

Caracterización geoquímica de las pizarras negras de las formaciones del Ordovícico Medio-Silúrico del sinclinal de Truchas.

Geochemical characterization of black shales in the Middle Ordovician-Silurian formations of the Truchas syncline

J.M. Ugidos ⁽¹⁾, P. Barba ⁽¹⁾ y M. Lombardero ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca.

⁽²⁾ INECO S.A. P^o de la Habana 138, 28036 Madrid

ABSTRACT

The contents of TiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , Rb, rare earth elements and Zr and some element ratios such as Al_2O_3/TiO_2 , Rb/Zr and Ti/Nb in black shales can be combined to discriminate among different Middle and Upper Ordovician formations in the La Cabrera region. Thus, the Casaio Fm. (lowermost Upper Ordovician) shows sharp chemical differences with the over- and underlying formations. The Silurian black shales have negative cerium anomalies ($Ce/Ce^* = 0,82-0,92$) probably related to the Silurian transgression. The lower Silurian beds also show variable and high contents (ppm) of Ba (636-3413), U (15-16), Mo (25-110), V (319-3147), Co (34-294) and Ni (54-197) with respect to all other black shales.

Key words: geochemistry, shales, Ordovician, Silurian, La Cabrera, NW Spain.

Geogaceta, 36 (2004), 27-30

ISSN:0213683X

Introducción.

El dominio del sinclinal de Truchas (Fig. 1) se caracteriza por la abundancia de rocas pelíticas (pizarras negras), muchas explotadas comercialmente, con variables contenidos en materia orgánica y sulfuros. En términos generales puede decirse que la sucesión sedimentaria desde el Ordovícico Medio hasta el Silúrico Superior es relativamente bien conocida aunque la distinción entre materiales del Ordovícico Medio y Superior así como la correlación entre distintos niveles no siempre es posible, en todas las zonas, a partir de criterios de campo. Igualmente, no están claras las posibles equivalencias con Formaciones del Ordovícico Superior situadas más al norte (Fms. La Aquiana y Agüeira). En el presente trabajo se proponen varios criterios geoquímicos que pueden ser usados como discriminantes de las distintas Formaciones de dicha sucesión a partir de la composición de sus pizarras.

Contexto Geológico

La situación del límite entre las zonas Centroibérica (ZCI) y Asturoccidental-leonesa (ZAOL) ha constituido un problema desde el establecimiento de la zonación del Macizo Ibérico. Inicialmen-

te Lotze (1945) y Julivert et al. (1972) lo establecen en el pliegue antiformal del Olló de Sapó. Posteriormente, Martínez-Catalán (1985) lo sitúa, al norte, en la Falla de Vivero y, al sur, en el plano axial del Sinclinal de Sil-Truchas.

Posteriormente, Martínez-Catalán et al. (1992) sitúan el límite en el sinclinal de Caurel-Peñalba coincidiendo con un sistema de fallas normales. Fernández (2002) lo sitúa en el flanco norte del sinclinal y lo denomina Falla de Villavieja.

Tanto en la ZAOL como en la ZCI del Ordovícico Medio solamente está representado el Llanvirn Inferior por la Fm. Luarca (Gutiérrez-Marco et al., 1999 y referencias en él), constituida de forma bastante uniforme por pizarras y limolitas oscuras. El Ordovícico Superior está formado en la ZAOL por una sucesión terrígena predominantemente areniscosa denominada Fm. Agüeira, cuya base es posible que tenga una edad Caradoc (Márkos, 1970; Pérez-Estaún, 1974), existiendo por lo tanto una discontinuidad que implica la falta del Llandeilo.

En la ZCI sobre la Fm. Luarca, en el Sinclinal de Truchas, aparece una sucesión terrígena constituida por las Fms. Casaio, Rozadais y Losadilla. En la inferior dominan las areniscas y su edad es Caradoc superior-Ashgill inferior (Pre-Hirnantense); mientras que en las otras

dos dominan pizarras y limolitas de edad Ashgill superior (Hirnantense, Sarmiento et al. 1999). En cambio, hacia el norte, en el Sinclinal de Caurel-Peñalba, sobre la Fm. Luarca se desarrolla la Fm. La Aquiana, consistente en un nivel calcáreo con fuertes cambios en potencia y edad Pre-Hirnantense según Sarmiento et al. (op cit.).

El Silúrico, tanto en la ZCI como en la ZAOL, está constituido de forma dominante por pizarras negras. Su base es diacrónica (Robardet y Gutiérrez-Marco, 2002 y referencias en él), formando una discontinuidad sobre rocas ordovícicas de diferente edad.

Geoquímica

Se han recogido 40 muestras de pizarras ordovícicas (Fms. Luarca, Casaio, Rozadais, Losadilla y Agüeira) y silúricas. El muestreo se ha llevado a cabo en puntos donde datos de campo y cartografía previa eran coincidentes en la identificación de las distintas Fms. Las composiciones medias y desviaciones estándar se presentan en la Tabla 1. Con la excepción de las pizarras de la Fm. Casaio, todas las demás tienen un alto valor de CIA (Chemical Index of Alteration, Nesbitt y Young, 1982), lo que sugiere predominio de materiales reciclados en

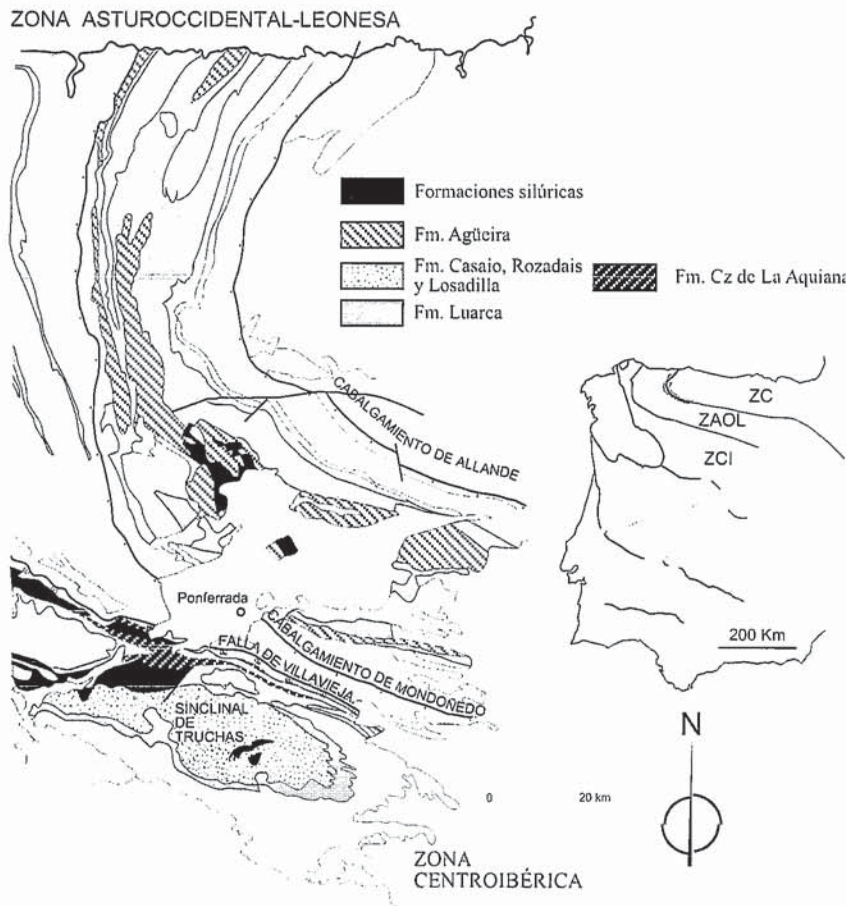


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado del área de estudio.

Fig. 1.- Simplified geological map.

sus áreas fuente. Datos isotópicos de Sm-Nd indican edades modelo (1,7-1,9 Ga, trabajo en preparación) similares a las de pelitas cámbricas en la Zona Centro Ibérica (Ugidos et al., 2003).

Los distintos grupos de pizarras muestran cierta heterogeneidad en el contenido de algunos elementos, como indican sus relativamente elevadas desviaciones estándar (Tabla 1). Sin embargo, en varios diagramas de elementos mayores y trazas las muestras de las distintas Fms. definen campos relativamente restringidos que pueden ser utilizados para la discriminación de las pizarras ordovícicas. En la Fig. 2 se representan datos de todas las pizarras estudiadas. La Fm. Luarca se distingue de las Fms. Rozadais-Losadilla (estas dos últimas no son distinguibles entre sí) por sus menores contenidos P_2O_5 , tierras raras pesadas (TRP) y Nb así como por sus mayores relaciones de Al_2O_3/TiO_2 y Ti/Nb (Tabla 1 y Figs. 2abc). Las pizarras de la Fm. Casaio tienen los valores más bajos de CIA y comparadas con las de las Fms. Rozadais-

Losadilla tienen menores contenidos de P_2O_5 , Al_2O_3 y TRP, mayores contenidos en Zr y menores valores de Rb/Zr (Tabla 1 y Figs. 2abdef). Respecto a las pizarras de la Fm. Luarca, las de la Fm. Casaio se caracterizan por su menor contenido en Al_2O_3 , su mayor abundancia de Zr y sobre todo por sus menores relaciones Al_2O_3/TiO_2 y Rb/Zr (Tabla 1 y Figs. 2bef). Las pizarras de la Fm. Casaio se distinguen bien, por tanto, de las pizarras de las otras Fms. infra y suprayacentes.

Las pizarras del Silúrico inferior son fácilmente reconocibles por su gran contenido en material carbonoso y presencia de graptolites. Además, se separan de los tres grupos de pizarras considerados por sus relativamente elevados contenidos en SiO_2 (65,99) y en materia volátil (12,69). Como consecuencia de la abundancia de estos componentes se diluye notablemente la abundancia media de elementos mayores (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, etc.). Posiblemente, la misma causa reduce también las concentraciones de muchos elementos traza (tierras raras, Th, Zr, Nb.

Tabla 1. Fig. 2b). Distintivo de las pizarras del Silúrico inferior es su anomalía negativa de cerio ($Ce/Ce^* = 0,82-0,92$; valor medio = 0,86) y los elevados contenidos en Ba (636-3413), U (15-16), Mo (25-110), V (319-3147), Co (34-294) y Ni (54-197) respecto a los de las pizarras de las otras Fms. (Tabla 1).

Las pizarras del Silúrico superior, sin embargo, no definen un campo que permita su separación de las otras pizarras. Dos de las cuatro muestras disponibles se separan de las otras dos en varios diagramas (Figs. 2abcd). Un grupo se caracteriza por sus bajos contenidos en SiO_2 (46,67-47,10) y altos de Al_2O_3 (31,28-32,63) frente a los del otro grupo (51,38-54,91 y 22,64-22,98 respectivamente). El primero tiene también menos P_2O_5 (0,13-0,19), Y (37) y Zr (128-144) que el segundo (0,22-0,25, 45-48 y 170-200, respectivamente). Igualmente, las dos muestras del primer grupo tienen mayores relaciones Eu/Eu^* (0,82-0,87), Ce/Ce^* (0,92), $(La/Yb)_n$ (11,19-13,24), Ti/Zr (45-53) y Al_2O_3/TiO_2 (28,88-28,96) que las del segundo (0,62-0,71, 0,97, 8,65-10,34, 33-39 y 20,4-20,7, respectivamente).

Las pizarras de la Fm. Agüeira, tampoco definen un grupo independiente. En general se representan con las pizarras de las Fms. Rozadais-Losadilla (Figs. 2bcef) aunque para algún parámetro muestran afinidad con las pizarras de la Fm. Luarca (Figs. 2ad). Dos muestras de la Fm. Agüeira presentan también anomalías negativas de cerio ($Ce/Ce^* = 0,81-0,88$).

Discusión

No es finalidad del presente trabajo la interpretación de las posibles áreas fuente de cada una de las Fms. consideradas. Sin embargo, puede hacerse énfasis en algunos aspectos relevantes. De los gráficos de la Fig. 2 se infiere que la Fm. Casaio representa un cambio brusco del área de aporte entre las Fms. Luarca y Rozadais, como lo indican los diferentes valores de CIA, contenidos en Zr y relaciones Al_2O_3/TiO_2 y Rb/Zr, Ti/Zr y en parte Ti/Nb . Este resultado es consistente con resultados de estudios previos que establecen una discontinuidad estratigráfica entre la Fm. Luarca y la Fm. Casaio (Gutiérrez-Marco et al., 1999; Sarmiento et al., 1999). Es posible que haya también una discontinuidad estratigráfica entre la Fm. Casaio y la Fm. Rozadais ya que varios diagramas (Figs. 2acd) excluyen la posibilidad de que las Fms. Rozadais y Losadilla resultaran de una mezcla simple

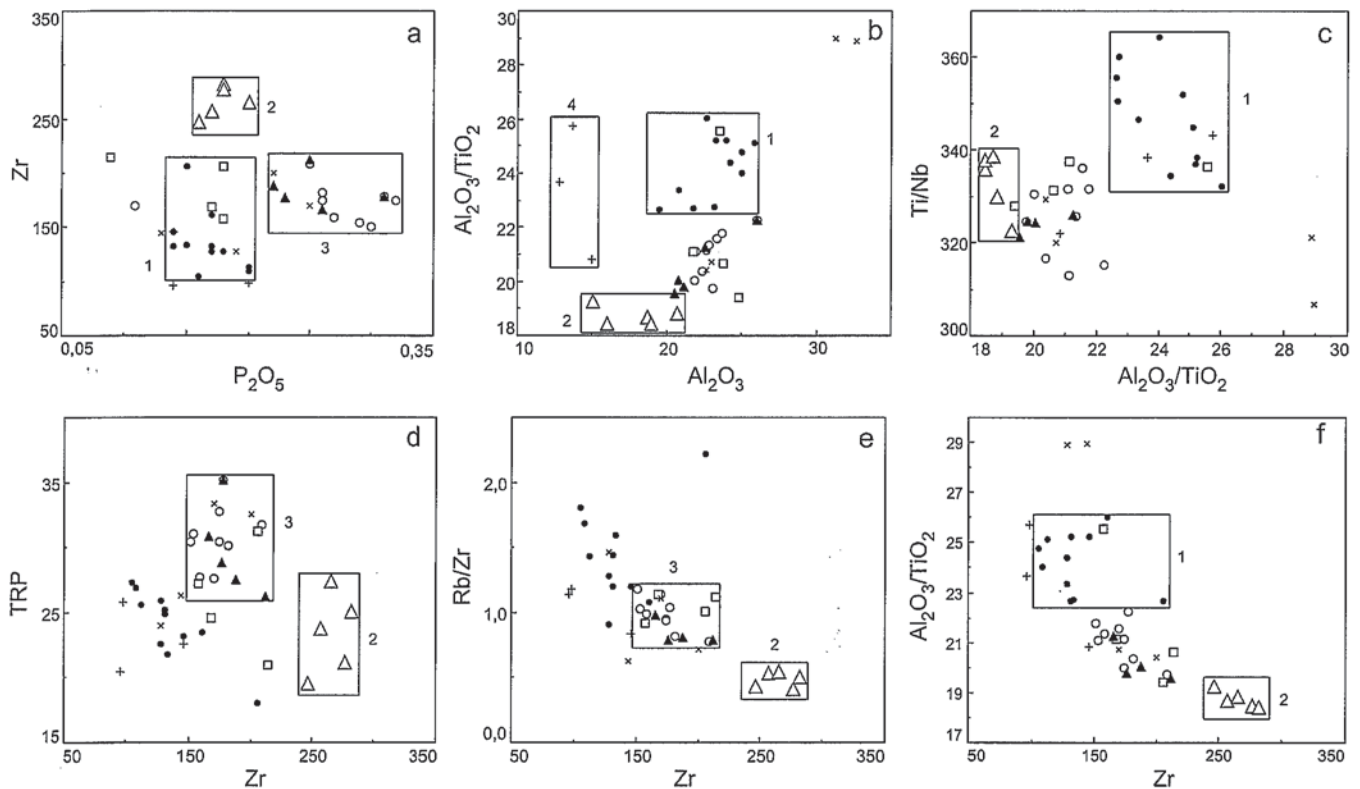


Fig. 2.- Representación de datos químicos de las pizarras negras de formaciones del Ordovícico Medio a Silúrico en la zona estudiada. Fm. Luarca (puntos), Fm. Casaio (triángulos blancos), Fm. Rozadais (círculos), Fm. Losadilla (triángulos negros), Fm. Agüeira (cuadrados), Silúrico inferior (+) y Silúrico superior (x). Algunos parámetros definen campos de diferentes pizarras: 1, Fm. Luarca. 2, Fm. Casaio. 3, Fms. Rozadais-Losadilla. 4, Silúrico inferior. TRP: tierras raras pesadas.

Fig. 2.- Plot of chemical data of black shales from the Middle Ordovician-Silurian formations in the area studied. Luarca Fm. (dots), Casaio Fm. (open triangles), Rozadais Fm. (circles), Losadilla Fm. (solid triangles), Agüeira Fm. (squares), lower Silurian (+) and upper Silurian (x). Some parameters define fields for different shales: 1, Luarca Fm. 2, Casaio Fm. 3, Rozadais-Losadilla Fms. 4, lower Silurian. TRP: heavy rare earth elements.

de aportes de las áreas fuente de las Fms. Luarca y Casaio. Esta última, por tanto, refleja un área fuente con materiales distintos a los predominantes durante la sedimentación de las otras Fms.

La presencia de anomalías negativas de cerio en sedimentos pueden tener su origen en episodios transgresivos (Wilde et al., 1996), procesos de alteración (Braun et al., 1990), diagénesis (Lev et al., 1999), etc. En el caso de la Fm. Agüeira y las pizarras silúricas se requieren datos más detallados para estudiar el significado de dicha anomalía. En el presente caso es posible que se haya producido por disolución de óxido de cerio en condiciones reductoras a consecuencia de la transgresión silúrica. Si el óxido de Ce se ha redistribuido en sedimentos complementarios antes de la transgresión puede ser que parte de las pizarras de Agüeira y de las silúricas hayan recibido contribuciones detríticas previamente empobrecidas en cerio. En este caso es esperable que otras rocas de la misma edad presenten anomalías positivas.

En el Silúrico superior, dos muestras tienen bajos contenidos de SiO_2 , altos de Al_2O_3 y altas relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, tal como se ha indicado. Estas dos muestras tienen, además, una ligera anomalía negativa de cerio ($\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,92$) mientras que las otras dos no presentan esta anomalía y se representan con las Fms. Rozadais-Losadilla (Figs. 2abcdef). Es posible que la fraccionación de una composición original haya dado lugar a una composición relativamente enriquecida en arcillas y a otra en cuarzo y minerales pesados como consecuencia del régimen hidrodinámico del medio sedimentario. Menores contenidos en fosfatos (apatito, etc.) y zircón en la primera pueden explicar sus menores abundancias de P_2O_5 , Y y Zr y mayores valores de Eu/Eu^* y $(\text{La}/\text{Yb})_n$ respecto a la segunda. El amplio rango de concentraciones de otros elementos como Ba, U, Mo, V, Co y Ni sugiere variaciones de abundancia de materia orgánica, de condiciones redox, etc. (Quinby-Hunt y Wilde, 1991).

Todas las pizarras, excepto las de la Fm. Casaio, son geoquímicamente afines, aunque muestren diferencias en los diagramas, y debieron tener la misma área fuente. Cambios en las proporciones de distintos materiales a lo largo de su exhumación y variables del medio sedimentario influyeron, probablemente, en la distribución de algunas fases minerales y en las abundancias relativas de diferentes elementos. Parte de las diferencias en las composiciones de las pizarras pueden estar relacionadas con la evolución del registro vertical y/o con su proximidad al área fuente. Estudios más completos permitirán resolver estos aspectos.

Conclusiones

Los datos geoquímicos son eficaces para la discriminación entre los distintos tipos de pizarras Ordovícico-Silúricas en la región estudiada. Consecuentemente, pueden ser aplicados a casos en los que la observación directa no permita atribuir los afloramientos de

	LUARCA		CASAJO		ROZADAIS		LOSADILLA		AGÜEIRA		SILÚRICO INFERIOR		SILÚRICO SUPERIOR	
	n=11	d. est.	n=5	d. est.	n=9	d. est.	n=4	d. est.	n=4	d. est.	n=3	d. est.	n=4	d. est.
SiO ₂	64,46	(3,23)	68,33	(4,93)	63,09	(3,99)	64,45	(1,89)	54,29	(1,95)	65,99	(3,93)	50,01	(3,90)
TiO ₂	0,96	(0,07)	0,96	(0,13)	1,10	(0,04)	1,05	(0,01)	1,10	(0,16)	0,60	(0,11)	1,11	(0,02)
Al ₂ O ₃	23,18	(1,92)	17,99	(2,31)	23,09	(1,27)	21,27	(0,87)	23,46	(1,27)	13,93	(1,12)	27,38	(5,31)
Fe ₂ O ₃	9,05	(1,74)	7,64	(1,55)	9,72	(0,78)	9,50	(0,94)	7,75	(1,18)	3,33	(1,57)	9,43	(0,62)
MgO	2,13	(0,36)	2,16	(0,34)	2,77	(0,50)	2,56	(0,44)	2,39	(0,34)	0,83	(0,22)	1,97	(0,94)
MnO	0,06	(0,04)	0,05	(0,04)	0,07	(0,05)	0,09	(0,03)	0,08	(0,03)	0,00	(0,00)	0,06	(0,05)
CaO	0,18	(0,15)	1,22	(1,46)	0,42	(0,29)	0,56	(0,29)	0,32	(0,09)	0,22	(0,04)	0,63	(0,72)
Na ₂ O	0,93	(0,27)	1,52	(0,13)	1,02	(0,24)	1,32	(0,13)	0,54	(0,21)	0,15	(0,21)	0,62	(0,42)
K ₂ O	3,83	(0,77)	3,29	(0,47)	4,13	(0,34)	3,79	(0,50)	4,95	(0,93)	2,48	(0,64)	3,36	(1,35)
P ₂ O ₅	0,17	(0,02)	0,18	(0,01)	0,26	(0,06)	0,24	(0,02)	0,15	(0,04)	0,16	(0,03)	0,20	(0,05)
LOI	4,99	(0,58)	4,64	(1,33)	5,34	(0,34)	5,08	(0,31)	4,49	(0,44)	12,69	(4,06)	5,14	(0,36)
Rb	190	(89,10)	120	(16,63)	160	(14,40)	155	(12,36)	157	(39,24)	116	(7,00)	152	(46,09)
Sr	151	(32,80)	131	(34,12)	142	(20,38)	162	(18,77)	127	(36,04)	56	(36,06)	144	(58,15)
Ba	651	(115,38)	671	(117,97)	855	(323,71)	874	(154,41)	949	(160,40)	2039	(1398,73)	981	(921,14)
La	64,90	(6,88)	51,65	(7,15)	66,92	(6,78)	62,69	(6,00)	57,28	(6,95)	36,6	(3,91)	65,72	(5,16)
Ce	106,82	(12,96)	104,19	(13,88)	134,60	(16,97)	124,59	(8,74)	107,98	(20,23)	66,19	(8,40)	126,00	(12,11)
Pr	12,46	(1,46)	11,87	(1,97)	15,66	(1,77)	14,90	(1,67)	13,53	(1,45)	8,80	(0,98)	14,85	(1,31)
Nd	46,77	(5,99)	44,18	(6,68)	59,56	(7,42)	66,78	(6,17)	50,53	(6,47)	34,33	(2,99)	55,33	(6,00)
Sm	5,94	(1,34)	8,58	(1,40)	11,72	(1,24)	10,79	(1,00)	9,52	(1,35)	6,99	(0,98)	10,07	(1,27)
Eu	1,97	(0,26)	1,88	(0,33)	2,50	(0,27)	2,34	(0,19)	2,03	(0,33)	1,66	(0,04)	2,32	(0,25)
Gd	7,44	(1,06)	7,15	(0,84)	9,81	(0,74)	8,83	(0,76)	7,92	(1,62)	6,53	(1,18)	9,01	(1,75)
Tb	1,11	(0,13)	1,05	(0,13)	1,43	(0,11)	1,29	(0,15)	1,18	(0,24)	0,97	(0,13)	1,29	(0,28)
Dy	6,46	(0,74)	6,29	(0,99)	8,25	(0,70)	7,59	(0,79)	6,93	(1,21)	6,11	(0,59)	7,76	(1,07)
Ho	1,25	(0,13)	1,23	(0,17)	1,59	(0,13)	1,54	(0,09)	1,35	(0,22)	1,29	(0,13)	1,52	(0,20)
Er	3,38	(0,34)	3,38	(0,52)	4,26	(0,34)	3,89	(0,13)	3,87	(0,56)	3,50	(0,44)	3,86	(0,65)
Tm	0,52	(0,06)	0,50	(0,07)	0,63	(0,06)	0,57	(0,04)	0,59	(0,09)	0,52	(0,03)	0,54	(0,07)
Yb	3,40	(0,31)	3,28	(0,38)	4,17	(0,33)	4,03	(0,19)	3,88	(0,51)	3,48	(0,27)	4,16	(0,60)
Lu	0,52	(0,06)	0,50	(0,06)	0,62	(0,06)	0,59	(0,09)	0,61	(0,07)	0,53	(0,06)	0,64	(0,11)
Y	34	(3,06)	34	(4,66)	44	(3,28)	39	(2,16)	38	(6,05)	41	(5,69)	42	(5,62)
Zr	136	(28,30)	266	(14,31)	172	(17,50)	186	(19,67)	187	(27,63)	113	(28,31)	161	(31,51)
Hf	3,8	(0,81)	7,2	(0,43)	4,7	(0,45)	5,1	(0,53)	5,1	(0,69)	3,0	(1,03)	4,3	(0,64)
Th	18,4	(2,39)	1,7	(1,47)	22	(1,97)	19	(1,36)	18	(0,75)	9	(1,89)	19,1	(2,55)
U	3,1	(0,28)	3,3	(0,41)	3,8	(0,44)	3,3	(0,23)	3,3	(0,28)	1,6	(0,45)	6,4	(6,40)
Mo	0,39	(0,28)	0,30	(0,24)	0,46	(0,28)	0,25	(0,39)	0,47	(0,01)	74	(43,64)	1,0	(0,33)
V	139	(16,20)	125	(15,50)	167	(12,59)	155	(11,33)	154	(19,19)	2178	(1610,70)	177	(12,48)
Nb	17	(1,03)	17	(2,23)	21	(1,13)	20	(0,23)	20	(3,04)	11	(2,31)	21	(0,42)
Cr	121	(16,87)	97	(13,31)	131	(7,85)	118	(3,50)	116	(13,38)	113	(21,36)	143	(18,38)
Co	16	(7,14)	24	(8,18)	27	(8,65)	24	(5,37)	23	(10,97)	154	(139,84)	23	(4,88)
Ni	44	(10,30)	50	(17,65)	58	(6,32)	52	(3,76)	46	(6,69)	108	(77,56)	36	(21,71)
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	24	(1,19)	19	(0,35)	21	(0,83)	20	(0,75)	22	(2,69)	23	(2,45)	25	(4,83)
ClA	80,72	(2,57)	72,25	(6,94)	78,62	(2,01)	76,01	(2,39)	76,86	(3,72)	83,88	(4,54)	83,33	(4,95)
Eu/Eu*	0,74	(0,03)	0,72	(0,03)	0,71	(0,04)	0,73	(0,04)	0,74	(0,02)	0,76	(0,12)	0,75	(0,11)
Co/Ce*	0,96	(0,03)	0,99	(0,02)	0,97	(0,02)	0,96	(0,03)	0,90	(0,07)	0,86	(0,05)	0,85	(0,03)
(La+Yb)/n	10,93	(1,12)	10,63	(0,79)	10,88	(1,03)	10,50	(0,73)	9,82	(1,39)	7,15	(0,57)	10,85	(1,91)
Rb/Zr	1,44	(0,37)	0,48	(0,06)	0,99	(0,13)	0,84	(0,09)	1,06	(0,10)	1,05	(0,19)	0,88	(0,39)
La/Fn	2,99	(0,17)	2,99	(0,32)	3,01	(0,27)	3,27	(0,22)	3,20	(0,34)	4,09	(0,85)	3,47	(0,38)
Th/Yb	5,41	(0,41)	5,29	(0,44)	5,37	(0,40)	4,76	(0,13)	4,54	(0,45)	2,68	(0,69)	4,62	(0,52)
Tv/Zr	44	(10,06)	22	(2,68)	38	(2,83)	34	(3,75)	35	(2,28)	32	(2,13)	43	(8,39)
Tv/Nb	347	(10,69)	333	(6,79)	326	(6,30)	324	(1,99)	333	(4,41)	335	(15,00)	319	(6,33)
Cr/Th	6,61	(0,53)	6,60	(0,47)	5,90	(0,41)	6,18	(0,34)	6,49	(0,65)	12,8	(4,43)	7,62	(1,74)
Cr/Zr	0,94	(0,26)	0,37	(0,06)	0,77	(0,09)	0,64	(0,08)	0,63	(0,06)	1,06	(0,40)	0,83	(0,29)

Tabla I.- Medias y desviaciones estándar (d. est.) de datos químicos de las pizarras de las Fms. Luarca, Casaio, Rozadais, Losadilla, Agüeira, Silúrico inferior y Silúrico superior.

Table I.- Means and standard deviations (d. est.) of chemical data of shales in the Luarca, Casaio, Rozadais, Losadilla, Agüeira, lower Silurian and upper Silurian Fms.

algunas pizarras a una Formación determinada.

Reflejan, consistentemente con otros datos publicados, varias discontinuidades estratigráficas.

Excepto la Fm. Casaio, todas las demás debieron recibir sus componentes de la misma área fuente predominante.

Agradecimiento

El trabajo se ha financiado mediante el proyecto FEDER nº IFD97-0959-C03-03.

Referencias

Braun, J.-J., Pagel, M., Muller, J.-P., Bilong, P., Michard, A. y Guillet, B. (1990): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 781-795.
 Fernández, F.J. (2002): *Rev. Soc. Geol. España*, 161-173

Gutiérrez-Marco, J.C., Aramburu, C., Arbizu, M., Bernárdez, E., Hacar Rodríguez, M.P., Méndez-Bedia, I., Montesinos López, R., Rábano, I., Truyols, J. y Villas, E. (1999): *Acta Geológica Hispánica*, 4, 1, 3-87.
 Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. y Conde, L. (1972): Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares a escala 1:1000000. IGME. Madrid
 Lev, S.M., McLennan, S.M. y Hanson, G.N. (1999): *J. Sedim. Res.*, 69, 1071-1082.
 Lotze, F. (1945): *Geotectoniken Forschungen*, 6, 78-92.
 Marcos, A. (1970): *Breviora Geológica Astúrica*, 14, 13-28.
 Martínez Catalán, J.R. (1985): *Corpus Geologicum Gallaeciae*, 2, 292.
 Martínez Catalán, J.R., Hacar Rodríguez, M.P., Villar Alonso, P., Pérez-Estaún, A. y González Lodeiro, F. (1992):

Geologische Rundschau, 81/2, 545-560.
 Nesbitt, H.W. y Young, G.M. (1982): *Nature*, 299, 715-717.
 Pérez-Estaún, A. (1974): *Breviora Geológica Astúrica*, 18, 3-8
 Quinby-Hunt, M.S. y Wilde, P. (1991): *Mineral. Deposita*, 26, 113-121.
 Robardet, M. y Gutiérrez-Marco, J.C. (2002): *Silurian. The Geology of Spain*, Ed. Wes Gibbons y Teresa Moreno, The Geological Society. 52-66.
 Sarmiento, G.N., Gutiérrez-Marco, J.C. y Robardet, M. (1999): *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (3-4), 477-499.
 Ugidos, J.M., Valladares, M.I., Barba, P. y Ellam, R.M. (2003): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67, 2615-2629.
 Erratum, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68, p. 1953.
 Wilde, P., Quinby-Hunt, M.S. y Erdtmann, B.-D. (1996): *Sedim. Geol.*, 101, 43-53.