

Edades K-Ar en fracciones finas de pelitas en la Formación Puncoviscana, Salta, Argentina

Margarita Do Campo

Instituto de Geología Isotópica-CONICET - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires, Argentina

Ricardo Omarini

CONICET - Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta, Argentina

Héctor Ostersa

Instituto de Geología Isotópica-CONICET - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Se comparan dataciones K-Ar obtenidas en fracciones finas de pelitas de la Formación Puncoviscana con edades determinadas en roca total por varios autores, y se interpreta su significado geológico. Para 20 muestras tomadas sobre perfiles realizados en las localidades de Quebrada del río Tin-Tin y Quebrada de Escoipe, se separó la fracción $<2 \mu\text{m}$ en la cual se identificaron por difracción de rayos X illita y clorita como componentes principales, acompañados por interestratificados (I-M) o tipo corrensita en pequeña proporción. Los índices de cristalinidad de la illita de estas rocas corresponden a la anchizona. Sobre la misma fracción se realizaron análisis K-Ar. Para la primera localidad se obtuvieron cuatro edades que varían en el intervalo de 530-545 Ma y para la segunda una edad de 572 Ma. Esta edad se interpreta como una edad mínima para la diagénesis temprana de estas rocas. El grupo de edades más jóvenes se considera una edad mínima para el proceso metamórfico de muy bajo grado que afectó a estas rocas durante la deformación atribuida a la Orogenia Tilcárica.

Palabras claves: Geocronología, Metamorfismo de muy bajo grado.

ABSTRACT

K-Ar Ages obtained from fine fraction of pelites from Puncoviscana Formation, Salta, Argentina. The Puncoviscana Formation is a pelite-greywacke sequence with interbedded volcanic rocks, limestones and conglomerates located in northern Argentina, provinces of Salta and Jujuy. Fine fractions were isolated from the pelites in which an illite-chlorite mineralogy was determined by X-ray diffraction. The illite crystallinity index of these rocks locates them in the anchizone. K-Ar data were performed over the same fraction for two localities: Tin-Tin gorge and Escoipe gorge. Four ages ranging from 530 to 545 Ma were determined for the former, and an age of 572 Ma for the latter. The interpretation of these data suggests that the first group is related to the metamorphic episode occurred during the Tilcaric orogeny giving a minimum age for this event. The oldest age seems to be a minimum age for the diagenesis.

Key words: Geochronology, Very-low grade metamorphism.

INTRODUCCION

En el noroeste de Argentina, en el ámbito de la Cordillera Oriental, existen amplios afloramientos de secuencias de pelitas y grauvacas con intercalaciones

de rocas volcánicas, calizas y conglomerados, conocidos en la literatura como Formación Puncoviscana s.l. (Precámbrico superior-Cámbrico inferior) (Ace-

ñolaza *et al.*, 198E). Esta unidad fue definida por Turner (1960) en la Sierra de Santa Victoria (Provincia de Jujuy), donde la secuencia tiene más de 2.000 m de espesor.

Los estudios sedimentológicos llevados a cabo por diversos autores (Omarini, 1983; Baldis y Omarini, 1984; Omarini y Baldis, 1984; y Jezek y Miller, 1987) permitieron determinar que las series clásticas están integradas en su totalidad por secuencias turbidíticas. Los estudios realizados por Toselli (1981), Toselli y Weber (1982) Toselli y Toselli (1982) y Rossi *et al.* (1992) en base al índice de cristalinidad de la illita, establecieron condiciones de anqui- y epimetamorfismo para los sectores occidentales de esta unidad (Nevados de Cachi). Omarini (1983), basándose en el análisis de las paragénesis de argilominerales, asignó condiciones de diagénesis-anquimetamorfismo a los sectores orientales. Esta aparente discrepancia se explica, si tenemos en cuenta las evidencias encontradas por Omarini (*op. cit.*) en cuanto a la

existencia de una zonación dentro de la Formación Puncoviscana que determina que los sectores situados al este y al norte presenten menor grado de transformación post-deposicional que los ubicados al oeste y al sur; este autor señaló, además, la importancia de las anomalías térmicas locales (*i.e.*, Granito de Santa Rosa de Tastil) y regionales (sector occidental desde Palermo a Cafayate) en la transformación mineralógica de los sedimentos. Posteriormente, Do Campo y Omarini (1990) realizaron mediciones del índice de cristalinidad de la illita para varias localidades alejadas de anomalías térmicas, encontrando que predominaban las condiciones anquimetamórficas.

Este trabajo es una continuación de investigaciones anteriores y se ha centrado en localidades ubicadas en la Provincia de Salta (Fig. 1), en las cuales las rocas de la Formación Puncoviscana presentan grados de transformación correspondientes a la anquizona.

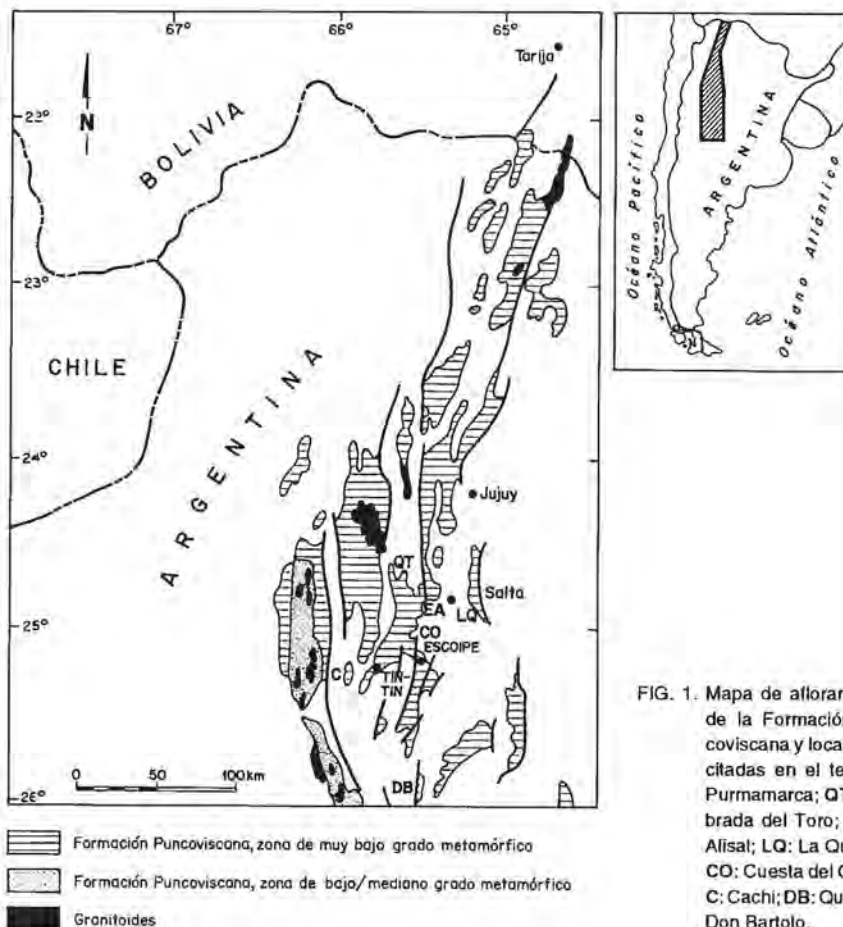


FIG. 1. Mapa de afloramientos de la Formación Puncoviscana y localidades citadas en el texto. P: Purmamarca; QT: Quebrada del Toro; EA: El Alisal; LQ: La Quesera; CO: Cuesta del Obispo; C: Cachi; DB: Quebrada Don Bartolo.

OBJETIVOS Y METODOLOGIA

Nuestro objetivo era obtener dataciones radiométricas K-Ar de las fracciones $<2 \mu\text{m}$ de las rocas pelíticas, que permitieran acotar con mayor precisión, la edad del evento tectónico-metamórfico responsable de su deformación y fijar una edad mínima para la sedimentación. Para ello, se utilizaron muestras provenientes de dos perfiles, ubicados en la quebrada de Escope y en la quebrada del río Tin-Tin (Provincia de Salta). Las muestras datadas fueron seleccionadas de un total de 20 de acuerdo a su mineralogía, la que fue estudiada por difracción de rayos X y cortes petrográficos.

Una vez conocida la mineralogía de la roca total y de la fracción $<2 \mu\text{m}$ se descartaron las grauvacas y las rocas pelíticas que contuvieran calcita, seleccionándose para el estudio geocronológico las pelitas con alto contenido de illita.

Las muestras fueron molidas durante 5 minutos en un molino helicoidal a bolas y tamizadas a malla 100, conservándose la fracción fina. De esta última, se pesaron 20 g de cada muestra, que fue lavada con Na_2CO_3 2% en agitador magnético, para luego separar la fracción $<2 \mu\text{m}$ por centrifugado a 1.000 rpm durante 150 segundos. La arcilla queda en suspen-

sión y se reconcentra por centrifugado. Para verificar la distribución de tamaños de grano en la fracción fina se realizaron análisis por difracción láser con un equipo MALVERN Mastersizer, para las muestras AK 3443 y AK 3444 (Fig. 2). Los diámetros de esfera equivalente obtenidos fueron de $2,13 \mu\text{m}$ y $1,67 \mu\text{m}$, respectivamente, mientras que las medianas se ubicaron entre $3,06 \mu\text{m}$ y $2,28 \mu\text{m}$; además, en la muestra AK 3443, la distribución es aproximadamente platocúrtica, mientras que para la AK 3444, la envolvente tiene forma leptocúrtica.

Las dataciones K-Ar se realizaron en el laboratorio del Instituto de Geología Isotópica (INGEIS), según la técnica descrita por Linares *et al.* (1973), modificada en esta oportunidad. Como las muestras se componen de un fino polvo hay que colocarlas dentro de un portamuestras especial de lámina de molibdeno, para evitar posibles pérdidas por arrastre en el sistema de vacío durante la extracción de argón. Las edades fueron calculadas utilizando las constantes propuestas por Steiger y Jäger (1977) y para el cálculo de los errores se siguió el método sugerido por Cox y Dalrymple (1967).

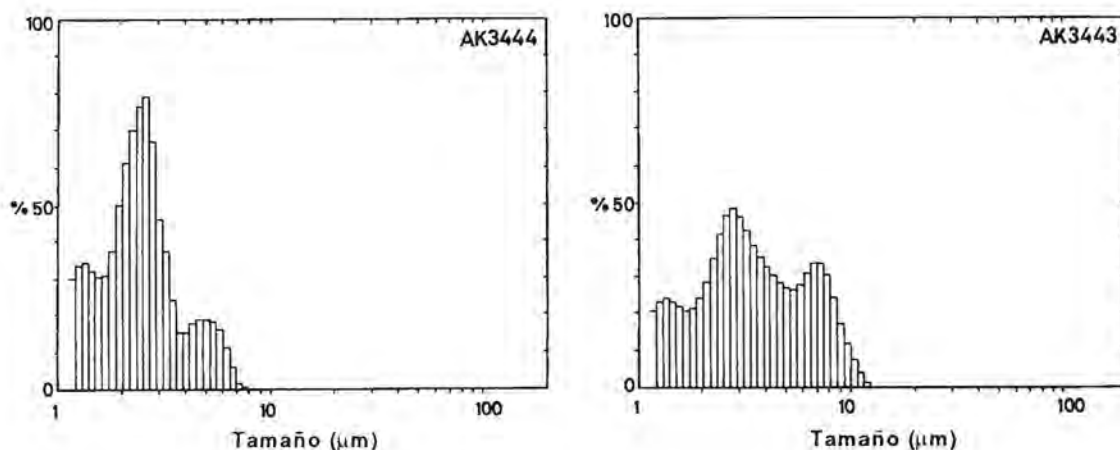


FIG. 2. Distribución de frecuencias granulométricas en la fracción fina. Análisis por difracción láser realizados con un equipo MALVERN Mastersizer.

PETROGRAFIA Y MINERALOGIA

Las pelitas (Fig. 3a, b, c) presentan dominios lentiformes con textura lepidoblástica compuestos por filosilicatos que muestran recristalización sincinemática; alternan con bandas ricas en cuarzo y feldespato con textura clástica. Los granos de cuarzo y feldespato son de hasta 0,04 mm, subangulosos a subredondeados y presentan bordes aserrados por reacciones con la matriz. El feldespato es fundamentalmente plagioclasa sódica. La matriz está recristalizada en clorita e illita, la primera aparece en láminas de hasta 0,05 mm de largo, con orientación paralela; es pleocroica, del verde amarillento al verde brillante y presenta color de birrefringencia azul anómalo. Las illitas se presentan en tablillas más delgadas que las cloritas, son débilmente pleocroicas a incoloras y también presentan crecimiento orientado definiendo el clivaje. Los minerales accesorios son apatita y zircón, y son abundantes las pátinas de óxidos de hierro en varias de las muestras.

En la fracción <2 μm se pudieron identificar, por difracción de rayos X, illita, clorita y en algunos casos interestratificados (I-M) y/o tipo corrensita, poco abundantes.

Las grauvacas (Fig. 3d) presentan textura clástica flotante a tangencial, observándose a veces contactos rectos.

Los clastos son de cuarzo, plagioclasa y fragmentos líticos de tamaño arena fina, subangulosos a subredondeados. Los granos de cuarzo, en casi su totalidad, son monocristalinos y presentan bordes aserrados por reacciones con la matriz; en algunas muestras representan el 80% de los clastos constituyendo

grauvacas cuarzosas. La plagioclasa tiene maclas polisintéticas, a veces borrosas, su hábito es variable. Al igual que los fragmentos líticos se halla muy cloritizada y presenta reacciones con la matriz en los bordes de los granos. En las grauvacas cuarzosas la matriz está compuesta, fundamentalmente, por cuarzo autógeno de grano fino, la sericita aparece en tablillas o más comúnmente, en flecos que penetran en los clastos. En las grauvacas cuarzo-feldespáticas se observan relictos de biotita y biotita desferrizada y también parches de óxidos de hierro; la matriz está constituida por clorita levemente pleocroica con color de birrefringencia azul anómalo y sericita incolora. Los filosilicatos presentan cierta alineación, dando una textura lepidoblástica difusa. Los minerales accesorios son apatita y zircón. En varias muestras se encontraron venillas de calcita de 1-2 mm de ancho.

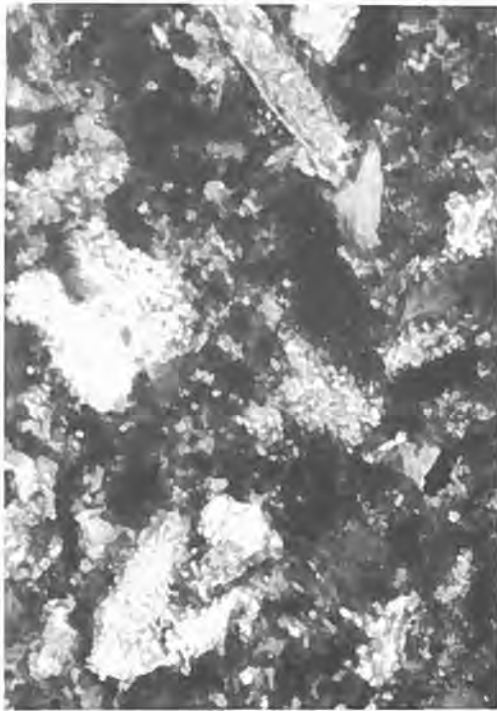
Los valores obtenidos para el índice de cristalinidad (I_c) de estas rocas, se ubican entre 0,24° y 0,37° 2 θ , todos dentro de la zona de anquimetamorfismo, según los límites y condiciones de medición propuestos por Kisch (1991). En particular, las muestras datadas tienen I_c correspondientes a la anquizona baja. Por lo tanto, los I_c estarían indicando, para estas rocas, condiciones metamórficas análogas a las de la zona prehnita-pumpellyita. La presencia de minerales de arcilla interestratificados en la anquizona, es poco común. Su persistencia podría deberse a un retraso en el proceso de transformación producido por las condiciones físicoquímicas del medio metamórfico (Kisch, 1987).

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

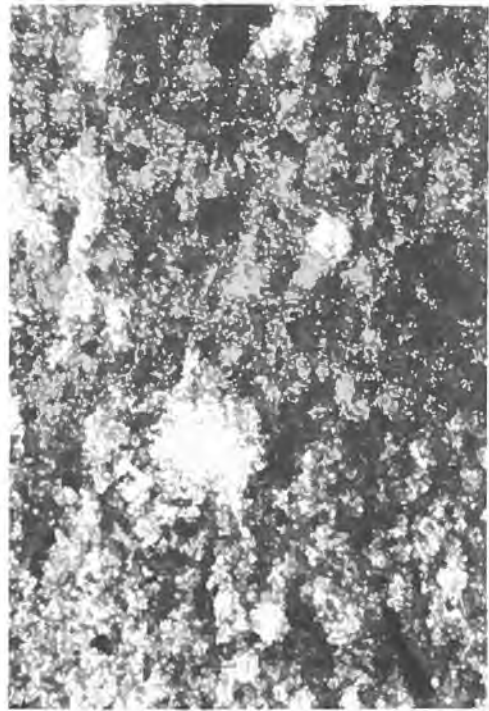
Son numerosos los estudios que han utilizado los métodos K-Ar y Rb-Sr sobre fracciones finas, para obtener dataciones en rocas sedimentarias o metasedimentarias de bajo o muy bajo grado; entre ellos pueden citarse los trabajos de Clauer (1981), Kralik (1983) y Bonhomme (1982). Este último autor observó que, en general, las edades isocronicas Rb-Sr son concordantes con las edades K-Ar cuando se obtienen sobre fracciones <2 μm . Se puede concluir que, durante las transformaciones metamórficas de

muy bajo grado se producen tanto la homogeneización del sistema Rb-Sr como la puesta a cero del reloj isotópico K-Ar. Al trabajar con fracciones finas se reduce la posibilidad de obtener una edad de mezcla, generada por el aporte de ^{40}Ar de componentes minerales detríticos que no hayan alcanzado dicha puesta a cero durante el proceso que se desea datar.

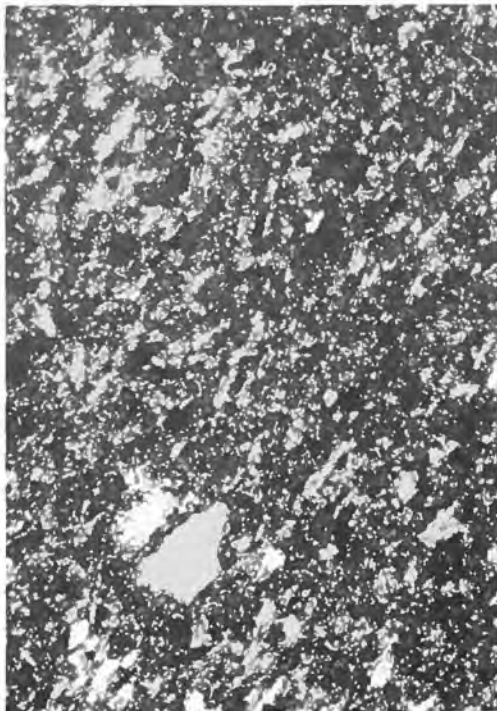
A partir de los valores de I_c medidos en estas rocas se puede deducir que la temperatura alcanzó valores cercanos a los 270° C (Mullis *et al.*, 1993). Para el



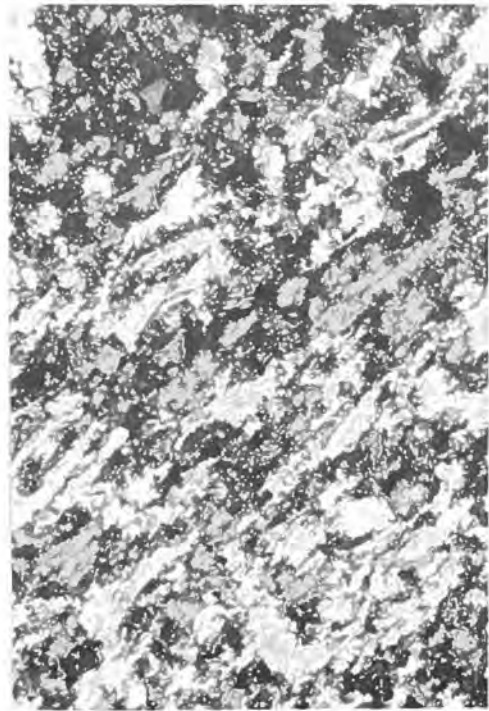
b



d



a



c

FIG. 3. Microfotografías de secciones delgadas. Nícoles cruzados, objetivo x 16: a- pelita; b- pelita; c- pelita; d- grauvaqa.

el tamaño de grano considerado, esta temperatura sería suficiente para producir la puesta a cero del sistema K-Ar (Hunziker *et al.*, 1986).

Acerca de la evolución de los materiales illíticos y de las consecuencias que esto tiene en el sistema K-Ar, Eberl (1993) comprobó que entre los 3-4 km de profundidad se produce la disolución de la esmectita y del feldespato potásico y la precipitación de illita, acompañada por una disminución de la edad aparente K-Ar tanto en la roca total como en la fracción < 0,1 μm ; entre los 4-6 km también ocurre una disminución en la edad aparente en la fracción < 0,1 μm que se relaciona con la recristalización progresiva de la illita por 'Ostwald ripening' (Eberl y Srodon, 1988), proceso por el cual se disuelven las partículas de illita más pequeñas y crecen las más gruesas a medida que la materia es transferida a través de la solución. Por lo tanto, la puesta a cero del sistema K-Ar en estas rocas se debería a pérdida de ^{40}Ar por difusión en las partículas más pequeñas, combinada con procesos de neoformación y recristalización de illita.

En la tabla 1 se presenta un resumen de las dataciones publicadas hasta la fecha para la Formación Puncoviscana en la zona considerada en este trabajo (al norte de los 23°S), y en la tabla 2 se presentan los resultados analíticos y las edades K-Ar obtenidas en este estudio junto con el I_c de cada muestra.

Como se observa en la tabla 1, las edades Rb-Sr y K-Ar sobre roca total muestran una gran dispersión (entre 569 y 450 Ma) que resulta muy difícil de explicar como resultado de un único proceso.

En este estudio se obtuvieron cuatro edades para el perfil de la quebrada del río Tin Tin coincidentes, si se considera el error analítico, que varían entre 545 Ma y 530 Ma. Estos resultados concuerdan con las edades por isocrona Rb-Sr obtenidas por Cordani *et al.* (1990) para la localidad de La Quesera y con una edad K-Ar obtenida por los mismos autores para la localidad de El Alisal, así como también con los obtenidos por Adams *et al.* (1989, 1990) en las localidades de La Quesera, Quebrada del Toro, Quebrada Don Bartolo y una de las que presentaron para Cuesta del Obispo (Tabla 1).

Para la quebrada de Escoipe se obtuvo una edad de 572 Ma, coincidente con uno de los valores presentados por Adams *et al.* (1990) para la localidad de Cuesta del Obispo. Ya Adams *et al.* (1989, 1990) había señalado que existían dos agrupamientos de edades y los atribuían a la posible existencia de dos eventos tectonometamórficos.

TABLA 1. DATACIONES RADIOMETRICAS PUBLICADAS HASTA LA FECHA PARA LA FORMACIÓN PUNCOVISCANA EN SU SECTOR NORORIENTAL.

Localidad	Isocrona Rb/Sr en roca total (Ma)	K-Ar en roca total (Ma)
Quebrada del Toro		485± 15 ⁽¹⁾
La Quesera, Salta	538± 23 ⁽²⁾	
La Quesera, Salta	520± 14 ⁽²⁾	
El Alisal, Campo Quijano		531± 11 ⁽²⁾
La Quesera, Salta		486± 15 ⁽²⁾
Quebrada del Toro		543± 7 ⁽³⁾
Quebrada del Toro		537± 6 ⁽³⁾
Cuesta del Obispo		569± 6 ⁽⁴⁾
Cuesta del Obispo		558± 6 ⁽⁴⁾
Purmarmarca, Jujuy		545± 6 ⁽⁴⁾
Quebrada Don Bartolo		540± 7 ⁽³⁾
Quebrada Don Bartolo		538± 7 ⁽³⁾
Rancagua, Cachi		450± 15 ⁽¹⁾
Rancagua, Cachi		410± 15 ⁽¹⁾
Rancagua, Cachi		451± 5 ⁽⁴⁾
Rancagua, Cachi		454± 5 ⁽⁴⁾

(Tomado de Toselli y Aceñolaza (1978)⁽¹⁾, Cordani *et al.* (1990)⁽²⁾, Adams *et al.* (1989)⁽³⁾, Adams *et al.* (1990)⁽⁴⁾).

En las muestras estudiadas no se han encontrado evidencias mineralógicas ni texturales de la existencia de dos eventos tectonometamórficos. Por ello, consideramos que el grupo de edades más antiguas (572-558 Ma), probablemente correspondan a la diagénesis que habría afectado a estas rocas, previo o durante las fases iniciales de la deformación de la cuenca. Para este proceso quedaría determinada una edad mínima de 570 Ma. El grupo de edades más jóvenes (545-530 Ma) estaría indicando la recristalización sincinemática de las micas, durante el proceso metamórfico de muy bajo grado que afectó a estas rocas durante la deformación causada por la Orogenia Tilcárica, proceso para el que se propone una edad mínima de 545 Ma. Consideramos que la dispersión de valores encontrada expresa las complejas transformaciones que sufre la illita en las cuencas sedimentarias (Eberl, *op. cit.*).

Se interpreta que las edades ordovícicas (485 y 486 Ma), obtenidas por otros autores por el método K-Ar sobre roca total estarían indicando una reapertura del sistema isotópico durante eventos tectónico-térmicos posteriores al considerado, vinculados posiblemente con la fase Oclóyica.

TABLA 2. RESULTADOS ANALITICOS Y EDADES K-AR OBTENIDAS EN ESTE ESTUDIO SOBRE FRACCION < 2µm.

AK No.	Roca	Localidad	K (%)	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ (10^{-10} mol/g)	$^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$ (%)	Edad (Ma)	I_c $^{2\theta}$
3443	Pelita	Escoipe	4,41	51,486	3,82	572±23	0,29
3444	Pelita	Tin Tin	5,08	56,021	6,74	545±22	0,37
3475	Pelita	Tin Tin	4,85	49,951	5,09	530±21	0,31
3476	Pelita	Tin Tin	4,94	51,263	5,74	539±22	0,30
3477	Pelita	Tin Tin	5,05	52,987	10,86	539±21	0,34

CONCLUSIONES

Las rocas de la Formación Puncoviscana en las localidades estudiadas sufrieron un metamorfismo de grado anquizona.

Se establece una edad mínima de 570 Ma para la diagénesis de estas rocas, de acuerdo a la edad

obtenida por el método K-Ar sobre fracción fina.

Se establece una edad mínima de 545 Ma para el proceso metamórfico de muy bajo grado que afectó a estas rocas durante la deformación de la Orogenia Tilcárica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. E. Linares del Instituto de Geología Isotópica (INGEIS) por las sugerencias brindadas, que permitieron mejorar el trabajo, al Sr. D. Cusnir (INGEIS) por la realización de los análisis de difracción láser, a la Dra. J. Rossi de Tosselli y

otros dos árbitros anónimos cuyos comentarios fueron de gran valor.

Esta es la contribución No. 137 del Instituto de Geología Isotópica (INGEIS).

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.G.; Miller, H.; Toselli, A.J. 1988. The Puncoviscana Formation (Late Precambrian-Early Cambrian). Sedimentology, tectonometamorphic history and age of the oldest rocks of NW Argentina. In The southern Central Andes: contributions to structure and evolution of an active continental margin (Bahlburg, H.; Bretkreuz, C.; Giese, P.; editors). *Lectures Notes in Earth Sciences*, No. 17, p. 25-38.
- Adams, C.; Miller, H.; Toselli, A.J. 1989. New K-Ar ages on the Metamorphic History of the Puncoviscana Formation and equivalents, NW Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Teil I, p. 987-997.
- Adams, C.; Miller, H.; Toselli, A.J. 1990. Nuevas edades de metamorfismo por el método K-Ar de la Formación Puncoviscana y equivalentes, NW de Argentina. In El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino (Aceñolaza, F.; Miller, H.; Toselli, A.; editores). *Serie Correlación Geológica*, No. 4, p. 209-219.
- Baldís, B.A.; Omarini, R.H. 1984. El Grupo Lema (Precámbrico-Cámbrico) en la comarca Central Salteña y su posición en el borde Pan-Americano. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 9, Actas, Vol. 1, p. 64-78. San Juan.
- Bonhomme, M.G. 1982. The use of Rb-Sr and K-Ar dating method as a stratigraphic tool applied to sedimentary rocks and minerals. *Precambrian Research*, Vol. 18, p. 5-25.
- Clauer, N. 1981. Rb-Sr and K-Ar dating of Precambrian Clays and Glauconites. *Precambrian Research*, Vol. 15, p. 331-352.
- Cordani, V.G.; Omarini, R.H.; Vancini, K.F.B.; Petronilho, L. 1990. Geocronología Rb/Sr y K/Ar del Complejo

- Granítico Santa Rosa de Tastil y de la Formación Puncoviscana, Salta, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, Actas, Vol. 2, p. 239-242. San Juan.
- Cox, A.; Dalrymple, G.B. 1967. Statistical analysis of geomagnetic reversal data and the precision of potassium-argon dating. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 72, p. 2603-2614.
- Do Campo, M.; Omarini, R. 1990. Contribución al estudio de la evolución diagenética de la Formación Puncoviscana en la Provincia de Salta, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, Actas, Vol. 2, p. 161-164. San Juan.
- Ebert, D.D. 1993. Three zones for illite formation during burial diagenesis and metamorphism. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 41, p. 26-37.
- Ebert, D.D.; Środoń, J. 1988. Ostwald Ripening and interparticle-diffraction effect for illite crystals. *American Mineralogist*, Vol. 73, p. 1335-1345.
- Hunziker, J.C. 1986. The evolution of illite to muscovite: an example of the behaviour of isotopes in low-grade metamorphic terrains. *Chemical Geology*, Vol. 57, p. 31-40.
- Jezek, P.; Miller, H. 1987. Petrology and facies analysis of turbiditic sedimentary rocks of the Puncoviscana trough (upper Precambrian-lower Cambrian) in the Basement of the NW-Argentine Andes. In *International Gondwana Symposium*, No. 6, *Geophysical Monograph*, No. 40, p. 287-298. Columbus, Ohio.
- Kisch, H. 1987. Correlation between indicators of very low grade metamorphism. In *Low Temperature Metamorphism* (Frey, M.; editor), *Blackie*, p. 227-300. Glasgow.
- Kisch, H.J. 1991. Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and inter-laboratory samples. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol. 9, p. 665-670.
- Kralik, M. 1983. Interpretation of K-Ar and Rb-Sr data from fine fractions of weakly metamorphosed shales and carbonate rocks at the base of the Northern Calcareous Alps (Salzburg, Austria). *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, Vol. 32, p. 49-67.
- Linares, E.; Kawashita, K.; Kleiner, L. 1973. Constantes de calibración y factores de corrección para la aplicación del método potasio-argón en el laboratorio del INGEIS. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 28, No. 2, p. 133-146.
- Mullis, J.; Stern, W.B.; de Capitani, C.; Frey, M.; Rahn, M.; Schwer, P.; Wang, H. 1993. Correlation of fluid inclusions temperatures with illite, smectite and chlorite «crystallinity» data and smear slide chemistry in sedimentary rocks from the external parts of the Central Alps (Switzerland). In *IGCP Project 294 Symposium Low Temperature Metamorphism, November 1993, Abstracts*, p. 92. Santiago.
- Omarini, R.H. 1983. Caracterización litológica, diferenciación y génesis de la Formación Puncoviscana entre el Valle de Lerma y la Faja Eruptiva de la Puna. Tesis de Doctorado (Inédito), *Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales*, 202 p.
- Omarini, R.H.; Baldis, B.A.J. 1984. Sedimentología y mecanismos deposicionales de la Formación Puncoviscana (Grupo Lerma, Precámbrico-Cámbrico) del noroeste argentino. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 9, Actas, Vol. 1, p. 384-398. Bariloche.
- Rossi, J.N.; Toselli, A.J.; Durand, F.R. 1992. Metamorfismo de bajapresión, su relación con el desarrollo de la cuenca de Puncoviscana, plutonismo y régimen tectónico, Argentina. *Estudios Geológicos*, Vol. 48, p. 279-287.
- Steiger, R.H.; Jäger, E. 1977. Subcommission on Geochronology: Convention on the use of Decay Constants in Geo- and Cosmo-chronology. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 36, p. 359-362.
- Toselli, A.J. 1981. Determinación preliminar del grado de metamorfismo en base a la cristalinidad de la illita en algunas localidades del noroeste argentino. *Revista del Instituto Correlación Geológica*, Vol. 4, p. 19-26.
- Toselli, A.J.; Aceñolaza, F.G. 1978. Geocronología de las Formaciones Puncoviscana y Suncho, provincias de Salta y Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 33, p. 76-104.
- Toselli, A.J.; Rossi de Toselli, J.N. 1982. Metamorfismo de la Formación Puncoviscana en las provincias de Salta y Tucumán, Argentina. In *Congreso Latinoamericano de Geología*, No. 5, Actas, Vol. 2, p. 37-52.
- Toselli, A.; Weber, K. 1982. Anquimetamorfismo en rocas del Paleozoico Inferior en el noroeste de Argentina. Valor de la cristalinidad de la illita como índice. *Acta Geológica Lilloana*, Vol. 16, No. 1, p. 187-200.
- Turner, J.C.M. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín*, Vol. 41, No. 2, p. 163-196. Córdoba.