibles entre sí. Comparadas con la

correspondiente pelita media de la ZCI puede apreciarse que, con la excepción de contenidos en CaO y Na₂O, algo más altos en las pelitas de ZAOL y ZC, el resto de datos son muy similares o incluso idénticos como es el caso de ETR. Los valores medios de relaciones elementales como Rb/Zr, (La/Yb)_n, Th/Yb, Ti/Zr, Ti/Nb, y Al₂O₃/TiO₂ son también muy similares en todos los grupos de pelitas del NPS.

Las pelitas cámbricas de ZAOL y ZC son también muy similares aunque muestran algunas diferencias menores (inferiores al 10% en general) en sus composi-

ciones medias. Comparadas con la pelita media de la ZCI muestran algunas diferencias en las abundancias de elementos mayores (p. ej., en CaO, Na₂O, K₂O, MgO) y diferencias en algunos elementos traza no superiores a las que se aprecian en la comparación entre las pelitas de ZAOL y ZC. Relaciones elementales como Rb/Zr, (La/Yb)_n, Ti/Zr, Ti/Nb, Cr/Zr y Al₂O₃/TiO₂ son similares en las tres pelitas medias (Tabla 1).

La comparación entre pelitas del NPS y CI muestra que ambos grupos tienen características que los hacen fácilmente distinguibles en las tres Zonas y muchas de estas características son comunes a todas ellas. A pesar de la relativa movilidad de elementos como calcio y sodio, los datos de CaO y Na₂O separan las pelitas Precámbricas de las Cámbricas en el caso de ZAOL y ZC (Fig. 2a) aunque esta distinción no es aparente en la ZCI. Se resalta el hecho de que el Cámbrico de la ZCI tiene dos poblaciones de pelitas, una de las cuales, caracterizada por sus bajos contenidos en CaO y Na₂O, coincide con las pelitas cámbricas de ZAOL y ZC (Fig. 2a).

Destaca también el relativamente elevado contenido en Na₂O de las pelitas del NPS de la ZAOL respecto a los contenidos en las pelitas equivalentes de las otras Zonas. Otro rasgo distintivo es que para un mismo contenido en SiO₂ la abundancia de P₂O₅ es mayor en las pelitas del NPS que en las del CI (Fig. 2b). Este aspecto no se evidencia en la ZCI (datos no representados). En términos generales las pelitas del NPS muestran valores medios de Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na y P más altos que los de las pelitas del CI, mientras que éstas tienen mayores contenidos en K (Tabla 1). En cuanto a los elementos traza se destaca que las abundancias de Zr son sistemáticamente más altas en NPS que en CI (Tabla 1). Los valores medios de relaciones elementales como (La/Yb)_n, Th/Yb, Rb/Zr, Ti/Zr, Cr/Zr y Al₂O₃/TiO₂ son sistemáticamente más altos en las pelitas cámbricas mientras que los valores medios de Ti/Nb son más altos en las pelitas precámbricas (Tabla 1). Varios diagramas discriminan entre las pelitas del NPS y las del CI (Fig. 2cd) en todas las Zonas.

Discusión

La homogeneidad geoquímica de las pelitas del NPS en las Zonas consideradas es realmente extraordinaria. Tal homogeneidad en una extensión tan enorme como es la ocupada por los materiales detríticos del NPS (decenas de miles de

km²) sólo puede originarse por reciclado sedimentario, lo cual implica que su área de procedencia estaba constituida fundamentalmente por materiales detríticos. Datos como la madurez química de estos sedimentos (relativamente bajos contenidos en CaO y Na₂O) y la homogeneidad de sus contenidos en elementos traza (ETR, Y, Zr) y de relaciones elementales, muy sensibles a posibles contribuciones juveniles, apoyan que todas las Zonas han compartido una misma área fuente y no favorecen la interpretación de una contribución magmática significativa contemporánea con la sedimentación.

Las pelitas cámbricas de las tres Zonas tienen una notable afinidad geoquímica aunque no son tan homogéneas como las precámbricas. Sin embargo, datos en la ZCI ponen de manifiesto que el descenso del nivel del mar a finales del NPS han causado una alteración intensa de los sedimentos afectados, lo que ha reducido sus contenidos en CaO y Na₂O y redistribuido algunos elementos traza (v. introducción). Los datos químicos de las pelitas cámbricas en ZAOL y ZC no son tan completos como en la ZCI. Sin embargo en las dos primeras destaca la presencia de materiales precámbricos que muestran evidencia de paleoalteración (tonalidades rojizas en rocas precámbricas inmediatamente subyacentes a las cámbricas) en muchas localidades. Las pelitas afectadas por dicha alteración tienen contenidos de CaO y Na₂O muy bajos (similares a los de las pelitas cámbricas en ZAOL y ZC) y se aprecia también modificación de los contenidos en algunos elementos traza, como es el caso de ETR, Y, Th y U respecto a los contenidos medios de las pelitas no alteradas (trabajo en preparación). Dadas las similitudes de estas características con las registradas en la ZCI se sugiere que en ambos casos las alteraciones están relacionadas con el descenso del nivel del mar al que se ha hecho referencia en la introducción y los efectos de este episodio se registran por tanto en ZCI, ZAOL y ZC.

Además, datos isotópicos de Sm-Nd de diversos autores (v. discusión en Ugidos *et al.*, 2003b) son muy homogéneos y definen también edades modelo diferentes para las rocas detríticas precámbricas y cámbricas, al mismo tiempo que ponen de manifiesto los efectos de la alteración en el sistema Sm-Nd de los sedimentos afectados.

Teniendo en cuenta todos los aspectos citados es patente que los resultados de ZAOL y ZC, son consistentes con los de ZCI y en consecuencia las tres Zonas

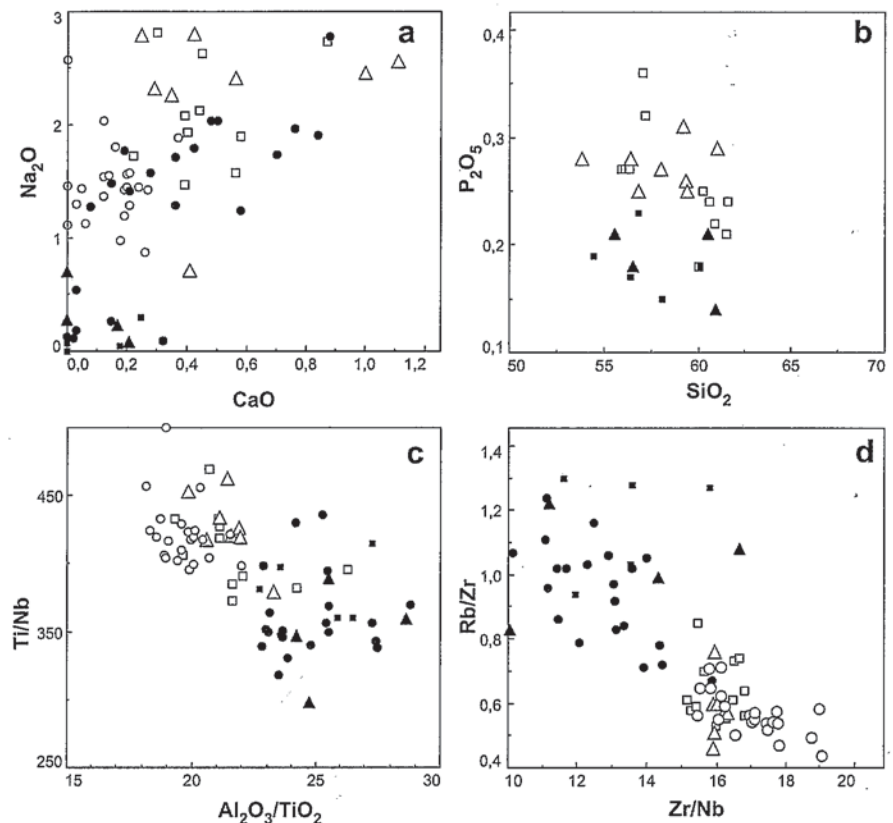


Fig. 2.- Diagramas de las pelitas cámbricas (símbolos en negro) y precámbricas (símbolos en blanco). Triángulos: ZAOL. Cuadrados: ZC. Círculos: ZCI. V. texto.

Fig. 2.- Plots of cambrian (solid symbols) and precambrian (open symbols) shales. Triangles: ZAOL. Squares: ZC. Circles: ZCI. See text.

han debido compartir una misma área fuente muy extensa, estable y muy homogénea. Estos resultados no son compatibles con contribuciones volcánicas contemporáneas con la sedimentación.

Sin embargo, datos de campo, petrológicos y geoquímicos demuestran que intercalados en sedimentos del NPS en Cudillero y en el área de Tineo se encuentran rocas volcánicas (coladas de lava y niveles epi y piroclásticos) que varían de riolitas a basaltos y andesitas basálticas de afinidad calcoalcalina (Nieto-Fernández *et al.*, 1998; Cuesta *et al.*, 2003). Igualmente, en la base del Cámbrico, en las localidades de Miedes-La Rideja, se ha señalado la presencia de cañtos de tipo riolítico (Parga y Luque, 1971; Cuesta *et al.*, 2004, este volumen).

Los resultados son, entonces, aparentemente contradictorios: evidencia de reciclado sedimentario y gran homogeneidad geoquímica de los materiales detríticos, al mismo tiempo que se registran episodios volcánicos intercalados entre estos materiales. Un mejor conocimiento de la estratigrafía de la región y un mayor número de datos

geoquímicos son necesarios para resolver la aparente contradicción. No obstante, se indica que, probablemente, las rocas volcánicas corresponden a episodios magmáticos de extensión reducida y escasa duración. Un volumen significativo de material volcánico en el Precámbrico terminal debería reflejarse en los sedimentos detríticos del Cámbrico inferior. Sin embargo, datos isotópicos de Sm-Nd indican un notable incremento de material cortical antiguo en dichos sedimentos en lugar de un incremento en material juvenil (Nägler *et al.*, 1995; Ugidos *et al.*, 2003b).

Conclusiones

Las características geoquímicas de las pelitas de las Zonas Centro Ibérica, Astur-Occidental Leonesa y Cantábrica son coincidentes y sugieren que las tres Zonas han tenido la misma área fuente durante el Neoproterozoico Superior y el Cámbrico Inferior.

La gran homogeneidad geoquímica de los sedimentos detríticos de dichas Zonas refleja la de su área fuente. Esta, por lo tanto, debió de ser muy extensa,

	C ZCI		PC ZCI		C CANT		C ZAOL		PC CANT		PC ZAOL	
	n=21	d. est.	n=22	d. est.	n=5	d. est.	n=4	d. est.	n=11	d. est.	n=8	d. est.
SiO ₂	58,81	(1,48)	59,49	(1,76)	57,19	(2,10)	58,41	(2,73)	58,86	(2,30)	58,01	(2,25)
TiO ₂	0,80	(0,07)	1,01	(0,06)	0,87	(0,07)	0,80	(0,07)	0,87	(0,10)	0,90	(0,07)
Al ₂ O ₃	19,75	(1,01)	19,84	(0,96)	21,83	(1,34)	20,51	(1,63)	18,75	(0,78)	19,29	(1,17)
Fe ₂ O ₃	7,06	(0,71)	7,17	(0,56)	4,40	(1,63)	6,62	(1,38)	7,28	(0,94)	7,49	(0,51)
MgO	2,75	(0,27)	2,41	(0,21)	1,93	(0,74)	2,90	(1,33)	3,10	(0,52)	3,52	(0,59)
CaO	0,35	(0,27)	0,15	(0,10)	0,22	(0,05)	0,19	(0,03)	0,46	(0,18)	0,55	(0,33)
Na ₂ O	1,30	(0,76)	1,47	(0,36)	0,14	(0,14)	0,32	(0,27)	2,10	(0,48)	2,29	(0,67)
K ₂ O	3,88	(0,47)	3,76	(0,38)	8,17	(1,31)	5,67	(0,32)	4,02	(0,75)	3,66	(0,59)
P ₂ O ₅	0,16	(0,05)	0,19	(0,05)	0,18	(0,03)	0,19	(0,03)	0,26	(0,05)	0,27	(0,02)
LOI	4,82	(1,35)	4,18	(0,54)	5,09	(0,38)	4,30	(0,69)	4,41	(0,73)	4,07	(0,84)
Rb	158	(24,64)	136	(12,74)	210	(37,78)	181	(23,14)	132	(19,98)	118	(18,30)
Sr	84	(35,69)	81	(21,68)	53	(10,61)	34	(11,34)	67	(29,50)	95	(23,25)
Ba	720	(87,90)	713	(83,31)	611	(206,6)	511	(318,3)	702	(187,8)	653	(116,7)
La	42,69	(12,18)	42,09	(6,20)	50,58	(5,38)	45,68	(11,56)	42,18	(6,02)	42,42	(4,47)
Ce	80,89	(22,25)	86,98	(12,28)	99,45	(7,55)	91,32	(20,45)	86,00	(10,85)	84,53	(8,50)
Pr	10,40	(3,23)	10,57	(1,46)	11,64	(0,48)	10,98	(2,11)	10,66	(1,50)	10,66	(1,03)
Nd	40,29	(13,65)	41,50	(6,31)	43,39	(1,21)	41,39	(7,06)	41,65	(5,98)	41,55	(4,04)
Sm	8,08	(3,12)	8,50	(1,36)	8,56	(0,61)	8,14	(0,92)	8,46	(1,23)	8,56	(0,82)
Eu	1,69	(0,62)	1,77	(0,24)	1,78	(0,18)	1,60	(0,14)	1,75	(0,35)	1,77	(0,21)
Gd	6,69	(2,66)	6,94	(1,25)	7,50	(0,92)	6,68	(0,63)	7,16	(1,07)	7,42	(0,87)
Tb	1,03	(0,37)	1,07	(0,18)	1,19	(0,16)	1,05	(0,10)	1,09	(0,15)	1,15	(0,14)
Dy	5,83	(1,74)	6,38	(1,06)	7,20	(1,10)	6,12	(0,63)	6,37	(0,96)	6,80	(0,89)
Ho	1,21	(0,31)	1,36	(0,26)	1,42	(0,25)	1,20	(0,11)	1,27	(0,15)	1,33	(0,21)
Er	3,14	(0,75)	3,61	(0,58)	4,08	(0,74)	3,44	(0,31)	3,48	(0,46)	3,77	(0,60)
Tm	0,49	(0,10)	0,56	(0,08)	0,62	(0,10)	0,52	(0,05)	0,54	(0,05)	0,55	(0,08)
Yb	3,26	(0,68)	3,77	(0,41)	4,16	(0,71)	3,61	(0,32)	3,55	(0,35)	3,79	(0,54)
Lu	0,50	(0,10)	0,57	(0,05)	0,63	(0,10)	0,55	(0,04)	0,56	(0,04)	0,58	(0,08)
Y	33	(7,34)	36	(5,84)	41	(7,22)	35	(2,33)	37	(6,03)	39	(8,10)
Zr	169	(20,76)	242	(16,05)	181	(20,16)	177	(9,48)	204	(14,41)	203	(7,55)
Hf	4,6	(0,63)	6,7	(0,58)	5,1	(0,64)	5,0	(0,27)	5,6	(0,39)	5,6	(0,20)
Th	13,4	(2,06)	13,0	(1,26)	14,9	(0,94)	14,4	(2,17)	12,9	(1,19)	12,4	(0,89)
U	3,7	(0,65)	3,7	(0,34)	4,0	(0,59)	3,8	(0,32)	3,7	(0,37)	3,4	(0,26)
V	124	(16,19)	132	(10,36)	125	(5,98)	124	(28,29)	124	(16,89)	128	(9,32)
Nb	13	(1,78)	14	(0,89)	14	(0,83)	14	(2,45)	13	(1,14)	13	(0,41)
Cr	103	(8,14)	115	(8,61)	106	(3,59)	101	(12,49)	98	(10,60)	99	(6,13)
Co	17	(8,13)	17	(5,75)	15	(7,10)	19	(6,09)	17	(4,27)	17	(3,79)
Ni	48	(11,16)	33	(10,29)	38	(16,38)	43	(14,83)	47	(7,49)	44	(4,24)
Eu/Eu*	0,71	(0,04)	0,71	(0,05)	0,68	(0,03)	0,66	(0,04)	0,69	(0,08)	0,68	(0,05)
(La/Yb) _n	8,89	(1,60)	7,57	(1,05)	8,36	(1,39)	8,51	(1,77)	7,96	(0,86)	7,64	(0,89)
Rb/Zr	0,94	(0,15)	0,57	(0,07)	1,16	(0,17)	1,03	(0,16)	0,65	(0,10)	0,58	(0,09)
La/Th	3,21	(0,77)	3,24	(0,41)	3,38	(0,24)	3,17	(0,36)	3,29	(0,59)	3,43	(0,20)
Th/Yb	4,26	(1,08)	3,47	(0,35)	3,68	(0,69)	3,97	(0,80)	3,65	(0,55)	3,30	(0,34)
Ti/Zr	28,60	(2,49)	25,07	(1,57)	29,01	(2,56)	27,21	(3,59)	25,62	(1,64)	26,56	(1,57)
Ti/Nb	361	(29,68)	422	(23,13)	383	(23,89)	348	(37,78)	410	(28,82)	427	(25,19)
Cr/Th	7,92	(1,34)	8,94	(0,79)	7,08	(0,39)	7,23	(1,72)	7,65	(1,01)	8,01	(0,21)
Cr/Zr	0,62	(0,08)	0,48	(0,04)	0,59	(0,06)	0,57	(0,08)	0,48	(0,04)	0,49	(0,03)
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	24,77	(1,73)	19,69	(0,94)	25,18	(1,97)	25,79	(1,97)	21,69	(1,99)	21,45	(1,02)

Tabla L.- Medias y desviaciones estándar (d. est.) de datos químicos de pelitas cámbricas (C) y precámbricas (PC) de las Zonas Asturoccidental Leonesa (ZAOL), Cantábrica (ZC) y Centro Ibérica (ZCI).

Table I.- Means and standard deviations (d. est.) of chemical data of cambrian (C) and precambrian (PC) shales of the West Asturian Leonese (ZAOL), Cantabrian (ZC) and Central Iberian Zones (ZCI).

estable y fundamentalmente constituida por materiales sedimentarios reciclados con anterioridad. La contribución volcánica a los sedimentos en el Neoproterozoico Superior debió de ser cuantitativamente poco significativa frente al volumen de componentes detríticos heredados.

En todas las Zonas consideradas se registran los efectos de una intensa alteración, probablemente subaérea, que ha acentuado la madurez química de los sedimentos de la base del Cámbrico. Se propone que dicha alteración está relacionada con un importante descenso del nivel del mar a finales del Proterozoico.

Agradecimiento.

Trabajo financiado por el proyecto BTE2002-04241-C02-02 del MCYT.

Referencias

Aramburu, C., Truyols, J., Arbizu, M., Méndez-Bedia, I., Zamarreño, I., García-Ramos, J.C., Suárez de Centi, C. y Valenzuela, M. (1992) In Gutiérrez-Marco, J.C., Saavedra, J. Y Rábano, I. (eds.), *Paleozoico Inferior de Ibero-América*, Univ. Extremadura, 397-421.

Bosch, W.J. van der (1969) *Leidse Geol. Meded.*, 44, 137-225.

Comte, P. (1937) *C. R. Acad. Sci. Paris*, 202, 337-341.

Cuesta, A., Gallastegui, C., Suárez, O., y Rubio Ordóñez, A. (2003): *IV Congr. Iber. Geoquím.*, Coimbra, Abstracts, 133-135.

Nieto-Fernández, F.J., Cuesta, A. y Suárez, O. (1998): *Bol. Soc. Esp. Miner.*, 21, 162-163.

Nägler, T.F., Schäffer, H.J. y Gebauer, D. (1995): *Chem. Geol.*, 121, 345-357.

Lotze, F. (1956) *N. Jahr. Geol. Palaeont.*, 8, 373-380.

Lotze, F. (1961) *Akad. Wiss. Lit. Abh. Math. Nat. Kl.*, 6, 1-216.

Marcos, A. (1973) *Trabajos Geol., Univ. Oviedo*, 6, 1-113.

Parga, J. R. y Luque, C. (1971) *Bol. Geol. Min.*, 83, 310-320.

Pérez Estaún, A. (1973) *Brev. Geol. Asturica*, 17, 5-16.

Rubio Ordóñez, A., Barba, P., Cuesta, A., Gallastegui, G., Suárez, O., Ugidos, J.M. y Valladares, M.I. (in press): *Geogaceta* 36

Ugidos, J.M., Billström, K., Valladares, M.I. y Barba, P. (2003a): *Int. J. Earth Sci.*, 92, 661-676.

Ugidos, J.M., Valladares, M.I., Barba, P., Ellam, R.M. (2003b): *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 67, 2615-2629. Erratum, *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, 1953.

Valladares, M.I., Barba, P., Ugidos, J.M., Colmenero, J.R. y Armenteros, I. (2000): *Int. J. Earth. Sci.*, 89, 2-20.

Valladares, M.I., Ugidos, J.M., Barba, P. y Colmenero, J.R. (2002): *Tectonophysics*, 352, 121-132.