

Metamorfismo de bajo grado: ¿diferencias en escala o diferencias en grado metamórfico?

C. Brime

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, Oviedo 33005, España.

Correo electrónico: brime@asturias.geol.uniovi.es

Recibido el 19 de Noviembre de 1998.

Aceptado el manuscrito revisado el 18 de Enero de 1999.

Resumen: El estudio comparativo de la cristalinidad de la illita calibrada en las escalas Kübler y CIS realizado en el presente artículo pone en evidencia las diferencias existentes entre los valores límite de la anchizona para ambas escalas. La adopción de la escala CIS para la determinación de la cristalinidad requiere la re-definición de los límites de la anchizona para esta escala, que pasarían a ser de $0,59$ y $0,33^\circ \Delta 2\theta \text{ CuK}\alpha$.

Palabras clave: Metamorfismo, anchizona, cristalinidad de la illita, escala Kübler, escala CIS.

Abstract: Comparative study of illite crystallinity calibrated to Kübler and CIS scales, done in the present paper, shows that there are differences in the limiting values of the anchizone for both scales. Adoption of the CIS scale to calibrate illite crystallinity determinations requires a re-definition of anchizone limits that would become 0.59 and $0.33^\circ \Delta 2\theta \text{ CuK}\alpha$ when using CIS scale.

Key words: Metamorphism, anchizone, illite crystallinity, Kübler scale, CIS scale.

El estudio de las rocas pelíticas que han estado sometidas a condiciones de presión y temperatura entre la diagénesis y el metamorfismo, presenta el problema del escaso número de criterios que pueden utilizarse para establecer dichas condiciones; de ahí el gran interés que despertó, desde su introducción, el *índice de cristalinidad de la illita*. Este índice fue propuesto por Kübler (1964) y elaborado por el propio Kübler (1967a y b, 1968) y por Dunoyer de Segonzac *et al.* (1968). Pese a que desde el punto de vista cristalográfico los términos “cristalinidad” e “illita” pueden ser inadecuados, este índice ha sido de gran utilidad para la división de la zona entre la diagénesis y el metamorfismo, como muestra su amplia utilización a lo largo de los años. En los trabajos de Kisch (1983, 1990) puede encontrarse una compilación de las referencias más relevantes sobre el tema. El índice de cristalinidad de la illita se define como la anchura, a mitad de la altura, de la primera reflexión basal de

la illita. Su valor numérico, disminuye al aumentar la “cristalinidad” y depende de las condiciones experimentales. Resulta por tanto necesaria la utilización de patrones que permitan la calibración de los resultados obtenidos en los distintos laboratorios (ver Kübler, 1990). Esto, junto con las diferencias provocadas por las diversas maneras de preparar las muestras en los distintos laboratorios, han sido los principales problemas que han debido superarse cuando se intentó comparar los resultados obtenidos con este método en el estudio del metamorfismo de bajo grado en diversas zonas.

Con el fin de estudiar y comparar los distintos métodos de preparación y medida de las muestras se estableció un grupo de trabajo sobre la cristalinidad de la illita en la reunión inaugural del PICG 294 “metamorfismo de muy bajo grado” celebrada en Budapest en 1989. Sus resultados fueron presentados en la primera reunión internacional del PICG 294 celebrada en Mánchester en 1990

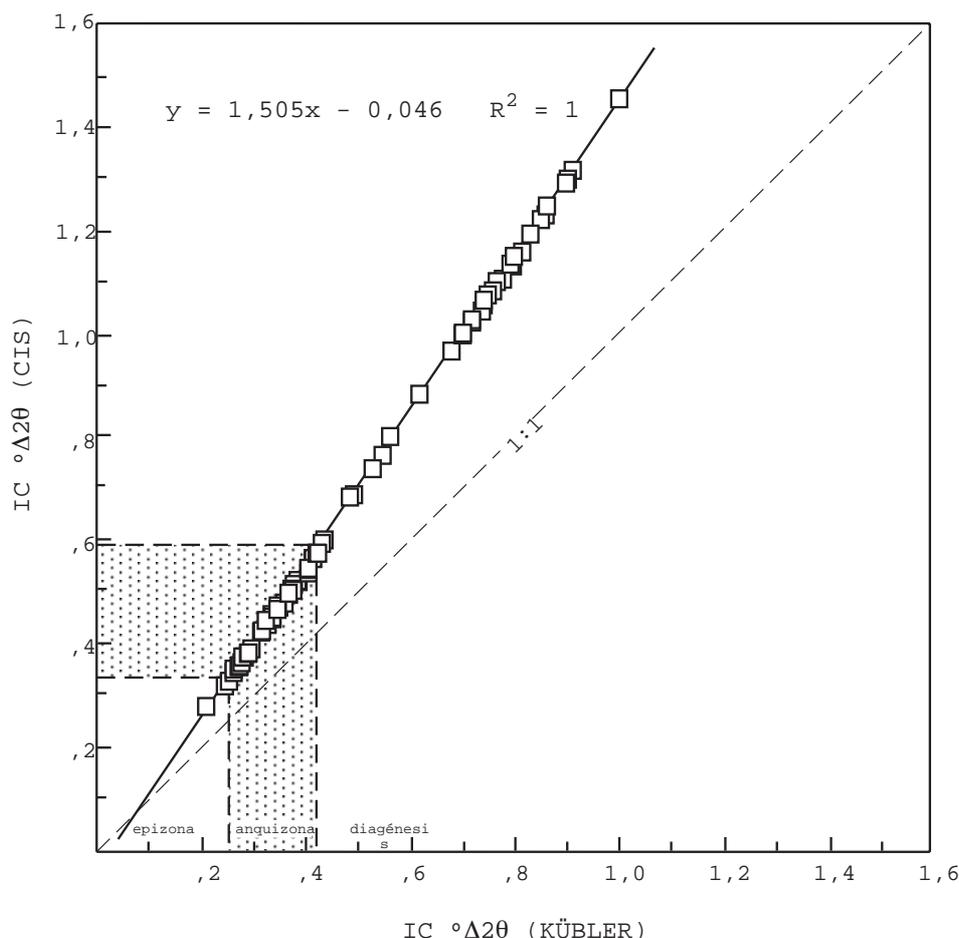


Fig. 1. Correlación entre los resultados de IC medidos en Oviedo calibrados a la escala de Kübler, utilizando los patrones de Kisch, frente a los mismos resultados calibrados a la escala CIS. Punteado: anquizona.

(ver Kisch, 1991). Así por ejemplo, se aceptan los límites de la anquizona establecidos por Kübler en Neûchatel para unos valores del índice de cristalinidad de $0,42-0,25^\circ \Delta 2\theta$ CuK α . Estos valores son también adoptados por el *Grupo de Estudio A - Rocas metamórficas de muy bajo grado* de la Subcomisión sobre Sistemática y Nomenclatura de Rocas metamórficas de la IUGS (Arkai *et al.*, 1990; Arkai y Sassi, en prep.). La “Zona anqui-metamórfica”, queda definida, tal como propuso Kübler (1967a, 1968), como una *zona de transición entre la diagenética y la epizonal, determinada por los valores de la cristalinidad de la illita medidos en la fracción <2 μ m de rocas pelíticas. Los límites de la anquizona son 0,25-0,42° $\Delta 2\theta$ CuK α medidos en la fracción <2 μ m de rocas pelíticas o margosas en las condiciones estándar o en otras condiciones instrumentales, pe-*

ro calibradas con patrones a las condiciones de Kübler en el Laboratorio de Neûchatel.

La importancia de esta definición estriba en el hecho de ser la cristalinidad de la illita el criterio utilizado para la definición de la anquizona. Todos aquellos parámetros utilizados en otros tipos de rocas (e.g. equilibrio mineral, rango de los carbones, inclusiones fluídas, color de alteración de los conodontos,...) deben utilizar, por tanto, los límites de cristalinidad de la illita como referencia (véase, por ejemplo, Merriman y Kemp, 1997).

En esta definición se resalta también la necesidad de utilizar patrones para la calibración de los resultados obtenidos empleando este método con la escala de referencia establecida por Kübler en su laboratorio de Neûchatel. Entre los patrones más utilizados con este fin, se encuentran los trozos

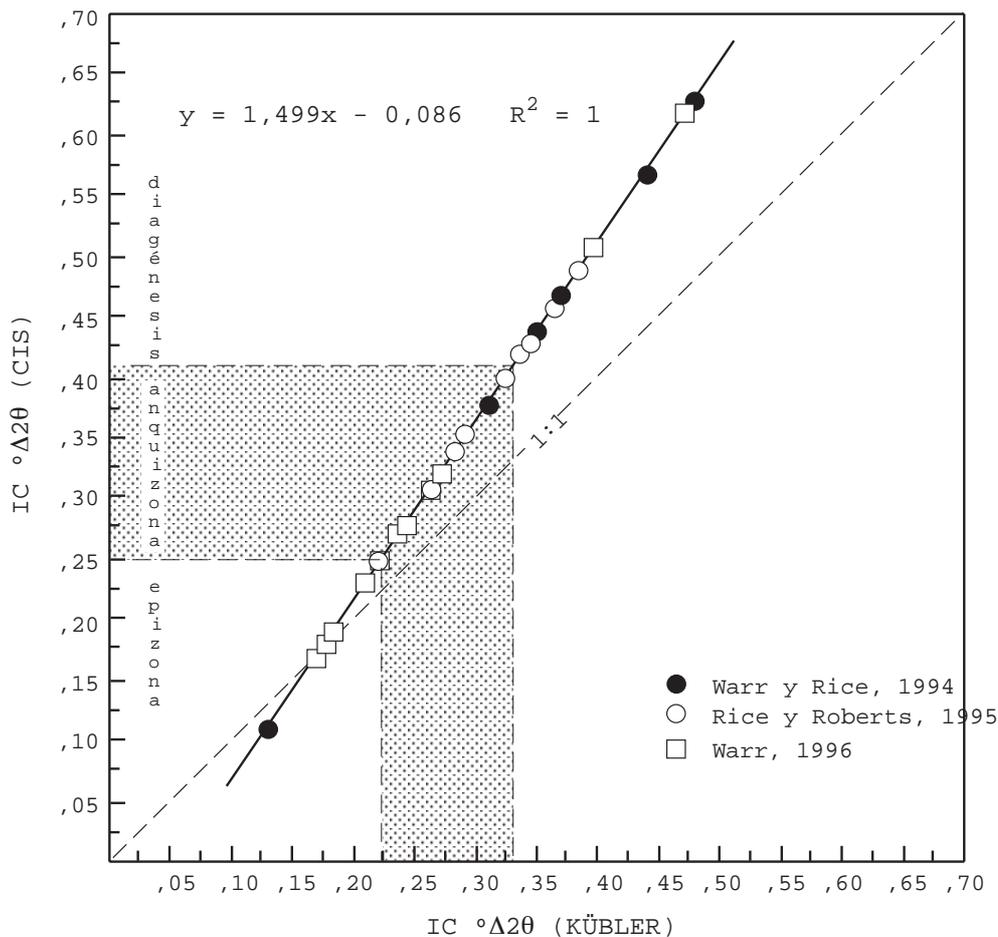


Fig. 2. Correlación entre los resultados de IC calibrados a la escala CIS frente a los mismos resultados en la escala de Kübler obtenidos utilizando la recta de calibración indicada por los autores. Punteado: anquizona.

de pizarra pulida facilitados por el Profesor H. J. Kisch a múltiples especialistas a lo largo de los años. Estos patrones, si bien permiten controlar las diferencias debidas a los equipos instrumentales utilizados, no tienen en cuenta las variaciones introducidas por los métodos de preparación de las muestras, que pese a su homogeneización, tras las recomendaciones del grupo de trabajo sobre la illita (Kisch, 1991), siguen siendo la mayor fuente de variabilidad del índice de cristalinidad. Por este motivo, y en respuesta a la solicitud realizada por el grupo (Kisch, 1991, p. 669), se propusieron como patrones una serie de muestras (Krumm *et al.*, 1996; Warr y Rice, 1994) que requerían su preparación en los distintos laboratorios, utilizando los procedimientos de rutina de los mismos y siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo del PICG 294 sobre la cristali-

dad de la illita (Kisch, 1991). Los patrones preparados por estos últimos autores (*Crystallinity Index Standard*, CIS) son los que han alcanzado una mayor distribución (e.g. Buggish *et al.*, 1994; Gutiérrez-Alonso y Nieto, 1996; Jenkins y Offler, 1996; Offler *et al.*, 1998a y b; Rice y Roberts, 1995; Warr, 1995, 1996; Warr *et al.*, 1996) y por tanto los que se han utilizado en el presente estudio comparativo.

Materiales y métodos

Se han seleccionado una serie de muestras en un rango bastante amplio de condiciones metamórficas, desde la diagénesis superior a la anquizona, que fueron preparadas y medidas en el departamento de Geología de la Universidad de Oviedo

Tabla I. Valores del IC_{CIS} y del grado metamórfico indicado por los autores frente al $IC_{Kübler}$ equivalente y grado indicado por dicho valor. a) Datos de Rice y Roberts, 1995; b) datos de Warr, 1996.

	IC_{CIS}	Grado metamórfico	$IC_{Kübler}$	Grado metamórfico
a)	0,31	anquizona sup.	0,26	anquizona sup.
	0,34	anquizona inf.	0,28	anquizona sup.
	0,35	anquizona inf.	0,29	anquizona sup.
	0,38	anquizona inf.	0,31	anquizona sup.
	0,40	anquizona inf.	0,32	anquizona sup.
	0,42	anquizona inf.	0,34	anquizona sup.
	0,43	diagénesis sup.	0,35	anquizona sup.
	0,46	diagénesis sup.	0,36	anquizona sup.
	0,49	diagénesis sup.	0,38	anquizona inf.
b)	0,62	Facies ceolitas	0,47	diagénesis sup.
	0,51	Facies ceolitas	0,40	anquizona inf.
	0,28	Facies Prh - Pmp - Act	0,24	epizona
	0,32	Facies Prh - Pmp - Act	0,27	anquizona sup.
	0,27	Facies Prh - Pmp - Act	0,24	epizona
	0,31	Facies Prh - Pmp - Act	0,26	anquizona sup.
	0,23	Facies Prh - Pmp - Act	0,21	epizona
	0,18	Facies esquistos verdes	0,18	epizona
	0,17	Facies esquistos verdes	0,17	epizona
	0,19	Facies esquistos verdes	0,19	epizona
	0,25	Facies esquistos verdes	0,22	epizona
	0,23	Facies esquistos verdes	0,21	epizona

siguiendo las recomendaciones de grupo de trabajo del IGCP 294 (Kisch, 1991). Las medidas se realizaron en un difractor automático Philips PW1730/10, utilizando radiación $CuK\alpha$ y monocromador de grafito. Los datos obtenidos fueron convertidos a la escala de Kübler utilizando una serie de patrones proporcionados por H. J. Kisch. La cristalinidad de dichos patrones, medida en Oviedo, se relaciona con la correspondiente a la escala Kübler mediante la siguiente ecuación:

$$IC_{Kübler} = 0,676 \times IC_{Oviedo} + 0,017 \quad (R^2 = 0,969)$$

Para la conversión de los valores medidos en Oviedo a la escala CIS se utilizaron las muestras preparadas y facilitadas por L. N. Warr. La cristalinidad de estos patrones medida en Oviedo se relaciona con la correspondiente a la escala CIS, establecida en Heidelberg, mediante la siguiente ecuación:

$$IC_{CIS} = 1,038 \times IC_{Oviedo} + 0,088 \quad (R^2 = 0,962)$$

Resultados y discusión

En la Figura 1, se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la cristalinidad de la illita en las muestras seleccionadas. Los valores de cristalinidad se han convertido a la escala de Kübler y a la escala CIS utilizando las ecuaciones anteriormente indicadas. En dicha figura se observa que para una misma muestra, los valores CIS son más elevados que los correspondientes a la escala de Kübler (véase también Warr y Rice, 1994, fig. 2), siendo la ecuación que relaciona ambas escalas muy próxima a la propuesta por Warr y Rice (1994):

$$IC_{CIS} = 1,505 \times IC_{Kübler} - 0,046$$

De la observación de la Figura 1 resulta evidente que los límites de la anquizona no se corresponden en la escala CIS con los valores límite de $0,42-0,25^\circ \Delta 2\theta \text{ CuK}\alpha$ establecidos en la escala de Kübler. Sin embargo, los autores de la escala CIS

aceptan dichos valores como límites de la anquizona (Warr y Rice, 1994, p. 141, p. 149) y los utilizan en sus publicaciones pese a dar los valores de la cristalinidad en escala CIS (Warr y Hecht, 1993; Rice y Roberts, 1995; Warr, 1996). La conversión de los valores de la escala CIS a la escala de Kübler, utilizando la ecuación propuesta por Warr y Rice (1994) y añadiendo un valor constante de $0,04^\circ \Delta 2\theta \text{ CuK}\alpha$ –tal como indican dichos autores (p. 144)– modifica la zonación metamórfica obtenida (Tabla I y Fig. 2).

Conclusiones

La utilización de la escala CIS para la calibración de los datos de cristalinidad obtenidos en los distintos laboratorios tiene la ventaja, sobre los utilizados previamente (trozos de pizarra pulida), de permitir calibrar todas las posibles fuentes de va-

riación del índice: condiciones instrumentales, métodos de medida y preparación de las muestras. Esto permite una mayor flexibilidad frente al procedimiento analítico utilizado por los distintos investigadores (Warr y Rice, 1994). Sin embargo, la utilización de la escala CIS para la comparación entre distintos medios geológicos implica una re-definición de los límites de la anquizona según esta escala, con lo que la anquizona quedaría limitada por los valores de $0,59$ y $0,33^\circ \Delta 2\theta \text{ CuK}\alpha$ de acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro laboratorio.

Agradecimientos

Agradezco a Hanan Kisch, Stefan Krumm y Laurence Warr el haber facilitado patrones para la calibración de los datos de cristalinidad y a ellos junto con Peter Arkai las numerosas discusiones que hemos sostenido sobre el tema a lo largo de los años. Agradezco también las sugerencias de F. Alvarez y A. Marcos que han contribuido a mejorar el trabajo. Este trabajo ha sido elaborado en el marco de los proyectos DGE95-PB1047 y ARCG A39331590.

Bibliografía

- Arkai, P. and Study Group A, IUGS SCMR (1990): On the systematics and Nomenclature of very low grade metamorphic rocks. Genetic definitions suggested by the majority of the Study Group A Very Low-Grade Metamorphic Rocks to the Subcommittee of Metamorphic Rocks. Informe Interno de la Subcomisión.
- Arkai, P. y Sassi, F. P. (en prep): Towards a unified nomenclature in Metamorphic Petrology: Very Low Grade Metamorphic Rocks. A proposal in behalf of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. Informe Interno de la Subcomisión.
- Buggisch, W., Von Gosen, W., Henjes-Kunst, F. and Krumm, S. (1994): The age of Paleozoic deformation and metamorphism in the Argentine Pre-cordillera- Evidence from K-Ar Data. *Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie*, **1**, 1993, 275-286.
- Dunoyer de Segonzac, G., Ferrero, J. et Kübler, B. (1968): Sur la cristallinité de l'illite dans la diagenèse et l'anchimétamorphisme. *Sedimentology*, **10**, 137-143.
- Gutiérrez-Alonso, G. and Nieto, F. (1996): White-mica "crystallinity", finite strain and cleavage development across a large Variscan structure, NW Spain. *J. Geol. Soc.*, **153**, 287-299.
- Jenkins, R. B. and Offler, R. (1996): Metamorphism and deformation of an Early Permian extensional basin sequence: the Manning Group, southern New England Orogen. *Australian J. Earth Sci.*, **43**, 423-436.
- Kisch, H. J. (1983): Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastic rocks. In: *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks*, 2, (Eds: Larsen, G. y Chilingar, G. V.), Elsevier, Amsterdam, 289-493 y 513-541 (Appendix B-literature published since 1976).
- Kisch, H. J. (1990): Calibration of the anchizone: a critical comparison of illite "crystallinity" scales used for definition. *J. metamorphic Geol.*, **8**, 31-46.
- Kisch, H. J. (1991): Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and interlaboratory samples. *J. metamorphic Geol.*, **8**, 31-46.
- Krumm, S., Kisch, H. J. and Warr, L. N. (1996): Interlaboratory study of the effects of sample preparation on illite crystallinity: a progress report. *XIIIth Conference on Clay Mineralogy and Petrology, Praha (1994)*. *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, **38**, 263-270.
- Kübler, B. (1964): Les argiles, indicateurs de métamorphisme. *Rev. Inst. Franc. Pérol.*, **19**, 1093-1112.
- Kübler, B. (1967a): La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In: *Etages tectoniques, Colloque de Neuchâtel 1966*, A la Baconnière, Neuchâtel, Suisse, 105-121.
- Kübler, B. (1967b): Anchimétamorphisme et schistosité. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, **1**, 259-278.
- Kübler, B. (1968): Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, **2**, 385-397.
- Kübler, B. (1990): "Cristallinité" de l'illite et mixed-layers: brève révision. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **70**, 89-93.
- Merriman, R. J. and Kemp, S. J. (1997): Correlating clay mineral reaction progress with organic maturity indicators. In: *Clay Mineral Evolution, Basin Maturity and Mudrock Properties* (Ed.: Merriman, R. J.), BGS, Nottingham, 41-42.
- Offler, R., McKnight, S. and Morand, V. (1998a): Tectonothermal history of the western Lachlan Fold Belt, Australia: insights from white mica studies. *J. metamorphic Geol.*, **16**, 531-540.
- Offler, R., Miller, McL., Gray, D. R., Foster, D. A. and Bale, R. (1998b): Crystallinity and spacing of K-white micas in a Paleozoic accretionary complex, eastern Australia: Metamorphism, paleogeotherms, and structural style of an underplated sequence. *J. of Geology*, **106**, 495-509.
- Rice, A. H. N. and Roberts, D. (1995): Very low-grade metamorphism of Upper Proterozoic sedimentary rocks of the Rybachi and Sredni Peninsulas and Kildin island, NW Kola region, Russia. *Nor. geol. unders. Special Publ.*, **7**, *Geology of the Eastern Finnmark- western Kola peninsula region*, 259-270.

- Warr, L. N. (1995): A reconnaissance study of very low-grade metamorphism in south Devon. *Proc. Ussher Soc.*, **9**, 405-410.
- Warr, L. N. (1996): Standardized clay mineral crystallinity data from the very low-grade metamorphic facies rocks of southern New Zealand. *Eur. J. Mineral*, **6**, 115-127.
- Warr, L. N. and Hecht, C. A. (1993): A clay mineral crystallinity investigation of the Upper Carboniferous Culm Basin of south-west England. *Proc. Ussher Soc.*, **8**, 94-98.
- Warr, L. N. and Rice, A. H. H. (1994): Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *J. metamorphic Geol.*, **12**, 141-152.
- Warr, L. N., Greiling, R. O. and Zachrisson, E. (1996): Thrust-related very low grade metamorphism in the marginal part of an orogenic wedge, Scandinavian Caledonides. *Tectonics*, **15**, 1213-1229.