

NOTA GEOLÓGICA

**Las bandas de cataclasitas ordovícicas del Monzogranito Tambillo:
manifestaciones de una subfase temprana de los movimientos
ocloyicos en el Cordón de Lila, norte de Chile**

María José Palacios Herrera¹, Hans Niemeyer², Sebastien Meffre³

¹ *Anglo American Mantos Blancos, Nicolás Tirado 377, Antofagasta, Chile.*

mjosepalacios@gmail.com

² *Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Angamos 0610, Antofagasta, Chile.*

hansn@ucn.cl

³ *ARC Centre of Excellence in Ore Deposits, School of Earth Sciences, Sandy Bay Campus, Geography-Geology Building, Private Bag 126, Hobart 7011, University of Tasmania, Hobart, Australia.*

sebastien.meffre@utas.ed.au

RESUMEN. Dos sistemas ‘conjugados’ de bandas de cataclasitas ordovícicas subverticales de ancho métrico y orientación noreste y noroeste han sido identificadas en el Monzogranito Tambillo, también de edad ordovícica. El sistema noreste es el más conspicuo y su análisis cinemático indica movimientos sinistres. El sistema noroeste es dextral y desplaza al sistema noreste. La disposición aproximada en ángulo recto de las bandas de cataclasitas sugiere que estas se formaron a partir de diaclasas producidas tardíamente, después del enfriamiento del Monzogranito Tambillo. Dicha configuración espacial de las bandas es fractal. Se sugiere una orientación norte-sur para σ_1 . La cataclasis se llevó a cabo durante el Tremadociano tardío y podría alcanzar al Darriwilliano, constituyendo una subfase temprana de los movimientos oclóyicos. Numerosos diques granodioríticos se emplazaron a lo largo de las bandas, que formaron zonas de debilidad para su emplazamiento.

Palabras clave: Cataclasitas, Ordovícico, Movimientos oclóyicos, Cordón de Lila, Atacama, Chile.

ABSTRACT. Ordovician Cataclasite Bands in the Tambillo Monzogranite: Expression of an Early subphase of the Oclóyic movements in the Cordón Lila, northern Chile. Two ‘conjugate’ systems of subvertical ordovician cataclastic bands of metric wide and whose strike are northeast and northwest are studied in the eastern border of Tambillo Monzogranite, also of Ordovician age. The northeastern system is the most conspicuous and its kinematic analysis shows sinistral displacement. The northwestern system is dextral and offsets the northeastern system. The two directions of bands form approximately right angle suggesting that they formed from joints after the Tambillo Monzogranite cooled. The spatial pattern of the cataclastic bands is fractal. It is suggested a north-south orientation for σ_1 . Cataclasis occurred during the Late Tremadocian and could attain the Darriwillian and it is assigned to an early subphase of the Oclóyic movements. A number of granodioritic dykes intruded along the bands that were weak zones used for their emplacement.

Keywords: Cataclasites, Ordovician, Oclóyic movements, Cordón de Lila, Atacama, Chile.

1. Introducción

Las deformaciones ocurridas durante el Ordovícico en los Andes chileno-argentinos se han atribuido a la fase tectónica oclóyica según la definición inicial de Turner y Méndez (1975). Posteriormente, el concepto se aplicó en extensas comarcas, y para distintos tipos de deformación, tanto en la Puna (Ramos, 1986; Mon y Hongn, 1987), el sistema de Famatina (Pérez *et al.*, 1991) y la Precordillera (Astini, 1998) en Argentina como en el Cordón de Lila, en Chile (Mpodozis *et al.*, 1983). Por su parte, Astini (1998) sugirió llamar más bien movimientos oclóyicos a estos rasgos, dejando abierta la posibilidad de que ellos abarquen, en realidad, varias subfases.

El propósito de la presente nota es dar a conocer la existencia de bandas de cataclasitas ordovícicas en el Monzogranito Tambillo, de la misma edad. Se atribuye la cataclasis a una subfase temprana de los movimientos oclóyicos, no reportada anteriormente en la literatura geológica.

2. Metodología

Para el mapeo e interpretación fotogeológica de las bandas de cataclasitas se utilizaron imágenes satelitales de acceso público. El graficado de las medidas estructurales y el correspondiente análisis cinemático según el método de los diedros se realizó utilizando el software FAULTKIN™ versión 1.2 para WINDOWS™. Los datos de fallas se introdujeron al programa, indicando el barrido o *rake* de la estría y su sentido de movimiento establecido mediante uno o más criterios cinemáticos (*e.g.*, Petit, 1987). Se separaron circones de dos muestras de 3 kg cada una, en dos cuerpos plutónicos. La separación de los circones se realizó en los Laboratorios del Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile. Se efectuaron sendas dataciones radiométricas en cada uno de los plutones por el método U-Pb en circones individuales mediante LA-ICP-MS en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad de Tasmania en Hobart, Australia, según la metodología establecida en Jackson *et al.* (2004). Una de las muestras (TA-1HN11-08) proviene del Monzogranito Tambillo y en ella se analizaron 24 circones. La otra muestra corresponde a un pórfido riolítico (R1HN1108) en la cual se analizaron 12 circones. La cantidad de circones analizada en cada uno de los cuerpos plutónicos resultó ser adecuada para el propósito de efectuar el correspondiente tratamiento estadístico de los datos

isotópicos en gráficos de concordia, los que arrojaron un error analítico <1% en la determinación de la edad geológica de cada uno de ellos.

3. Marco geológico

El macizo del Cordón de Lila se extiende inmediatamente al sur del salar de Atacama, Norte de Chile, y está casi exclusivamente formado por rocas paleozoicas (Fig. 1). La unidad estratificada más antigua corresponde a basaltos y brechas volcánicas dacíticas con intercalaciones de turbiditas, del Tremadociano-Arenigiano medio y se incluye dentro del Complejo ígneo-sedimentario del Cordón de Lila (CISL; Niemeyer, 1989; Damm *et al.*, 1990; Zimmermann *et al.*, 2010). El CISL se observa intruido, a su vez, por varios cuerpos plutónicos de edad ordovícica: Monzogranito Tucúcaro, Sienita Tilopozo, Granodiorita Pingo-Pingo y Monzogranito Tambillo (Mpodozis *et al.*, 1983). Estos plutones se emplazaron en el lapso que va del Tremadociano al Darriwilliano. El CISL se encuentra cubierto mediante discordancia angular y de erosión por la Formación Quebrada Grande, formada por conglomerados, areniscas y lutitas del Arenigiano superior-Llanvirniano inferior (González *et al.*, 2007). A su vez, sobre el CISL se disponen las cuarzoarenitas y areniscas calcáreas de la Formación Quebrada Ancha, del Llandoveriano (Niemeyer *et al.*, 2010). Sobre todas las unidades mencionadas se observan, mediante contacto transgresivo, las areniscas y conglomerados de la Formación Lila, del Devónico (Cecioni, 1982; Breitreuz, 1986). Finalmente, en el extremo norte del Cordón de Lila afloran los Estratos de Cerro Negro, que consisten en dacitas y andesitas del Pérmico (Muñoz y Niemeyer, 2009). Intruyendo a esta última unidad se observa el Pórfido feldespático de Quebrada Ancha y la Monzodiorita Chinquilchoro, ambos del Pérmico (Niemeyer, en prensa). La Falla Tucúcaro, de actividad cuaternaria, atraviesa todo el Cordón de Lila en dirección norte-sur. Igual cosa hace, pero en menor escala, la Falla Tambillo, que atraviesa con la misma dirección el extremo oriental del Monzogranito Tambillo. Cubriendo un paleorrelieve más suave que el actual, se disponen, en todo el Cordón de Lila, la Ignimbrita Tucúcaro y gravas no consolidadas del Plioceno-Pleistoceno (Ramírez y Gardeweg, 1982).

4. La franja de cataclasitas al este del Cordón de Lila

En el Cordón de Lila existen dos franjas de cataclasitas que se alojan en rocas graníticas del

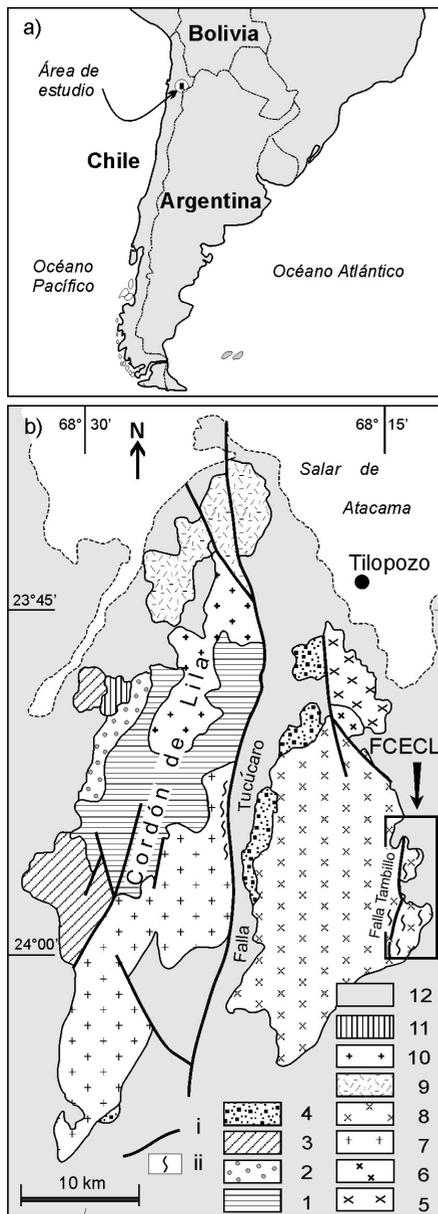


FIG. 1. a. Ubicación del área estudiada; b. Mapa geológico simplificado del Cordón de Lila. i. fallas; ii. franjas de cataclasitas. 1. Complejo ígneo-sedimentario del Cordón de Lila, CISL (Tremadociano-Arenigiano medio); 2. Formación Quebrada Grande (Arenigiano superior-Llanvirniano inferior); 3. Formación Quebrada Ancha (Llandoveryano); 4. Formación Lila (Devónico); 5. Monzogranito Tucúcaro (Tremadociano-Arenigiano inferior); 6. Sienita Tilopozo (Tremadociano superior-Arenigiano inferior); 7. Granodiorita Pingo-Pingo (Arenigiano inferior); 8. Monzogranito Tambillo (Tremadociano-Arenigiano inferior); 9. Estratos de Cerro Negro (Pérmico); 10. Monzodiorita Chiquilchoro (Pérmico); 11. Pórfido dacítico (Pérmico); 12. Ignimbrita Tucúcaro y Gravas (Plioceno-Pleistoceno).

Ordovícico: una en la Granodiorita Pingo-Pingo, posiblemente asociada a la Falla Tucúcaro y la otra, en el borde oriental del Monzogranito Tambillo. La presente nota dice relación solo con la segunda, denominada Franja de Cataclasitas Este del Cordón de Lila (FCECL, Fig. 1). Debe indicarse al respecto que no necesariamente ambas franjas se produjeron simultáneamente. En efecto, mientras la edad de la primera permanece aún desconocida, la edad de la segunda es ordovícica y se da a conocer en este trabajo.

La FCECL tiene un ancho máximo de 5 km y una longitud de 8-10 km. Su límite occidental es aproximadamente la Falla Tambillo (Kuhn, 1997), la que tuvo actividad posterior al Plioceno (post-Ignimbrita Tucúcaro), cortando y desplazando a las bandas de cataclasitas. El límite oriental de la FCECL consiste en una falla inversa que monta las rocas graníticas ordovícicas sobre la Ignimbrita Tucúcaro (Plioceno) en el Callejón de Tilopozo (Fig. 2). Esta última constituye, a su vez, el límite oriental del Cordón de Lila, tanto desde el punto de vista geológico como morfológico.

Las rocas del Monzogranito Tambillo en la FCECL corresponden a un monzogranito de biotita y anfíbola, cuyo grano es medio a grueso y su color gris claro. Una edad radiométrica U-Pb de dicho cuerpo de $483,6 \pm 3,8$ Ma (Tabla 1) fue obtenida en una muestra proveniente de su sector central, a una distancia de 10 km hacia el oeste de la FCECL.

Diques andesítico-dioríticos de anchos decimétricos a métricos, con variedades texturales desde microfaneríticas a porfíricas, de color gris verdoso oscuro a claro, atraviesan al Monzogranito Tambillo en la FCECL. Los escasos fenocristales en los diques corresponden a plagioclasa, anfíbola y biotita. La masa fundamental es microlítica sin orientación preferente y se observa alterada a clorita. La edad de estos diques es desconocida, pero se ha observado que se emplazan al interior de las bandas de cataclasitas, mas se encuentran libres de cataclisis, lo que indica que son posteriores a ésta.

Un pequeño stock de pórfido feldespático de color pardo rosado intruye tanto a las rocas del Monzogranito Tambillo como a las cataclasitas. Su petrografía se caracteriza por la presencia de fenocristales de plagioclasa, cuarzo con textura de embahiamiento, feldespato potásico y biotita en una masa fundamental afanítica. Una determinación U-Pb en circones individuales de este cuerpo indica que la edad de emplazamiento es de $466,2 \pm 3,0$ Ma (Tabla 2). Dicha edad concuerda plenamente con las relaciones

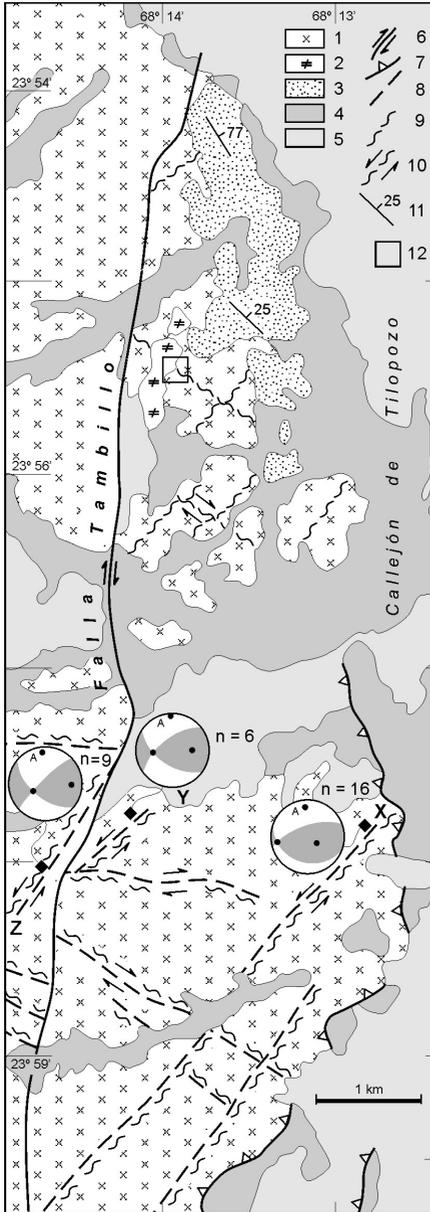


FIG. 2. Mapa geológico detallado de la Franja de Cataclasitas Este del Cordón de Lila (FCECL). 1. Monzogranito Tambillo (Tremadociano-Arenigiano inferior); 2. Pórfido feldespático (Arenigiano superior-Llanvirniano inferior); 3. Formación Lila (Devónico); 4. Ignimbrita Tucúcaro (Plioceno); 5. Gravas (Pleistoceno); 6. Sentido de cizalle en fallas transcurrentes (Arenigiano-Llanvirniano inferior); 7. Fallas inversas; 8. Diques andesítico-dioríticos (ζ Ordovícico?); 9. Bandas de cataclasitas; 10. Bandas de cataclasitas con sentido de movimiento transcurrente indicado; 11. Rumbo y manto de estratos; 12. Lugar de figura 3. Se indican los diédros de acortamiento (en blanco) y extensión (en gris), con el eje de acortamiento A para las bandas de cataclasitas X, Y y Z. Se indica, además, el número de medidas en cada uno de los diédros.

de contacto observadas en terreno y proporciona la edad mínima para las cataclasitas. En el contacto con ellas, el pórfido presenta un borde de enfriamiento de unos 3-5 cm de ancho que se caracteriza por una textura afanítica, la que contrasta con la textura porfirica de su centro (Fig. 3).

5. Bandas de cataclasitas en la FCECL

En lo que sigue se describe tanto la disposición espacial de las bandas de cataclasitas como su petrografía dentro de la FCECL.

5.1. Disposición espacial

Las cataclasitas se distribuyen dentro de la FCECL según bandas estrechas de solo 1-5 m de espesor (Fig. 4) de rumbo noreste y noroeste y manto subvertical. Afectan a rocas del Monzogranito Tambillo, donde son fácilmente reconocibles por su color oscuro debido a la concentración en ellas de minerales tales como clorita, epidota y hematita. Entre las bandas afloran zonas poligonales de roca graníticas de color claro no afectadas por la cataclasis.

5.2. Petrografía

La intensidad de la cataclasis aumenta desde el borde hasta el centro de las bandas de cataclasitas, como se ejemplifica con el caso de la banda de cataclasitas Z (Fig. 4). En efecto, se observa un paso transicional entre la textura de grano grueso del monzogranito afectado solo por algunas fracturas (protocataclastita), hasta su zona central, donde la fábrica está definida por microfragmentos angulosos de cuarzo y feldespato con un abundante cemento de calcita, clorita y epidota (Fig. 5), lo que permite denominarla ultracataclastita según la clasificación de Sibson (1977).

6. Cinemática de los sistemas de bandas de cataclasitas

Las bandas de cataclasitas dentro de la FCECL se orientan según dos sistemas, de orientación noreste y noroeste, respectivamente.

6.1. Sistema noereste

Este sistema está constituido por las bandas de cataclasitas más conspicuas dentro de la FCECL.

TABLA 1. DATOS GEOQUÍMICOS ISOTÓPICOS DE DATACIÓN U-Pb EN CIRCONES DEL MONZOGRANITO TAMBILLO (MUESTRA TA1HN1108).

Muestra	$^{207}\text{cor } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		Ti	Hf	Pb	Th
	edad	± 1 error estándar	razón	± 1 RSE	razón	± 1 RSE	razón	± 1 RSE	ppm	ppm	ppm	ppm
TA1HN11-08	409	4	0,0660	1,0%	0,0151	3,5%	0,0615	1,9%	55	11.093	26	324
TA1HN11-08	412	8	0,0665	1,9%	0,0253	3,3%	0,0611	1,8%	7	12.378	27	230
TA1HN11-08	455	5	0,0733	1,2%	0,0236	4,0%	0,0581	2,7%	7	12.047	13	88
TA1HN11-08	469	7	0,0756	1,6%	0,0205	4,6%	0,0583	4,1%	37	11.113	12	115
TA1HN11-08	470	10	0,0760	2,1%	0,0260	5,4%	0,0610	3,3%	17	10.003	9	44
TA1HN11-08	472	9	0,0761	1,9%	0,0224	4,5%	0,0582	2,5%	6	12.061	13	86
TA1HN11-08	473	9	0,0790	2,0%	0,0270	5,2%	0,0868	5,3%	13	11.104	23	227
TA1HN11-08	473	8	0,0763	1,7%	0,0234	3,5%	0,0583	2,3%	427	10.917	20	200
TA1HN11-08	473	10	0,0766	2,1%	0,0236	4,6%	0,0607	2,9%	14	9.639	10	76
TA1HN11-08	476	9	0,0768	1,9%	0,0236	4,1%	0,0591	2,6%	15	11.170	14	115
TA1HN11-08	477	9	0,0771	2,0%	0,0238	4,0%	0,0597	2,3%	6	11.961	14	98
TA1HN11-08	478	5	0,0771	1,1%	0,0237	3,5%	0,0574	2,7%	9	11.384	16	140
TA1HN11-08	481	6	0,0774	1,3%	0,0231	4,5%	0,0573	3,3%	10	10.762	8	53
TA1HN11-08	482	4	0,0778	0,8%	0,0243	3,3%	0,0588	1,9%	10	10.822	24	177
TA1HN11-08	483	4	0,0776	0,8%	0,0241	3,1%	0,0552	1,7%	7	12.186	35	278
TA1HN11-08	483	9	0,0781	1,8%	0,0257	4,0%	0,0597	2,3%	8	10.946	16	99
TA1HN11-08	485	9	0,0780	1,8%	0,0230	4,1%	0,0552	2,8%	9	11.389	14	131
TA1HN11-08	487	9	0,0783	1,8%	0,0232	3,7%	0,0555	2,5%	13	10.133	15	190
TA1HN11-08	487	5	0,0786	1,2%	0,0247	4,0%	0,0588	2,9%	10	10.515	13	91
TA1HN11-08	487	7	0,0783	1,4%	0,0235	3,1%	0,0544	1,9%	6	12.794	38	307
TA1HN11-08	494	5	0,0795	1,1%	0,0242	3,9%	0,0562	2,7%	20	9.297	13	105
TA1HN11-08	496	6	0,0796	1,2%	0,0235	4,0%	0,0539	2,7%	6	11.654	13	94
TA1HN11-08	497	9	0,0800	1,8%	0,0254	4,0%	0,0552	2,5%	8	11.504	15	119
TA1HN11-08	498	5	0,0803	1,1%	0,0248	3,7%	0,0561	2,8%	8	11.200	13	97

Muestra	U ppm	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		Pb común a la edad del circón	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
		razón	± 1 error estándar	razón	± 1 error estándar		edad	± 1 error estándar	edad	± 1 error estándar	edad	± 1 error estándar
TA1HN11-08	359	15,16	0,15	0,0615	0,0012	0,863	412	4	303	11	657	41
TA1HN11-08	361	15,05	0,29	0,0611	0,0011	0,864	415	5	504	17	643	39
TA1HN11-08	168	13,65	0,16	0,0581	0,0016	0,867	456	5	472	19	534	60
TA1HN11-08	157	13,22	0,22	0,0583	0,0024	0,868	470	8	411	19	540	89
TA1HN11-08	113	13,15	0,28	0,0610	0,0020	0,868	472	7	519	28	638	70
TA1HN11-08	166	13,13	0,25	0,0582	0,0014	0,868	473	6	449	20	536	54
TA1HN11-08	262	12,65	0,25	0,0868	0,0046	0,869	490	10	539	28	1356	101
TA1HN11-08	228	13,11	0,22	0,0583	0,0013	0,868	474	5	467	16	539	49
TA1HN11-08	120	13,05	0,27	0,0607	0,0017	0,868	476	7	471	22	629	62
TA1HN11-08	163	13,02	0,24	0,0591	0,0015	0,868	477	6	471	19	570	56
TA1HN11-08	170	12,97	0,25	0,0597	0,0014	0,868	479	6	476	19	593	50
TA1HN11-08	193	12,98	0,14	0,0574	0,0016	0,868	479	5	473	16	506	60
TA1HN11-08	103	12,91	0,17	0,0573	0,0019	0,868	481	6	462	21	505	72
TA1HN11-08	294	12,86	0,11	0,0588	0,0011	0,868	483	4	484	16	560	42
TA1HN11-08	414	12,89	0,10	0,0552	0,0009	0,868	482	4	482	15	422	37
TA1HN11-08	188	12,81	0,23	0,0597	0,0014	0,869	485	6	513	21	592	50
TA1HN11-08	163	12,83	0,23	0,0552	0,0016	0,869	484	6	460	19	422	63
TA1HN11-08	159	12,77	0,23	0,0555	0,0014	0,869	486	6	463	17	434	55
TA1HN11-08	154	12,72	0,15	0,0588	0,0017	0,869	488	6	493	20	561	63
TA1HN11-08	440	12,77	0,18	0,0544	0,0010	0,869	486	4	470	14	386	42
TA1HN11-08	148	12,58	0,14	0,0562	0,0015	0,869	493	6	483	19	459	60
TA1HN11-08	153	12,56	0,16	0,0539	0,0015	0,869	494	6	470	19	366	61
TA1HN11-08	167	12,50	0,23	0,0552	0,0014	0,869	496	6	506	20	420	57
TA1HN11-08	156	12,46	0,14	0,0561	0,0016	0,870	498	5	494	18	456	62

TABLA 2. DATOS GEOQUÍMICOS ISOTÓPICOS DE DATACIÓN U-Pb EN CIRCONES DE PÓRFIDO FELDESPÁTICO (MUESTRA R1-HN11-08).

Muestra	$^{207}\text{cor } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		Ti	Hf	Pb	Th	U
	edad	± 1 error estándar	razón	± 1 RSE	razón	± 1 RSE	razón	± 1 RSE	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
R1-HN11-08	457	6	0,0735	1,3%	0,0185	3,9%	0,0561	1,9%	5	11.484	25	182	332
R1-HN11-08	461	5	0,0742	1,1%	0,0227	3,2%	0,0567	1,4%	3	12.228	32	199	404
R1-HN11-08	463	5	0,0746	1,1%	0,0232	3,5%	0,0575	1,4%	9	9.429	22	117	279
R1-HN11-08	466	5	0,0750	1,1%	0,0229	3,3%	0,0571	1,3%	3	11.731	32	141	429
R1-HN11-08	466	5	0,0750	1,1%	0,0234	3,4%	0,0571	1,5%	9	10.909	26	143	338
R1-HN11-08	467	5	0,0750	1,2%	0,0232	3,9%	0,0549	1,9%	5	9.630	16	78	206
R1-HN11-08	467	5	0,0753	1,1%	0,0230	3,1%	0,0571	1,6%	737	10.736	25	196	307
R1-HN11-08	469	5	0,0754	1,1%	0,0233	3,0%	0,0559	1,3%	9	9.965	42	247	537
R1-HN11-08	469	5	0,0755	1,0%	0,0234	3,4%	0,0568	1,5%	6	10.411	29	136	380
R1-HN11-08	471	6	0,0758	1,4%	0,0236	3,2%	0,0567	2,0%	11	10.526	16	167	185
R1-HN11-08	471	5	0,0759	1,0%	0,0235	3,5%	0,0577	1,3%	5	10.306	29	131	376
R1-HN11-08	487	5	0,0783	1,1%	0,0242	3,2%	0,0558	1,2%	7	10.866	41	225	501

Muestra	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		Pb común			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
	razón	± 1 error estándar	razón	± 1 error estándar	a la edad del circon	edad	± 1 error estándar	edad	± 1 error estándar	edad	± 1 error estándar	
R1-HN11-08	13,61	0,17	0,0561	0,0010	0,867	457	6	371	14	455	41	
R1-HN11-08	13,47	0,15	0,0567	0,0008	0,867	462	5	454	15	480	32	
R1-HN11-08	13,40	0,14	0,0575	0,0008	0,867	464	5	464	16	511	31	
R1-HN11-08	13,34	0,15	0,0571	0,0008	0,867	466	5	457	15	496	30	
R1-HN11-08	13,33	0,15	0,0571	0,0009	0,867	466	5	469	16	496	34	
R1-HN11-08	13,33	0,16	0,0549	0,0010	0,867	466	6	463	18	407	42	
R1-HN11-08	13,29	0,15	0,0571	0,0009	0,867	468	5	460	14	495	35	
R1-HN11-08	13,27	0,14	0,0559	0,0007	0,867	468	5	466	14	447	28	
R1-HN11-08	13,25	0,14	0,0568	0,0008	0,867	469	5	468	16	483	32	
R1-HN11-08	13,20	0,18	0,0567	0,0011	0,868	471	7	471	15	482	43	
R1-HN11-08	13,18	0,13	0,0577	0,0008	0,868	472	5	470	17	520	29	
R1-HN11-08	12,77	0,14	0,0558	0,0007	0,869	486	5	482	16	445	28	

Elas tienen un ancho individual de 1-5 m y forman un sistema de rumbo noreste con corridas de 2-4 km y de manteos subverticales. El espaciamento entre las bandas es de 1-2 km. Se observa que las bandas de esta orientación alojan en su parte central, es decir, aquella con mayor grado de cataclasis, a diques andesítico-dioríticos no deformados de similar corrida (2-3 km). Se estudió la cinemática de dos de estas bandas: banda X (N40E/80NW) y banda Y (N60E/72NE). La banda X muestra una cinemática sinistral-inversa con barrido de sus estrías de falla de $<45^\circ$. La banda Y muestra, en cambio, una cinemática inversa-sinistral, con un barrido de $>45^\circ$. Además, en este último caso, las fallas presentan un manteo menor que en el caso de la banda X. Pese a ello, y no

obstante que la configuración de sus diedros refleja la cinemática anteriormente señalada, los ejes de acortamiento para las dos bandas ocupan posiciones muy similares (Fig. 2).

6.2. Sistema noroeste

El otro sistema de bandas de cataclasitas dentro de la FCECL tiene un rumbo noroeste (Fig. 2), aproximadamente perpendicular al sistema de bandas de cataclasitas noreste. Las observaciones en varias de estas bandas indican un sentido de movimiento dextral para ellas. Este sistema tiene una menor expresión en corrida, pero su ancho y petrografía son similares a las de las bandas del sistema noreste. Este sistema

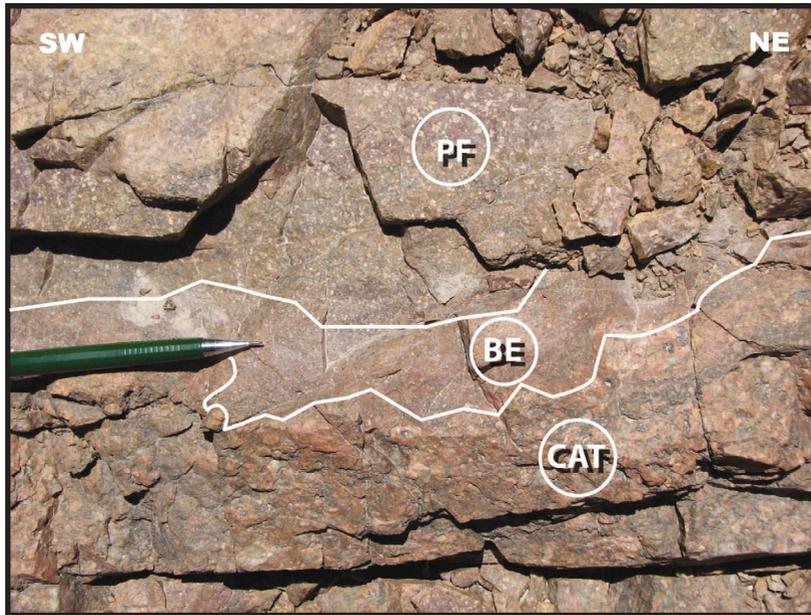


FIG. 3. Contacto entre el Pórfido feldespático y una banda de cataclasitas. **PF**: centro de textura porfirica del pórfido feldespático; **BE**: borde enfriado de textura afanítica del pórfido feldespático; **CAT**: cataclasita desarrollada en rocas del Monzogranito Tambillo.

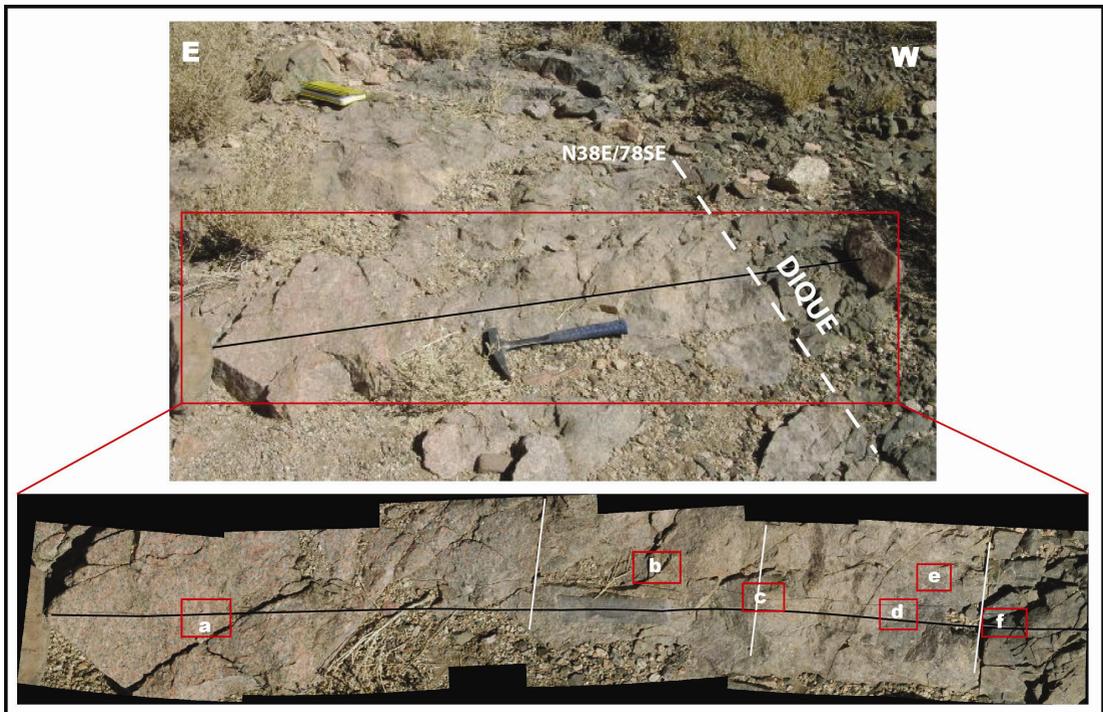


FIG. 4. Perfil a través de la banda de cataclasitas **Z**, que varía desde protocataclasitas, a la izquierda, hasta ultracataclasitas, a la derecha. Un dique microdiorítico de 2 m de ancho se emplazó en el centro de la banda de cataclasitas, cuya posición del borde se indica. Las letras **a**, **b**, **c**, **d**, **e** y **f** indican lugares con muestra, cada una de las cuales corresponde a las microfotografías de la figura 5. Los sectores señalados con **a**, **b** y **c** corresponden a protocataclasitas, en tanto que los sectores **d**, **e** y **f** son ultracataclasitas.

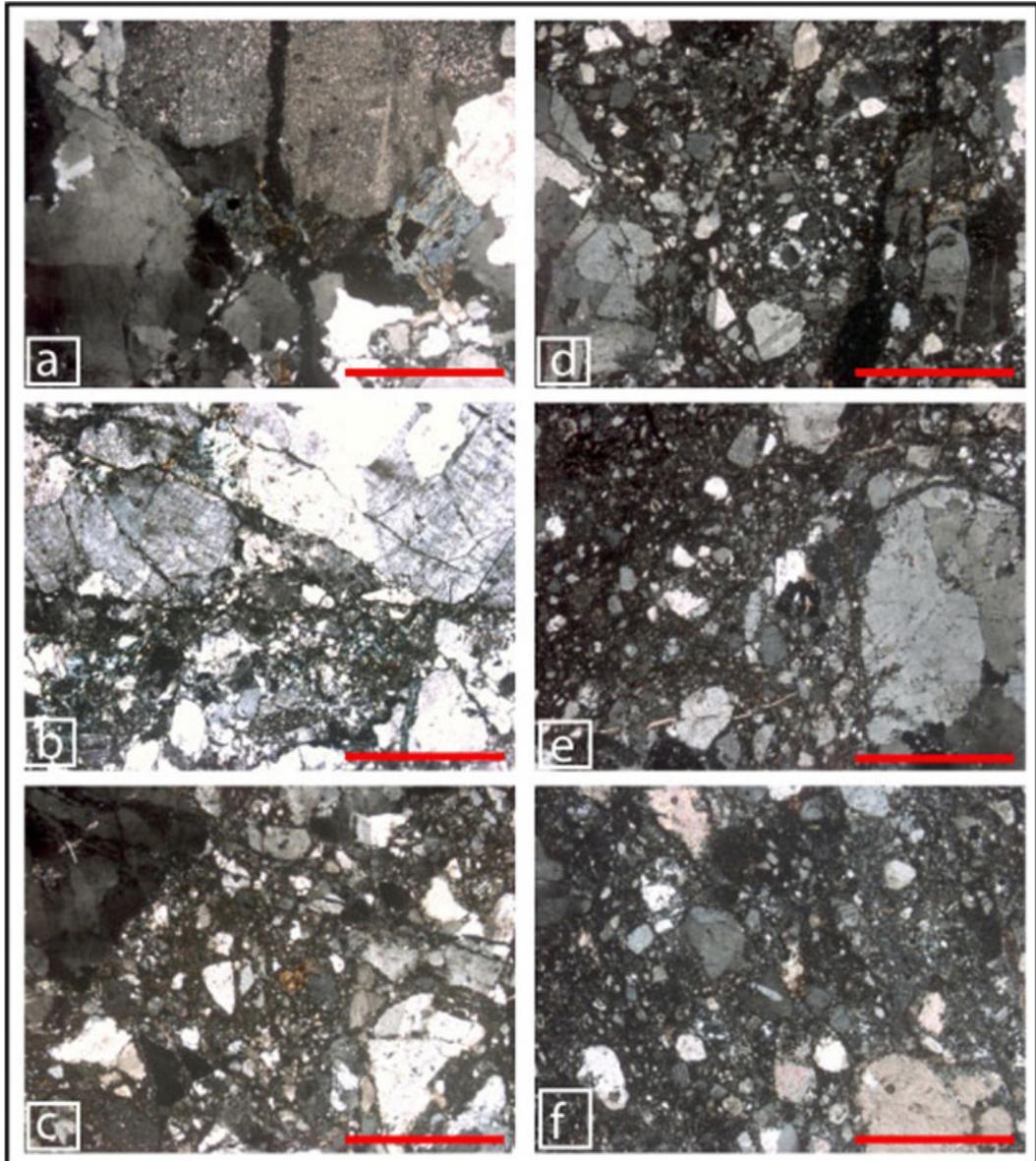


FIG. 5. Serie de fotografías al microscopio de cortes transparentes en muestras procedentes de los lugares a hasta f de la figura 4. Se observa un aumento gradual del grado de cataclasis, desde protocataclasis (a, b y c) hasta ultracataclasis (d, e y f). La barra corresponde a 100 micrones en todos los casos.

corta al anterior y lo desplaza en sentido dextral por varios metros.

7. Discusión

Forzosamente las bandas de cataclasitas en la FCECL son anteriores al Devónico, puesto que estas y, por ende el Monzogranito Tambillo que las

aloja, se observan cubiertos por rocas sedimentarias de esa edad, pertenecientes a la Formación Lila. La máxima edad posible para el fenómeno de cataclasis está dada por la edad máxima de 488 Ma del propio Monzogranito Tambillo que las contiene, que es el máximo valor dado por su error analítico. La edad mínima para la cataclasis está marcada por la intrusión del pórfido feldespático, que corta las bandas de

cataclasitas. Dicha edad se encuentra comprendida dentro del lapso 469-463 Ma, que es la amplitud del error analítico correspondiente a la edad radiométrica de dicho cuerpo. Consecuentemente, la edad posible de la cataclasis abarca la parte alta del Tremadociano e incluso podría llegar al Darriwilliano.

Las bandas de cataclasitas del flanco oriental del Monzogranito Tambillo son claramente ordovícicas. Se interpretan como una subfase temprana de los movimientos oclóyicos, en el sentido dado por Astini (1998), cuando el Monzogranito Tambillo estaba ya frío y sus partes superficiales estuvieron sometidas a diaclasamiento (Davis y Reynolds, 1996). Esto lo sugiere tanto el paralelismo observado entre diaclasas y las bandas de cataclasis, así como también la disposición en ángulo recto de los dos sistemas de bandas cataclásticas. Ambos sistemas se consideran 'conjugados' y sus desplazamientos habrían ocurrido en etapas sucesivas (Ramsay y Huber, 1987): primero los del sistema noreste y después los del sistema noroeste. Sobre la base de su disposición espacial y de sus respectivos sentidos de movimiento, se infiere que los dos sistemas de bandas cataclásticas fueron generados por un σ_1 con orientación norte-sur.

8. Conclusiones

La edad del proceso de cataclasis registrado en rocas del Monzogranito Tambillo comprende un rango que abarca parte del Tremadociano y podría llegar hasta el Darriwilliano. Representa el producto de una subfase temprana de los movimientos oclóyicos. Las bandas de cataclasitas tienen dos direcciones de rumbo noreste y noroeste, con manteos subverticales y constituyen sistemas 'conjugados' con movimientos sinistral y dextral, respectivamente. Esto sugiere una orientación norte-sur para σ_1 . Las bandas de cataclasitas constituyeron planos de debilidad favorables al emplazamiento de diques posteriores, los cuales se emplazaron en aquellas zonas con mayor intensidad de la cataclasis, es decir, en sus partes centrales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al estudiante de geología J. Páez por su asistencia en terreno. Asimismo, a L. Jofré por la confección de los dibujos de mapas. R. Allmendinger facilitó el programa para el procesamiento de los datos estructurales sobre fallas. G. González, M. Calderón y M. Suárez revisaron una versión inicial del manuscrito.

Referencias

- Astini, R.A. 1998. El Conglomerado de Las Vacas y el Grupo Trapiche de la Precordillera: tectónica distensiva en el Ordovícico Tardío. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53 (4): 489-503.
- Breitkreuz, Ch. 1986. Das Paläozoikum in den Kordilleren Nordchiles (21°-25°S). *Geotektonische Forschungen*, Heft 70 (I-II): 1-88.
- Cecioni, A. 1982. El Devónico inferior de la Formación Lila, Región de Antofagasta., Chile. *In Congreso Geológico Chileno*, No. 3, Actas 3: F-160-F-178. Concepción.
- Damm, K.W.; Pichowiak, S.; Harmon, R.S.; Todt, W.; Kelley, S.; Omarini, R.; Niemeyer, H. 1990. Pre-Mesozoic evolution of the central Andes: The basement revisited. *In Plutonism from Antarctica to Alaska* (Kay, S.M.; Rapela, C.W.; editors). Geological Society of America, Special Paper 241: 101-126.
- Davis, G.H.; Reynolds, S.J. 1996. *Structural Geology of Rocks and Regions*. John Wiley and Sons, Inc.: 776 p.
- Evans, J.P. 1990. Textures, deformation mechanisms, and the role of fluids in the cataclastic deformation of granitic rocks. *In Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics* (Knipe, R.J.; Rutter, E.H.; editors). Geological Society of London, Special Publication 54: 29-39.
- González, J.; Niemeyer, H.; Benedetto, J.L.; Brussa, E.D. 2007. The Ordovician Quebrada Grande Formation, Cordón de Lila (Antofagasta Region, Northern Chile): stratigraphic and paleogeographic significance. *Revista Geológica de Chile* 34 (2): 277-290.
- Jackson, S.E.; Pearson, N.J.; Griffin, W.L.; Belousova, E.A. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to *in situ* U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology* 211: 47-69.
- Kuhn, D. 1997. Deformation analyse der Salar de Atacama Region (Nordchile) und Interpretation des neotektonischen Spannungsfeldes. Tesis Doktor der Naturwissenschaften. Institut für Angewandte Geowissenschaften II, Technische Universität Berlin D83: 133 p.
- Mon, R.; Hongn, F. 1987. Estructura del Ordovícico de la Puna. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42 (1-2): 31-38.
- Mpodozis, C.; Hervé, F.; Davidson, J.; Rivano, S. 1983. Los granitoides de Cerros de Lila, manifestaciones de un episodio intrusivo y termal del Paleozoico inferior en los Andes del norte de Chile. *Revista Geológica de Chile* 18: 3-14.

- Muñoz, C.; Niemeyer, H. 2009. Antecedentes petrográficos y geoquímicos de los Estratos de Cerro Negro, Cordón de Lila, Norte de Chile. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 12, Actas 2: S8-021. Santiago.
- Niemeyer, H. 1989. El Complejo ígneo-sedimentario del Cordón de Lila, Región de Antofagasta: significado tectónico. *Revista Geológica de Chile* 16 (2): 163-181.
- Niemeyer, H. En prensa. Carta Cerro Lila-Peine, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. Escala 1:100.000.
- Niemeyer, H.; Álvarez, F.; Boucot, A.J.; Bruna, M. 2010. Brachiopods from Cordón de Lila, Lower Silurian (Llandovery) Quebrada Ancha Formation, Antofagasta Region, Chile. *Special Papers in Paleontology* 84: 287-307.
- Pérez, W.A.; Lencina, R.; Durand, F. 1991. Las milonitas de la Sierra de Paimán, La Rioja, Argentina: indicadores cinemáticos, edad y significado geotectónico. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 6, Actas 1: 6-10. Viña del Mar.
- Petit, J.P. 1987. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *Journal of Structural Geology* 9 (5-6): 597-608.
- Ramírez, C.F.; Gardeweg, M. 1982. Geología de la Hoja Toconao, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 54: 117 p., 1 mapa escala 1: 250.000. Santiago.
- Ramos, V.A. 1986. El Diastrofismo Oclóyico: Un ejemplo de Tectónica de colisión durante el Eopaleozoico en el Noroeste Argentino. *Revista del Instituto de Geología y Minería* 6: 13-28.
- Ramsay, J.G.; Huber, M.I. 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology. Folds and Fractures* 2. Academic Press: 700 p.
- Sibson, R.H. 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society of London* 133: 191-213.
- Turner, J.C.; Méndez, V. 1975. Geología del sector oriental de los departamentos de Santa Victoria e Iruya, Provincia de Salta, República Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 51 (1-2): 11-24.
- Zimmermann, U.; Niemeyer, H.; Meffre, S. 2010. Revealing the continental margin of Gondwana: the Ordovician arc of the Cordón de Lila (northern Chile). *In* *International Journal of Earth Sciences* 99 (Supplement 1): S39-S56.