

# Jade nefrítico en las peridotitas de Ronda

## *Nephrite jade in the Ronda peridotites*

Jose María Tubía, José Julián Esteban y Julia Cuevas

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, apartado 644, Bilbao 48080. jm.tubia@ehu.es, jj.esteban@ehu.es, julia.cuevas@ehu.es

### ABSTRACT

We report the presence of nephrite jade, a semiprecious gemstone, in the Ronda peridotites (Betic Cordilleras, southern Spain). These rocks are formed by submicroscopic to fine-grained aggregates of tremolite with felted interlocking texture. They occur as pods and discontinuous veins and developed by metasomatism in the reaction zones between granite dykes and partially serpentinized country rocks.

**Key words:** Nephrite, granite dyke, serpentinite, Ronda peridotites.

Geogaceta, 47 (2009), 113-116  
ISSN: 0213683X

### Introducción

Con el término de jade se designa a dos tipos de rocas consideradas gemas semipreciosas, y que ya durante el Neolítico fueron utilizadas para la confección de joyas, ornamentos y utensilios ceremoniales. Las dos variedades de jade son esencialmente monominerálicas y están formadas por anfíbol de la serie tremolita-actinolita en la mayoría de los casos o por jadeíta en raras ocasiones (O'Hanley, 1996). La variedad tremolítica se denomina nefrita o jade nefrítico y casi siempre es de color blanco; en cambio, la variedad jadeítica es de color verde intenso. El tamaño de grano del jade varía desde submicroscópico hasta grueso y su textura más característica, denominada nefrítica (Harlow y Sorensen, 2005), es de tipo entrelazado; es esa textura entrelazada, definida por agregados de microfibras y cristales prismáticos orientados al azar y engarzados entre ellos, la que proporciona una elevada dureza e inhibe la formación de fracturas en el jade (Dorling y Zussman, 1985).

El jade se produce en dos contextos geológicos principales: 1) por metamorfismo de contacto de rocas dolomíticas y 2) por metasomatismo en la zona de contacto entre serpentinitas y rocas diversas (O'Hanley, 1996). En el segundo caso, las rocas adyacentes a las serpentinitas pueden variar desde ígneas, tanto de composición básica (Harlow y Sorensen, 2005) como ácida (Prokhor, 1991), a metasedimentos silíceos (Adams *et al.*, 2007) y bloques de rocas

sedimentarias exóticas embaladas en *mélanges* serpentiniticas (Harlow y Sorensen, 2005). En este trabajo damos a conocer la existencia de masas de nefritas, originadas por reacciones metasomáticas entre rocas ultrabásicas y diques graníticos, en las peridotitas de Ronda (Fig. 1).

### Encuadre geológico y características de afloramiento

Las nefritas y rocas asociadas que describimos en este trabajo están ubicadas en las peridotitas de Ronda, que pertenecen al Complejo Alpujarride de las Cordilleras Béticas y afloran en la provin-

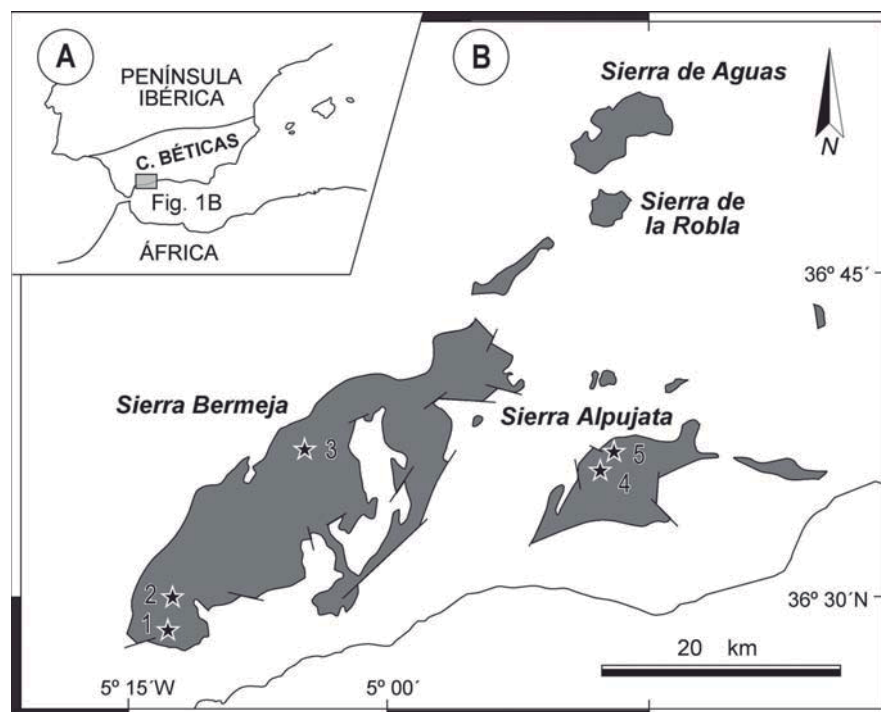


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado de los macizos de peridotitas de Ronda, donde se muestra la localización de las muestras de nefritas y seminefritas descritas en el texto (Pto. 1: tb-770; Pto. 2: 4r-sb; Pto. 3: tb-726; Pto. 4: tb-05-801A; Pto. 5: tb-757).

Fig. 1.- Simplified geological map of the Ronda peridotite massifs, showing the location of nephrite samples discussed in the text (Pt. 1: tb-770; Pt. 2: 4r-sb; Pt. 3: tb-726; Pt. 4: tb-05-801A; Pt. 5: tb-757).

Muestra	tb-770 (n - 23)		tb-726 (n - 18)		tb-05-801A (n - 11)		tb-757 (n - 8)	
	media	des. est.	media	des. est.	media	des. est.	media	des. est.
SiO <sub>2</sub> (% wt.)	56,57	0,51	57,22	0,26	57,04	0,41	49,11	1,00
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,05	0,11	0,04	0,01	0,01	0,15	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,89	0,40	1,71	0,17	1,92	0,30	9,67	0,95
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,03	0,17	0,07	0,02	0,02	1,08	0,14
FeO <sub>t</sub>	4,68	0,30	2,65	0,17	3,46	0,62	2,66	0,17
MnO	0,11	0,02	0,07	0,02	0,09	0,05	0,05	0,01
MgO	22,04	0,35	23,64	0,23	22,55	0,42	20,58	0,37
NiO	0,14	0,03	0,17	0,03	0,18	0,04	0,07	0,03
CaO	11,80	0,23	11,80	0,26	12,30	0,18	12,33	0,11
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,07	0,31	0,04	0,26	0,05	1,93	0,19
K <sub>2</sub> O	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,13	0,03
<b>Total</b>	<b>97,83</b>	<b>0,58</b>	<b>97,89</b>	<b>0,31</b>	<b>97,83</b>	<b>0,62</b>	<b>97,76</b>	<b>0,20</b>
Si (c.p.f.u.)	7,78	0,05	7,80	0,03	7,81	0,04	6,82	0,12
Al <sup>IV</sup>	0,22	0,05	0,20	0,03	0,19	0,04	1,18	0,12
Al <sup>VI</sup>	0,09	0,02	0,07	0,01	0,12	0,03	0,40	0,04
Ti	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
Cr	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,12	0,02
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,04	0,10	0,02	0,08	0,04	0,17	0,03
Fe <sup>2+</sup>	0,45	0,04	0,20	0,03	0,31	0,05	0,13	0,02
Mn	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Mg	4,52	0,06	4,80	0,04	4,60	0,06	4,26	0,06
Ni	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Ca	1,74	0,03	1,72	0,04	1,80	0,03	1,83	0,01
Na	0,08	0,02	0,08	0,01	0,07	0,01	0,52	0,05
K	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
mg#	0,91	0,01	0,96	0,01	0,94	0,01	0,97	0,01

Fórmulas estructurales calculadas en base a 23 oxígenos

**Tabla. I.- Análisis químicos y fórmulas estructurales de anfíboles de las nefritas (tb-770; tb-726; tb-05-801A) y de las anfíbolitas hornbléndicas (tb-757). (mg# = Mg<sup>2+</sup>/(Mg<sup>2+</sup> + Fe<sup>2+</sup>); n - número de medidas; des. est. - desviación estándar).**

*Table I.- Chemical analysis and structural formulae of amphiboles from nephrites (tb-770; tb-726; tb-05-801A) and hornblendic amphibolites (tb-757), (mg# = Mg<sup>2+</sup>/(Mg<sup>2+</sup> + Fe<sup>2+</sup>); n - number of analysis; des. est. - standard deviation).*

cia de Málaga. Estos macizos ultramáficos están formados mayoritariamente por lherzolitas del manto subcontinental, que se han colocado sobre la corteza continental mediante cabalgamientos. El emplazamiento tectónico de las peridotitas se produjo en condiciones de alta temperatura, lo que dio lugar a la formación de aureolas dinamo térmicas y propició la fusión parcial en los mantos alpujárrides infrayacentes (Tubía y Cuevas, 1986). El ascenso de parte de los magmas originados durante la fusión parcial explica la abundancia de diques graníticos en las rocas ultramáficas. La contemporaneidad entre la intrusión de los diques y el desarrollo de las aureolas dinamo térmicas queda demostrada por las características estructurales de la red de diques graníticos (Cuevas *et al.*, 2006). Las

nefritas que hemos hallado están asociadas a diques graníticos ubicados en Sierra Alpujata y Sierra Bermeja (Fig. 1). Con fines comparativos, el trabajo también incluye datos de venas de anfíboles (tb-757), de color verde brillante, muy frecuentes en Sierra Alpujata y que cortan a la foliación de las peridotitas.

Las nefritas aparecen como bolsadas (*Pods*) o venas discontinuas y de formas irregulares confinadas entre diques graníticos y serpentinitas o peridotitas parcialmente serpentinizadas (Fig. 2A). Las características de afloramiento son semejantes a las descritas en otros yacimientos de nefritas relacionados con serpentinitas, aunque en muchos de ellos la serpentina presente sea antigorita (Prokhor, 1991; Cooper, 1995; Harlow y Sorensen, 2005). Desde este punto de vista, merece la pena destacar por su singu-

laridad el afloramiento situado en el rincón suroeste de Sierra Bermeja (Fig. 1; muestra tb-770), ya que en este caso existen pequeños *Pods* de nefrita ( $\leq 1$  cm de diámetro) dentro de un dique granítico. Las serpentinitas están formadas por lizardita mayoritariamente, atravesadas por venas con crisotilo y magnetita.

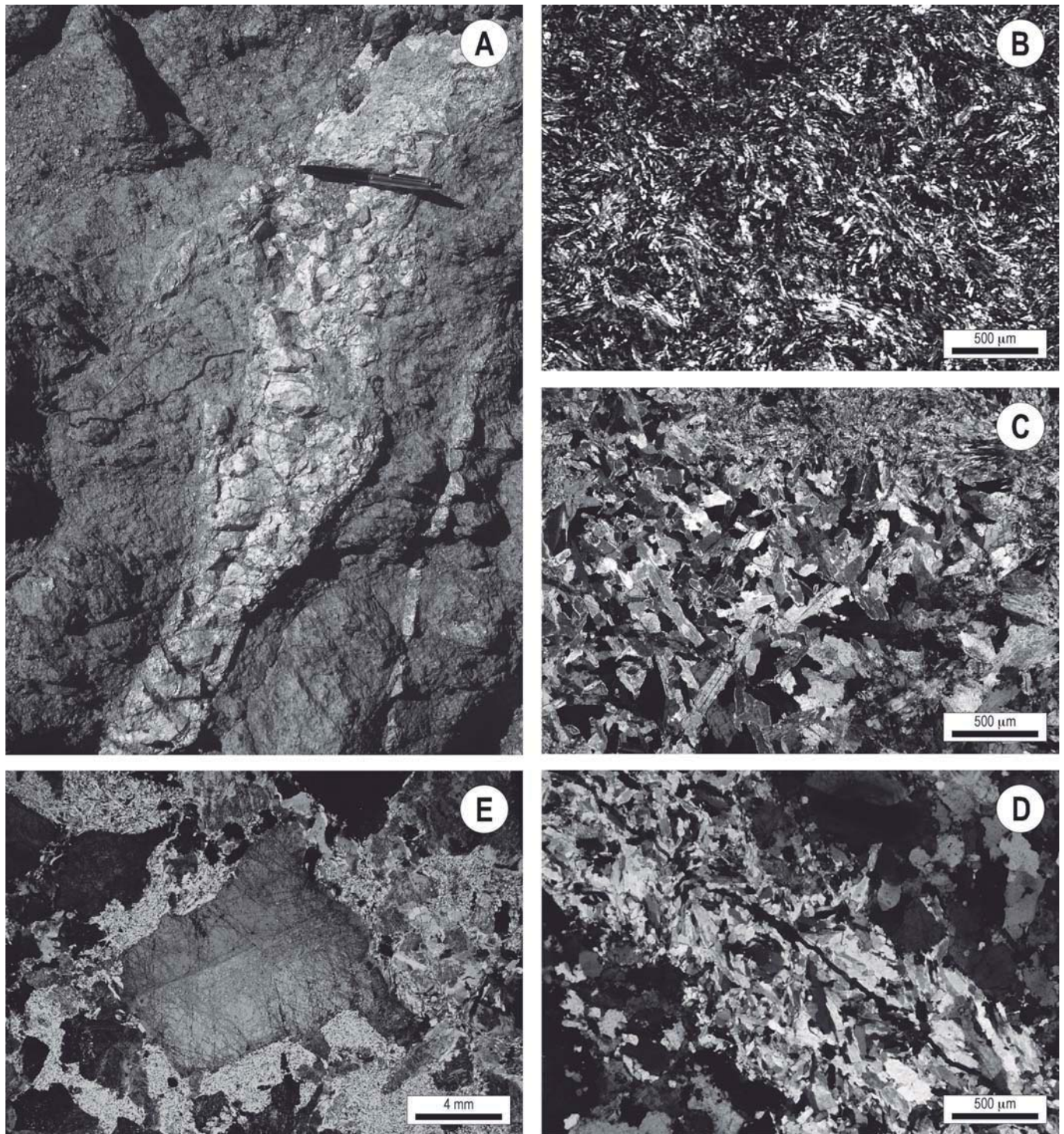
Las dimensiones de las masas de nefritas que hemos localizado por el momento son reducidas, de manera que los *Pods* raramente tienen más de 10 cm de diámetro y sólo una vena supera el medio metro de longitud. La orientación de las venas de nefritas reproduce, *grosso modo*, la de los diques graníticos, por lo que en Sierra Alpujata predominan las de dirección aproximadamente N-S y en Sierra Bermeja son más frecuentes las de orientación E-O.

### Características petrográficas e identificación mineral

En lámina delgada se aprecia que las nefritas están formadas exclusivamente por fibras de tremolita (Fig. 2B). Las fibras son de tamaño de grano muy fino, con longitudes de 0,1 mm y anchuras de 0,04 mm y alternan con dominios de morfología irregular constituidos por fibras submicroscópicas de tremolita. Tanto las fibras de tremolita como los dominios submicroscópicos están orientados al azar, formando la textura entrelazada que caracteriza a las nefritas (Fig. 2B). En algunos afloramientos junto con nefritas como las descritas previamente, coexisten sectores formados por agregados de tremolita con talla sensiblemente superior a la anterior, pero que también presentan una textura entrelazada (Fig. 2C). Este tipo de rocas tremolíticas se denominan seminefritas (Turner, 1935). Autores como Cooper (1995) consideran que las nefritas se forman por cizallamiento de precursores semi-nefriticos.

En muestras extraídas del dique granítico de Peñas Blancas (Fig. 1: muestra 4r-sb) se aprecia cómo la cristalización desorientada de prismas de tremolita progresa a partir de una fractura central, lo que da lugar a la formación local de seminefritas en el seno de los diques graníticos (Fig. 2D). La figura 2E, correspondiente a la muestra tb-770, presenta pequeñas masas de nefritas que parecen haberse infiltrado a través de granito, de cuya mineralogía primaria sólo se conservan los cristales de plagioclasa.

Las composiciones químicas de los anfíboles se han obtenido a partir de análisis de microsonda electrónica en la Uni-



**Fig. 2.-** Características de afloramiento y petrográficas. A: Nefritas en la zona de reacción entre un dique granítico y peridotitas parcialmente serpentinizadas. Dique de la Venta del Madroño, en la carretera de San Pedro de Alcántara a Ronda (muestra tb-726 en la Fig. 1). B: Muestra tb-726. Textura entrelazada, con prismas de tremolita desorientados y de grano fino. Las zonas negras son sectores con cristales de tamaño submicroscópico. C: Seminephrita formada por cristales de tremolita con tamaño de grano medio y textura entrelazada. Obsérvese la presencia de sectores con cristales de menor tamaño en la parte superior de la imagen. D: Muestra 4r-sb, procedente del dique granítico de Peñas Blancas, mostrando una franja enriquecida en tremolita orientada al azar a partir de una fractura en el granito. E: Muestra tb-770. Microbolsadas de nefrita con textura entrelazada invadiendo un granito, del cual sólo subsisten los cristales de plagioclasa.

*Fig. 2.- Field and petrographic observations. A: Nephrite within the reaction zone between a granite and partially serpentinized peridotites. From the Venta del Madroño dyke, in the San Pedro de Alcántara – Ronda road (see Sample tb-726 in Fig. 1 for its location). B: Very fine-grained felted interlocking texture in the nephrite sample 726. Black domains are formed by submicroscopic fibers of tremolite. C: Seminephrite with medium-grained tremolite displaying an interlocking texture. Fine-grained domains are also present in the upper part of the image. D: Sample 4r-sb, from the granite dyke of Peñas Blancas, showing large tremolite crystal growing from a central fracture. E: Sample tb-770. Nephrite micropods with interlocking texture with plagioclase resisters in a partially assimilated granite.*

versidad de Oviedo (CAMECA SX100, haz de 5 mm, intensidad 15 nA y tensión de 30 kV). La tabla I sintetiza los datos sobre la composición química de los anfíboles. En todas las nefritas analizadas, los anfíboles presentan composiciones tremolíticas con contenidos elevados de SiO<sub>2</sub>, MgO y CaO (> 56 %, 22 % y 11 %, respectivamente) y bajos en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (< 2 %). En cambio, en la vena de Sierra Alpujata (tb-757), el anfíbol es una hornblenda rica en Mg, con menores contenidos en SiO<sub>2</sub> (49,11 %) y mayores en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (9,67 %) que los anteriores.

### Discusión y conclusiones

La petrogénesis de nefritas asociadas a serpentinitas guarda muchas e importantes incógnitas. Así, para la textura nefrítica se han sugerido tres orígenes posibles: 1) pseudomorfismo por reemplazamiento de texturas previas de antigorita (Leaming, 1978; Prokhor, 1991; O'Hanley, 1996), 2) recristalización por cizallamiento de precursores tremolíticos (Dorling y Zussman, 1985; Cooper, 1995) y 3) infiltración de fluidos formadores de tremolita (Harlow y Sorensen, 2005). En las nefritas de Ronda pueden excluirse las dos primeras hipótesis, puesto que las muestras aquí estudiadas están relacionadas con lizardita en vez de con antigorita y carecen de deformación.

Otro tema esencial de discusión es si los protolitos de las nefritas son las serpentinitas, las rocas adyacentes a ellas o la zona de contacto entre ambas (Harlow y Sorensen, 2005). Según Leaming (1978), cuando la generación de nefrita está relacionada con serpentinitas, se puede producir tremolita en la zona de

contacto con otros materiales por la siguiente reacción: serpentina + cuarzo + CaO → tremolita + H<sub>2</sub>O.

La incapacidad de los minerales del grupo de la serpentina para admitir Ca en sus redes cristalinas, implica un aporte externo de ese elemento, que sólo puede proceder de la desestabilización del piroxeno de las lherzolitas (O'Hanley, 1996). En todos los casos observados en Ronda las nefritas y seminefritas coexisten en los mismos afloramientos con diques graníticos, serpentinitas y peridotitas parcialmente serpentinizadas, lo que avala que la fuente de Ca sean los piroxenos de las lherzolitas.

Las características de afloramiento y petrográficas de las muestras analizadas en este trabajo indican que los fluidos ricos en Ca no sólo han circulado a lo largo del contacto entre los granitos y las rocas ultrabásicas sino también a través de los granitos. La ausencia de cuarzo en las seminefritas y nefritas (Fig. 2 D y E) incluidas en los diques graníticos apoya que la fuente esencial del Si fue el cuarzo de los granitos. Estas observaciones sugieren que los protolitos de las nefritas de Ronda han sido los diques graníticos.

Por tratarse de rocas esencialmente monominerálicas, las determinaciones de las condiciones de temperatura y presión de las nefritas son imprecisas; generalmente se atribuyen a la facies de los esquistos verdes, en función de su frecuente relación con lizardita y crisotilo, lo que implica temperaturas en el rango de 325 a 150 °C (Harlow y Sorensen, 2005).

Aunque las nefritas que hemos localizado hasta ahora son de reducidas dimensiones y en consecuencia carecen de valor comercial, este hallazgo abre el camino a futuras exploraciones en búsqueda

de masas mayores, válidas para la explotación artesanal de este tipo de gemas semipreciosas.

### Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación procedente del proyecto de investigación CGL 2007-60039/BTE (Ministerio de Educación y Ciencia) y de los «Grupos de Investigación del Sistema Universitario Vasco» IT-270-07.

### Referencias

- Adams, C.J., Beck, R.J. y Campbell, H.J. (2007). *Lithos*, 97, 307-322.
- Cooper, A.F. (1995). *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 38, 325-332.
- Cuevas, J., Esteban, J.J. y Tubía, J.M. (2006). *Journal of the Geological Society, London*, 163, 631-640.
- Dorling, M. y Zussman, J. (1985). *Mineralogical Magazine*, 49, 31-36.
- Harlow, G.E. y Sorensen, S.S. (2005). *International Geology Review*, 47, 113-146.
- Leaming, S.F. (1978). Jade in Canada. *Geological Survey of Canada Papers*, 78-19, 1-59 p.
- O'Hanley, D.S. (1996). *Serpentinites, records of tectonic and petrological history*. Oxford Monographs in Geology and Geophysics, 34, 277 p.
- Prokhor, S.A. (1991). *International Geology Review*, 33, 290-300.
- Tubía, J.M. y Cuevas, J. (1986). *Journal of Structural Geology*, 8, 473-482.
- Turner, F.J. (1935). *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, 65, 187-210.