

**LA IGNIMBRITA OXAYA Y LA CALDERA LAUCA: UN EVENTO EXPLOSIVO DE GRAN VOLUMEN DEL MIOCENO INFERIOR EN LA REGION DE ARICA (ANDES CENTRALES; 18-19°S)**García, M.<sup>1</sup>, Gardeweg, M.<sup>1</sup>, Hérail, G.<sup>2</sup>, Pérez de Arce, C.<sup>1</sup>**INTRODUCCION**

En los Andes Centrales del sur de Perú y norte de Chile (13-21° S; ~1000 km), durante el Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (26-16 Ma) fue erupcionado un gran volumen de ignimbritas ácidas (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11). El elevado volumen (>50<sup>3</sup>) de estos depósitos sugiere que sus fuentes de origen sean calderas de colapso (eg., 12), las cuales, a la fecha, no han sido identificadas. Por otra parte, su gran extensión y continuidad las consigna como excelentes niveles guías (13), útiles tanto en correlaciones estratigráficas como en análisis estructural.

En el presente trabajo se discute la distribución de facies y edad de una ignimbrita miocena inferior del extremo norte de Chile (región de Arica), y se identifica su probable caldera.

**LAS IGNIMBRITAS OLIGO-MIOCENAS DE ARICA**

Una sucesión formada por 4 a 7 extensas ignimbritas, con intercalaciones sedimentarias aluviales y lacustres, se reconoce en la Pampa Oxaya y Depresión Central de la región de Arica (18-19°S), denominada Formación Oxaya (14), que corresponde a una serie subhorizontal de hasta 1.000 m de espesor apoyada en discordancia sobre rocas del Mesozoico-Paleoceno. En las tobas se han obtenido cerca de 25 edades (principalmente K-Ar en biotita) entre 25,5 y 19,3 Ma (7, 16, 9, 10, 11). Entre estos depósitos, uno de los más voluminosos y continuos es la Ignimbrita Oxaya (I.O.) (~21 Ma), que forma el plateau ignimbritico de la Pampa Oxaya y en gran parte el techo de la formación homónima. Sobreyace a la Ignimbrita Livilcar (~22,8 Ma) y subyace a la Ignimbrita Sucuna (~19,3 Ma) (15).

Hacia el este, en la alta Cordillera Occidental, ignimbritas subhorizontales han sido consideradas como una extensión oriental de la Formación Oxaya (14) y sus dataciones entre 25 a 19 Ma confirman esta asignación (15, 8, 11). En el borde oeste de la alta Cordillera Occidental (entre Zapahuira y Tignámar), 3 a 6 ignimbritas voluminosas, intercaladas con andesitas, dacitas y sedimentos, constituyen la Formación Lupica (1.000-3.000 m de espesor), una secuencia localmente muy deformada y alterada, asignada preliminarmente al Cretácico-Paleógeno (14). Sin embargo, el mapeo a escala 1:50.000, apoyado con edades radiométricas (K-Ar en biotita y U-Pb en circón), muestra que la Formación Lupica (a) presenta suaves y locales discordancias sindepositacionales, (b) su edad es Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, (c) puede ser continuada estructuralmente con la Formación Oxaya (eg., 16, 17, 10) (Fig. 1). En resumen, la Formación Lupica (al este) representa la acumulación proximal del arco volcánico oligo-mioceno, mientras que la Formación Oxaya (al oeste) representa los depósitos distales. El conjunto fue posteriormente deformado y el contacto entre las dos unidades es actualmente tectónico (Fig. 1). En la parte intermedia de la Formación Lupica se reconoce también a la I.O., al oeste sobre una toba de ~23 Ma y bajo una de ~19 Ma (16), y al este en discordancia angular bajo una dacita de 15,8±0,7 Ma (K-Ar en biotita).

**LA IGNIMBRITA OXAYA**

La I.O. se reconoce en la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Occidental de la región de Arica. Presenta variaciones laterales de facies, cuyo estudio nos permite interpretar su emplazamiento. Estas facies se exponen discontinuamente en un Dominio Estructural Occidental que comprende la Formación Oxaya y en los dominios Central y Oriental que comprenden la Formación Lupica (Fig. 1A).

**Dominio Occidental.** En este extenso dominio, la I.O. tiene un espesor que varía de 100-200 m en la Pampa Oxaya oriental, a 5-25 m en la Cordillera de la Costa (80 km más al oeste). La ignimbrita, de colores pardo rosáceo y gris claro, es muy extensa y continua lateralmente, de facies maciza y homogénea (sin

<sup>1</sup> Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile. Av. Santa María 0104, Providencia, Santiago. Chile.

<sup>2</sup> Institut de Recherche pour le Développement. 209-213 Rue La Fayette, 75010, Paris, France.

estratificación interna). El grado de soldamiento y granulometría del depósito disminuyen hacia el oeste, sugiriendo que en esta dirección nos alejamos del centro de emisión. Petrográficamente, la I.O. corresponde a una toba vítrea, de abundantes cristales (milimétricos) y escasos líticos andesíticos (centimétricos). Entre los cristales, ocurre sistemáticamente cuarzo (15-20%), sanidina (15-20%), plagioclasa (5-10%), biotita (1-3%) y oxihornblenda (0-2%). Análisis químicos, de pómez y roca total, indican que la I.O. es de composición riolítica (73-78% de  $\text{SiO}_2$ ) y afinidad calco-alcalina de alto K (4,5-5,7% de  $\text{K}_2\text{O}$ ), composición consistente con la mineralogía rica en cuarzo y sanidina. Once dataciones (K-Ar en biotita) realizadas en este dominio, muestran valores entre  $20,5 \pm 0,6$  a  $22,0 \pm 0,9$  Ma (Tabla 1; Formación Oxaya y Sedimentos Cordillera Costa). Una edad (K-Ar en feldespato) de  $19,9 \pm 1$  Ma (Tabla 1), es levemente menor, pero concordante con las edades en biotita. En el Dominio Occidental, la I.O. se extiende en forma continua por al menos 100 km en sentido N-S (N Qda. Lluta-S Qda. Camarones), y por ~80 km en sentido E-W, indicando una extensión de, al menos,  $8000 \text{ km}^2$ . Considerando un espesor promedio de 100 m para la I.O., se estima un volumen mínimo de  $800 \text{ km}^3$ .

**Dominio Central.** En el borde oeste de la alta Cordillera Occidental (entre Zapahuira y Tignámar), se expone una ignimbrita relativamente extensa y continua, de colores gris claro y pardo, cuyo espesor varía de 50 a 150 m. Se encuentra plegada pero no alterada. Sus características físicas (granulometría, homogeneidad, soldamiento) y asociación mineralógica son idénticas que las de la I.O. descrita en el Dominio Occidental. Localmente, al este (en Lupica), muestra facies brechosas líticas. El volumen de estos afloramientos de ignimbrita se estima en  $50 \text{ km}^3$ . Dos edades (K-Ar en biotita) de  $20,9 \pm 0,4$  y  $21 \pm 0,7$  Ma se obtuvieron en este depósito (Tabla 1, Fig. 1A). La equivalencia de facies y edad entre las ignimbritas de los dominios Occidental y Central, permiten considerarlas como el mismo depósito de flujo piroclástico. El promedio ponderado de las 13 edades (K-Ar en biotita) de la I.O. es de  $21,2 \pm 0,6$  Ma (Tabla 1). En la I.O. se conoce una Polaridad Magnética Normal (9), consistente con el periodo de polaridad normal de 21 a 21,3 Ma (18). La gran extensión lateral, el relativamente reducido espesor y la facies de la I.O. en los dominios Occidental y Central, indican que se trata de un depósito piroclástico de extracaldera.

**Dominio Oriental.** En el Cordón Belén (Fig. 1C), se expone una brecha piroclástica de gran espesor (900-1100 m), extensa (~50 km en sentido norte-sur) y continua, que se expone principalmente en un abrupto escarpe semicircular cóncavo hacia el este. Se dispone inclinada suavemente (~10°) al este. La brecha presenta un grado moderado a avanzado de soldamiento y parcial alteración hidrotermal propilítica (y silicificación). Verticalmente, la brecha es muy heterogénea pero continua, con una estratificación interna mal definida. En la mitad inferior muestra facies de megabrecha de colapso, formada por bloques decamétricos (y hectométricos?) de andesitas y areniscas de la Formación Lupica inferior. En la mitad superior, el depósito, de colores pardo, celeste y rosado, es más homogéneo, y con mayor abundancia de matriz ignimbritica (los bloques líticos disminuyen en granulometría y abundancia). Para la datación K-Ar de este depósito, se muestrearon selectivamente dos sitios. En una localidad la biotita dio una edad de  $20,4 \pm 0,6$  Ma y en la otra el feldespato dio una edad de  $21,9 \pm 0,9$  Ma, produciendo un promedio de  $20,9 \pm 0,7$  Ma (Tabla 1) (Fig. 1A). La matriz ignimbritica de la brecha contiene la misma asociación mineralógica (cuarzo, sanidina, plagioclasa, biotita y oxihornblenda) que la I.O. extracaldera. De acuerdo a la concordancia en edades K-Ar, a la similar posición estratigráfica y a la similitud mineralógica, correlacionamos la brecha piroclástica del Cordón Belén con la I.O. Por otra parte, dados su gran espesor, facies de colapso, mayor soldamiento y alteración, interpretamos la brecha del Cordón Belén como correspondiente a la facies de intracaldera de la I.O.

## LA CALDERA LAUCA

La distribución de la I.O. intracaldera indica que la caldera asociada a este depósito ocupa gran parte del Cordón Belén y de la cuenca del río Lauca, en la alta Cordillera Occidental (Fig. 1C). Proponemos el nombre de Caldera Lauca para esta depresión volcánica. La geometría de la Caldera Lauca aparece bien definida sólo en su tercio occidental, el cual se observa deformado y expuesto a la erosión; los dos tercios orientales están cubiertos. El borde estructural occidental, entre la I.O. extracaldera (del Dominio Central) y la I.O. intracaldera, está representado por una falla regional de alto ángulo, inclinada al este y de movimiento normal durante el Oligoceno Superior (Falla Nacientes Qda. Belén; 15) (Fig. 1A y B). El borde estructural oriental de la depresión volcánica se infiere sobre la base de consideraciones estratigráficas y estructurales. Entre los volcanes Choquelimpie y Guallatiri (Fig. 1C), la Formación Lupica, datada en  $25,4 \pm 0,7$  Ma (8) y  $19 \pm 0,6$  Ma (15) tiene un espesor menor (~1.500 m) que en la zona de Belén, y no contiene intercalada la potente secuencia de la I.O. intracaldera. La extracaldera tampoco ha sido observada en esta región. Sin embargo, 30 km al este (Altiplano boliviano occidental), una ignimbrita de ~50 m de espesor y datada (K-Ar en biotita) en  $21,2 \pm 0,6$  Ma (19), indica que la I.O. extracaldera podría haberse extendido también hacia el este. Se infiere, por lo tanto, que el borde oriental de la Caldera Lauca se encontraría hacia el oeste de los volcanes

Choquelimpie y Guallatiri, y cubierto por sedimentos aluviales y lacustres mio-pliocenos (Formación Lauca; 20). En esta última región, se propone como borde estructural más probable una falla de alto ángulo inclinada al oeste, la cual tendría una reactivación en falla inversa asociada a la formación del Anticlinal Queñuacollo (Fig. 1A).

El borde Sur de la Caldera Lauca se ubica al Norte de Chucal, ya que en esta zona la Formación Lupica tampoco tiene intercalada la I.O. intracaldera. Allí, una ignimbrita de  $21,7 \pm 0,8$  Ma (17), correlacionable con la I.O. muestra espesor y facies de extracaldera. Hacia el Norte de la cuenca Lauca, el borde septentrional de la caldera estaría cubierto por el Complejo Volcánico Vilañuñumani-Tejene del Mioceno Superior. La extensión de la I.O. intracaldera, y su límite oriental propuesto, sugieren que la caldera tendría una forma elíptica con un diámetro N-S de  $\sim 50$  km y un diámetro E-W de  $\sim 23$  km (Fig. 1B), *i.e.*, de una superficie cercana a  $900$  km<sup>2</sup>. Considerando un espesor de  $\sim 700$  m de la matriz ignimbrítica en la brecha de intracaldera, se obtiene un volumen de  $630$  km<sup>3</sup>. Este volumen es del mismo orden de magnitud que el de la I.O. extracaldera, siendo consistente con lo observado en otras calderas del mundo (*eg.*, 12).

## CONCLUSIONES

La Ignimbrita Oxaya es un depósito de flujo piroclástico de gran volumen, estimado en al menos  $1.500$  km<sup>3</sup>, el cual indica que su origen estaría asociado a un evento eruptivo formador de caldera. Corresponde a una toba vítrea de cristales (cuarzo, sanidina, plagioclasa, biotita, oxihornblenda), de composición riolítica y afinidad calcoalcalina de alto K. Las facies de intra y extracaldera identificadas muestran similares asociaciones mineralógicas y edades K-Ar ( $21,2 \pm 0,6$  Ma promedio de la extracaldera, y  $20,9 \pm 0,7$  Ma promedio de la intracaldera), pero notables diferencias físicas. Entre estas últimas destacan el espesor (cerca de 10 veces mayor en la intracaldera), abundantes facies brechosas en la intracaldera y gran extensión areal de la extracaldera. La caldera que la originó, Caldera Lauca, correspondería a una estructura elongada en dirección N-S, de  $50 \times 23$  km<sup>2</sup> que ocuparía gran parte del Cordón de Belén y de la cuenca del río Lauca, de la cual sólo se observa el margen occidental.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó como parte de los programas de cartografía e investigación del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN), en el marco del Proyecto Multinacional Andino (MAP), siendo, además, un aporte al Proyecto Geodinámica Andina (I.R.D.). Publicación auspiciada y patrocinada por la Subdirección Nacional de Geología, SERNAGEOMIN.

## REFERENCIAS

1. Mortimer, C.; Farrar, E.; Saric, N. 1974. K-Ar ages from Tertiary lavas of the northernmost Chilean Andes. *Geol. Rundsch.*, 63, p. 484-489.
2. Bellón, H.; Lefèvre, C. 1976. Données géochronométriques sur le volcanisme andin dans le sud du Pérou. Implications volcano-tectoniques. *C. R. Acad. Sc. Paris, Série D*, p. 1-4.
3. Baker, M.C.W.; Francis, P.H. 1978. Upper Cenozoic volcanism in the Central Andes: Ages and volumes. *Earth and Planetary Science Letters*, 41, p. 175-187.
4. Tosdal, R. M.; Farrar, E.; Clark, A., H. 1981. K-Ar geochronology of the late Cenozoic volcanic rocks of the Cordillera Occidental, southernmost Perú. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 10, p. 157-173.
5. McKee, E.; Noble, D. 1982. Miocene volcanism and deformation in the western Cordillera and high plateaus of south-central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 93, p. 657-662.
6. Vatin-Perignon, N.; Vivier, G.; Sébrier, M.; Fornari, M. 1982. Les dernières événements andins marqués par le volcanisme cénozoïque de la Cordillère Occidentale sud-péruvienne et de son piémont pacifique entre  $15^{\circ}45'$  et  $18^{\circ}$  S. *Bull. Soc. Geol. France*, 24(3), p. 649-650.
7. Naranjo, J., A.; Paskoff, R. 1985. Evolución cenozoica del piedemonte andino en la Pampa del Tamarugal, Norte de Chile ( $18^{\circ}$ - $21^{\circ}$ S). *In Actas IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta*, V. 5, p. 149-164.
8. Muñoz, N.; Charrier, R. 1996. Uplift of the western border of the Altiplano on a west-vergent thrust system, Northern Chile. *J. South Amer. Earth Sci.*, 9, p. 171-181.
9. Parraguez, G. 1998. Sedimentología y geomorfología producto de la tectónica cenozoica, en la Depresión Central, Pampa de Chaca, I Región de Tarapacá, Chile. Memoria de Título, U. de Chile, 108 p.
10. García, M.; Hérail, G.; Gardeweg, M. 1999. Oligo-Miocene ignimbritic volcanism of northern Chile (Arica region): stratigraphy and geochronology. *Fourth ISAG, Göttingen, Germany*, p. 253-258.



11. Wörner, G.; Henjes-Kunst, F.; Lezaun, J.; Hammerschmidt, K.; Friedrichsen, H.; Horn, S.; Rundle, C.; Walfort, B.; Wilke, H. Ar-Ar and K-Ar ages of Cenozoic magmatic rocks from Northern Chile (18-22° S). Somatido a la Revista Geológica de Chile.
12. Lipman, P. 1984. The roots of ash flow calderas in Western North America: windows into the tops of granitic batholiths. *Journal of Geophysical Research*, 89, p. 8801-8841.
13. Hildreth, W.; Mahood, G; 1985. Correlation of ash-flow tuffs. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 96. P. 968-974.
14. Salas, R.; Kast, R.; Montecinos, F.; Salas, I. 1966. Geología y Recursos Minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. *Inst. de Invest. Geol. de Chile, Boletín* 21, 130 p.
15. Aguirre, E. 1990. Geología del Complejo Volcánico Choquelimpie-Ajoya, Altiplano de Arica, I Región. Memoria de Título. U. de Chile. 150 p.
16. García, M. 1996. Geología y estructura del borde del Altiplano occidental, en el área de Belén (Chile). Tesis de Magister y Memoria de Título, U. de Chile, 111 p.
17. Riquelme, R. 1998. Evolución tectonosedimentaria post-oligocénica del borde occidental del Altiplano, entre Tignámar y el Salar de Surire, I Región, Chile. Tesis de Magister y Memoria de Título, U. de Chile, 123 p.
18. Cande, S.; Kent, D. 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, 100 (B4), 6093-6096.
19. Rochat, P.; 2000. Structure et cinématique de l'Altiplano Nord Bolivien au sein des Andes Centrales. Tesis de Doctorado (no publicado). Universidad de Grenoble (France). 170 p.
20. Kött, A.; Gaupp, R.; Wörner, G. 1995. Miocene to Recent history of the Western Altiplano in Northern Chile revealed by lacustrine sediments of the Lauca Basin (18°15'- 18°40'S / 69°30'- 69°05' W). *Geologische Rundschau*, 84, p. 770-780.

TABLA 1. EDADES K-AR DE LA IGIMBRITA OXAYA.

Muestra	Long. W / UTM E (km)	Lat. S / UTM N (km)	Formación (unidad)	Mineral	% K	Edad (Ma)	Error ±2σ	Referencia	
<b>Ignimbrita Oxaya Extracaldera</b>									
GP-1	70°07.9'	18°30.5'	Formación Oxaya	Biotita	7.117	20.5	±0.6	Parraguez (1998)	
MAL-109	385.05	7889.85	Formación Oxaya	Biotita	7.028	20.6	±0.8	Este trabajo	
GP-2	70°07.9'	18°30.5'	Formación Oxaya	Biotita	7.18	20.9	±0.7	Parraguez (1998)	
MAL-183	7942.5	411.85	Formación Oxaya	Biotita	6.465	21.2	±0.6	Este trabajo	
				Feldespatos	3.555	19.9	±1.0		
MAL-180	7925.05	370.2	Formación Oxaya	Biotita	7.034	21.3	±0.7	Este trabajo	
MAL-116	427.25	7976.9	Formación Oxaya	Biotita	7.244	21.4	±0.7	Este trabajo	
G-46	69°37.3'	18°23.6'	Formación Oxaya	Biotita	6.231	21.6	±0.6	García (1996)	
MAL-37	395.35	7895.4	Formación Oxaya	Biotita	6.743	22.0	±0.9	Este trabajo	
MAL-1	427.25	7913.9	Formación Oxaya	Biotita	5.998	22.0	±0.6	Este trabajo	
MAL-186	7942.6	366.9	Sedtos. Cordillera Costa	Biotita	7.075	21.2	±0.5	Este trabajo	
MAL-166	363.9	7900.25	Sedtos. Cordillera Costa	Biotita	7.251	21.8	±0.8	Este trabajo	
MAL-140	446.65	7954.1	Formación Lupica (Mbro. Interm.)	Biotita	6.845	20.9	±0.4	Este trabajo	
MAL-131	444.35	7958.4	Formación Lupica (Mbro. Interm.)	Biotita	6.957	21.0	±0.7	Este trabajo	
						Promedio pond. (bi)	<b>21.2</b>	<b>±0.6</b>	
<b>Ignimbrita Oxaya Intracaldera (Brecha Cordón Belén)</b>									
MAL-95	7959.6	452.5	Formación Lupica (Mbro. Interm.)	Biotita	6.013	20.4	±0.6	Este trabajo	
MAL-98	7957.7	455.35	Formación Lupica (Mbro. Interm.)	Feldespatos	2.948	21.9	±0.9	Este trabajo	
						Promedio pond. (bi y fd)	<b>20.9</b>	<b>±0.7</b>	

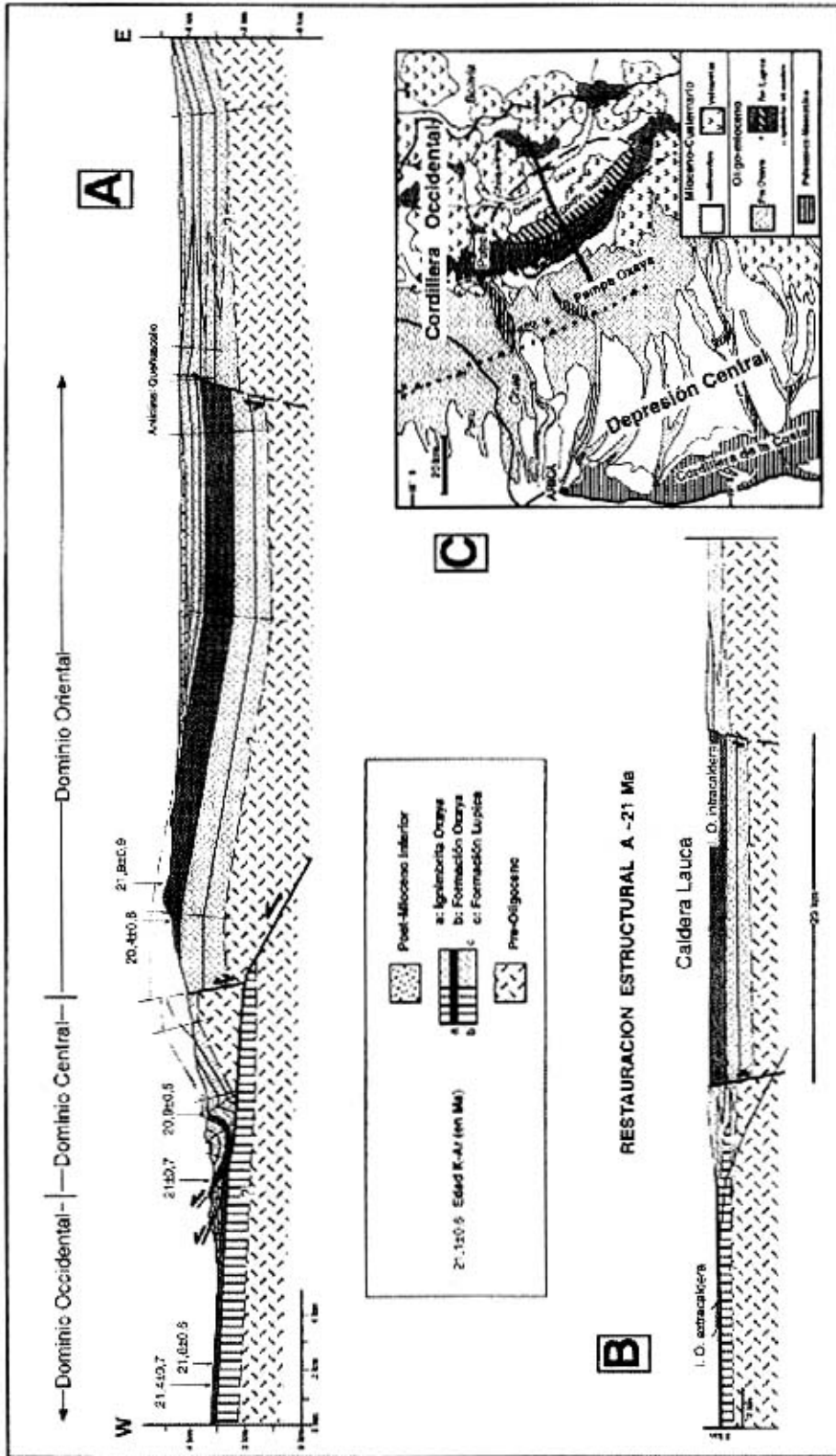


Fig. 1 A. Perfil estructural balanceado mostrando las relaciones entre la Ignimbrita Oxaya intra y extracaldera. Algunas de las edades K-Ar están indicadas. B. Restauración del emplazamiento de la I.O. C. Mapa geológico simplificado de la región de Arica, donde se observa la ubicación del perfil estudiado, la distribución de la I.O. intracaldera y la extensión más probable de la Caldera Lauca.