

LAS IGNIMBRITAS DEL COMPLEJO VOLCANICO CORANZULI (PUNA ARGENTINA-ANDES CENTRALES)

R. Seggiaro (*), S.A. Gorustovich (***) y J. Martí (***)

RESUMEN

El Coranzuli es uno de los grandes complejos volcánicos que representan el remate final de las Cadenas Volcánicas Transversales de la Puna Argentina, en los Andes Centrales. Se trata de un complejo volcánico del Mioceno superior situado a los 66° 15' W 23° S en el NW de Argentina en la provincia de Jujuy, en la intersección entre dos fallas regionales de dirección NE-SW y NW-SE, respectivamente. La actividad eruptiva se caracterizó por la existencia de, al menos, cuatro erupciones ignimbríticas que produjeron cuatro diferentes mantos ignimbríticos. Se trata de ignimbritas bien soldadas, muy ricas en cristales, pobre en fragmentos líticos y que presentan un contenido en fragmentos pumíticos de moderado a alto. El volumen total que representan estas ignimbritas supera los 650 km³. Los datos preliminares indican que el magma juvenil deriva de una cámara magmática homogénea no zonada. Las características de emplazamiento de estas ignimbritas, así como la falta de depósitos plinianos de caída en la base o intercalados entre las ignimbritas sugieren que las erupciones se desarrollaron rápidamente en unas proporciones masivas.

Palabras clave: *Ignimbritas, C° Coranzuli, Andes Centrales, Puna Argentina.*

ABSTRACT

The Coranzulí is a large Upper Miocene volcanic complex located on a NE-SW and NW-SE regional faults intersection, at 66° 15' W 23° S, in the Northwest of Argentina in Jujuy province. It corresponds to one of four large volcanic complexes which represent the end of Transversal Volcanic Chains in La Puna Argentina in the Central Andes. The volcanic activity was characterized by at least four separate ignimbrite eruptions which produced four different ignimbrite sheets. These are well welded, very crystal-rich, lithic poor ignimbrites and have a moderate to high pumice content. The total volume of the Coranzulí ignimbrites exceeds 650 Km³. Preliminary data indicate that the eruption occurred from a homogeneous magmatic chamber without zoning. The emplacement characteristics of the ignimbrites and the lack of basal or interbedded plinian fall deposits suggest that the eruptions developed quickly to massive proportions.

Key words: *Ignimbrites, C° Coranzulí, Central Andes, Puna Argentina.*

Introducción

El volcanismo cenozoico de los Andes Centrales está representado mayoritariamente por ignimbritas dacíticas y riolíticas. Estos materiales volcánicos forman extensos "plateaux" que cubren una superficie del orden de los 200.000 km² (Thorpe *et al.*, 1982). A menudo, dichas ignim-

britas se acumulan formando verdaderos escudos alrededor del centro emisor, el cual presenta en ocasiones una estructura central de colapso (caldera), como es el caso del Cerro Galán en el NW de Argentina (Francis *et al.* 1979; Sparks *et al.*, 1985).

El Coranzulí es uno de los grandes complejos volcánicos representantes del volcanismo reciente

(*) Catedra de Petrología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Salta.

(**) Comisión Nacional de Energía Atómica. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Salta. C/ Buenos Aires, 177. 4400 Salta (Argentina).

(***) Instituto de Geología "Jaime Almera" (CSIC). C/ Martí i Franqués, s/n. 08028 Barcelona (España).

de los Andes Centrales y más concretamente de la Puna (Altiplano) Argentina. Se halla situado aproximadamente a los 66° 15' W y 23° S, en el extremo NW de la Puna Argentina en la Provincia de Jujuy, en el cruce entre dos fracturas regionales de dirección NW-SE y NE-SW, respectivamente (fig. 1). Se trata de un edificio volcánico formado posiblemente a través de diversos episodios eruptivos, durante el último de los cuales se generaron varias unidades ignimbríticas que cubren en total una superficie de más de 2.500 Km² (fig. 2 y 3). En este trabajo se presentan los primeros resultados referentes al estudio de estas ignimbritas.

Marco tectónico

El volcanismo reciente de la cordillera de los Andes es un claro reflejo de un proceso de subducción en el que una placa oceánica subduce bajo litosfera continental, de forma que dicha cordillera representa un arco magmático limitado en su vertiente W por una fosa oceánica y hacia el E por un cinturón volcánico.

Los centros volcánicos recientes pueden agruparse en tres zonas distintas que responden a un espesor de la corteza continental diferente en cada una de ellas y a una variación del ángulo de inclinación de la zona de Benioff (Baranzangi y Isacks, 1976, 1979; Thorpe y Francis, 1979; Thorpe *et al.*, 1982, 1984). En el sector correspondiente a los Andes Centrales, entre los paralelos 16° y 28° latitud S (Sur de Perú, Norte de Argentina y Chile), la corteza continental presenta un grosor anormal de unos 70 Kms. (James, 1971; Coobing y Pitcher, 1972; Thorpe *et al.* 1981), mientras que la inclinación del plano de Benioff varía entre 25° y 30° (Stander, 1973; Switt y Cars, 1974; Berazangi e Isacks, 1976; Jordan *et al.* 1983). En este sector el volcanismo se asocia a la Placa de Nazca, la cual subduce a una velocidad media de 10 cm./año (Minster *et al.*, 1974). La petrología y geoquímica de estas rocas (ver p.e. Thorpe *et al.*, 1982, 1984) demuestra que se trata de una asociación basalto-andesita-dacitariolita calcoalcalina, que incluye grandes volúmenes de ignimbritas de composición dacita-riolita, con una gradación hacia el E a lavas más alcalinas.

En el sector de los Andes Centrales comprendido entre los paralelos 20° S y 28° S (Puna o Altiplano) (fig. 1) se produjo una sucesión de arcos magmáticos desarrollados a partir del Mesozoico y que en general tuvieron una migración hacia el E (Salfiti *et al.*, 1984; Viramonte *et al.*, 1984; Jordan, 1984), de tal forma que los arcos más anti-

guos, pertenecientes al Mesozoico, Cenozoico inferior y Oligoceno superior a Mioceno inferior se desarrollaron principalmente en Chile y parte de Bolivia, mientras que en Argentina el momento más álgido del volcanismo tuvo lugar durante el Mioceno superior.

El volcanismo cenozoico empieza a manifestarse en la Puna Argentina a partir de la fase Pehuenche, durante el Oligoceno-Mioceno (23-24 m.a.), con secuencias piroclásticas intercaladas en depósitos sedimentarios continentales (Coira, 1982). A partir del desarrollo de la fase Quechua inicial, durante el Mioceno medio (12 m.a.), el magmatismo adquiere una mayor relevancia con el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos cuyas direcciones presentan un estricto control tectónico (Schwab y Lippott, 1974; Coira, 1979). Durante el Mioceno superior y en relación con el diastrofismo correspondiente a la fase Quechua principal (7 m.a.) se generan edificios volcánicos centrales y los característicos mantos ignimbríticos generalmente asociados a la configuración de grandes calderas. A este ciclo volcánico, representado casi exclusivamente por términos evolucionados de la serie calcoalcalina, en su mayoría dacitas, corresponden las ignimbritas del Coranzulí.

Finalmente, durante el Plio-Pleistoceno tuvo lugar una etapa distensiva en respuesta al carácter compresivo de la fase Diaguita (2 m.a.) (Salfiti *et al.*, 1984), hecho que facilitó la extrusión de importantes volúmenes de lavas (andesitas basálticas y shoshonitas) cuyos centros de emisión se encuentran dispuestos, principalmente, en sentido meridiano a lo largo de la cadena andina.

El volcanismo post-Oligoceno de la Puna se distribuye en dos alineaciones principales de orientación submeridiana que configuran la Faja Volcánica Occidental, a lo largo del límite internacional Chile-Argentina-Bolivia y la Faja Volcánica Oriental (Viramonte *et al.*, 1984). Esta última está formada por calderas y grandes complejos volcánicos, como el Coranzulí (Coira, 1979), Quevar (Vilela, 1953), Galán (Francis *et al.*, 1978) y Farallón Negro (Llambias, 1972), que constituyen el remate oriental de las denominadas Cadenas Volcánicas Transversales (fig. 1) las cuales penetran hacia el E con rumbo WNW-ESE a lo largo de los grandes lineamientos denominados Coyaguayma, Calama-Olacapato-Toro, Archibarca-Galán y Carachipampa-Farallon Negro (Salfiti *et al.*, 1984; Viramonte *et al.*, 1984). Estos lineamientos se comportaron como umbrales que regularon la sedimentación terciaria formando cuencas independientes (Salfiti *et al.*, 1984).

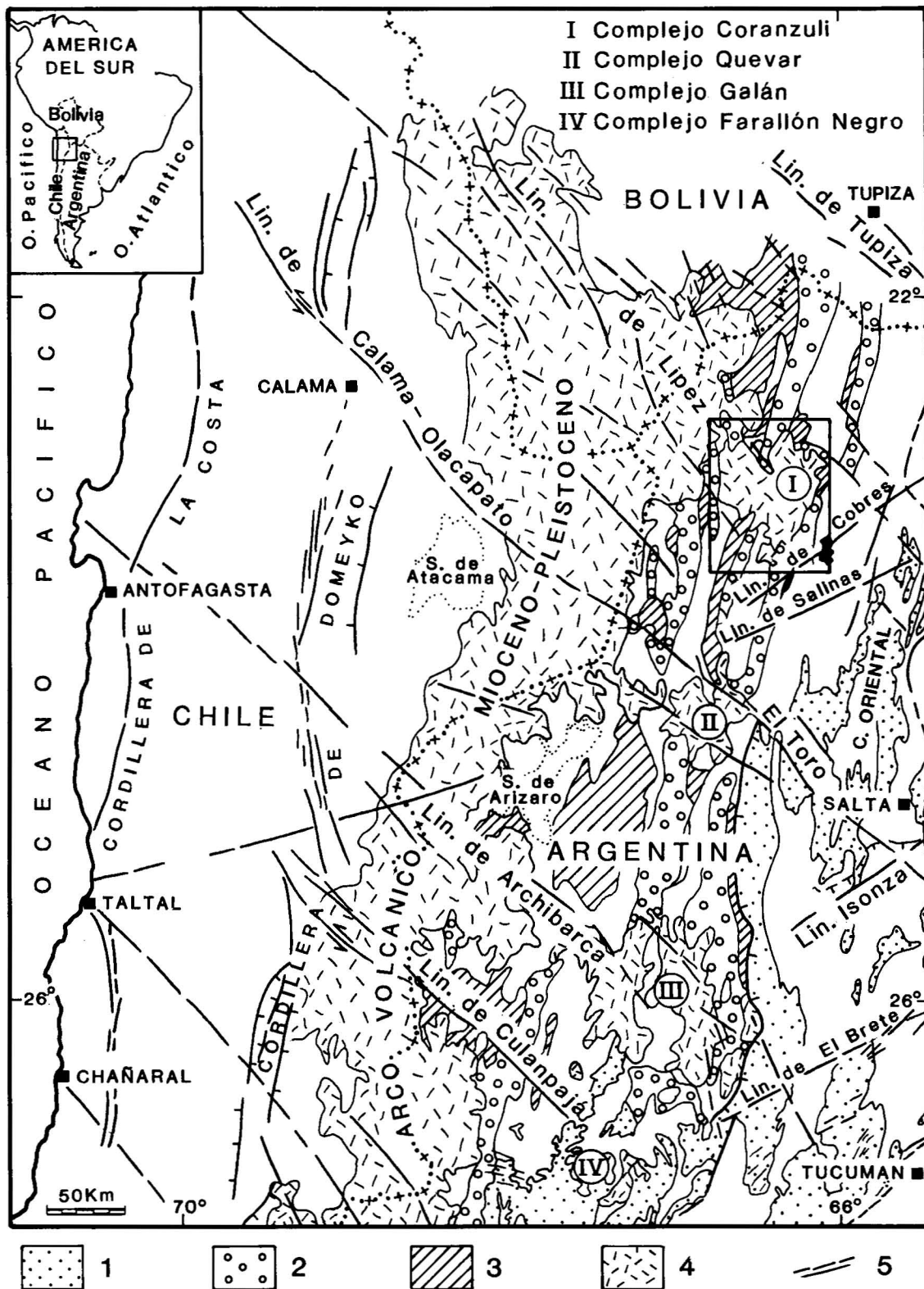


Fig. 1.—Localización del área estudiada. 1 = Principales afloramientos del basamento de las Sierras Pampeanas y de la Cordillera Oriental. 2 = Principales afloramientos del basamento ordovícico de la Puna. 3 = Principales afloramientos del Terciario sedimentario de la Puna. 4 = Límites de las fajas volcánicas miocénicas y pleistocénicas. 5 = Principales lineamientos y fallas. (Simplificado de Salfiti *et al.*, 1984).

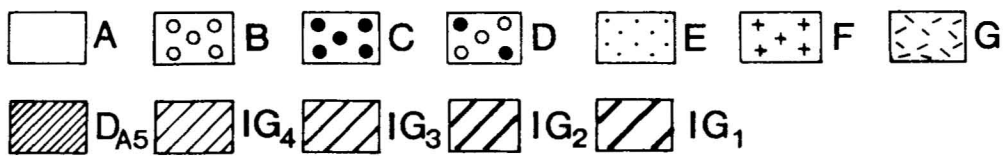
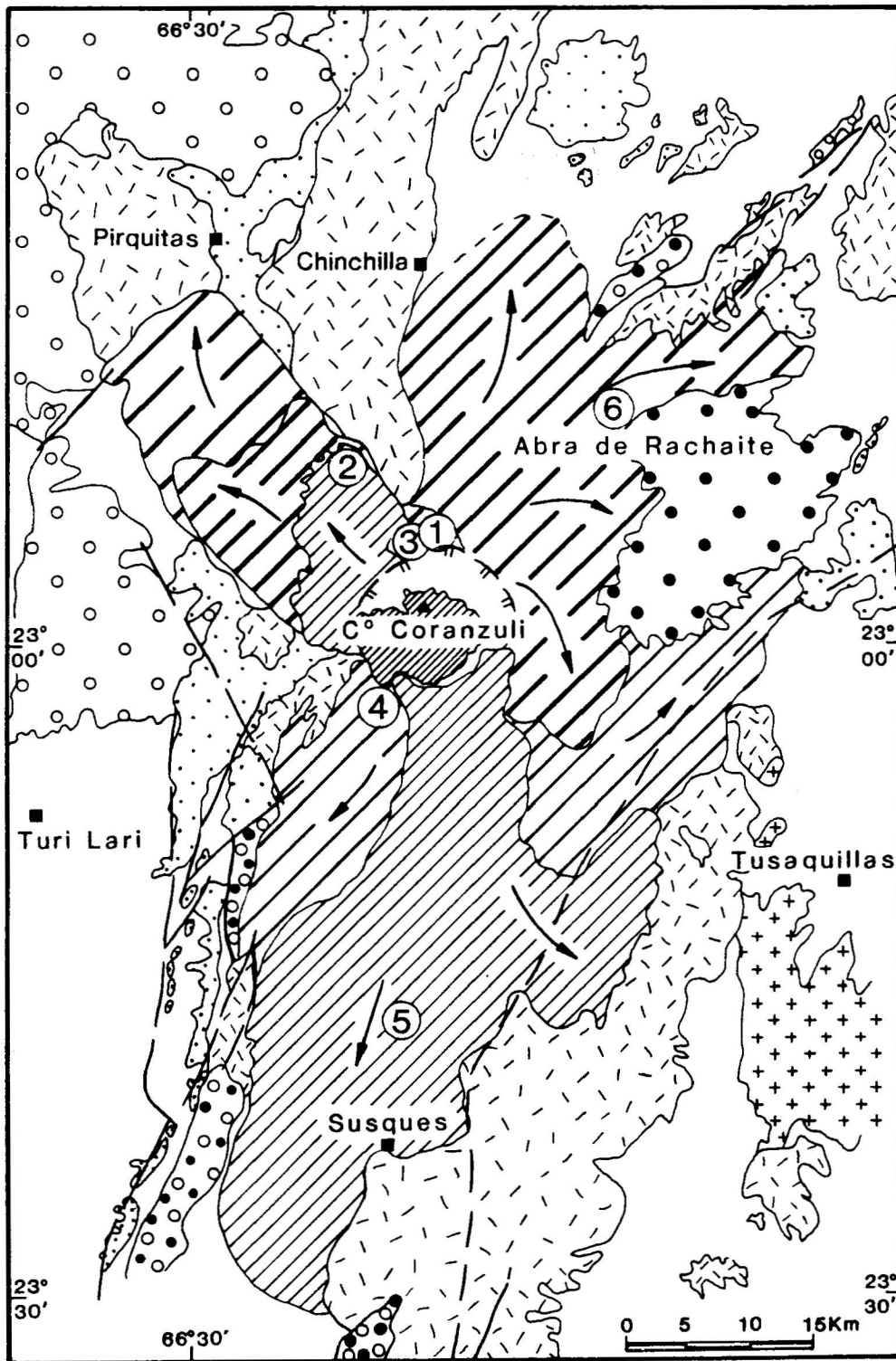


Fig. 2.—Esquema geológico del complejo volcánico Coranzulí. A = Cuaternario. B = Ignimbritas dacíticas y riodacíticas miocénas. C = Andesitas miocénicas (Rachaite). D = Formación Oire (rocas graníticas silúricas). E = Terciario sedimentario. F = Granito Tusaquillas (Cretácico). G = Basamento ordóvico. IG = Ignimbritas dacíticas del Coranzulí. DA = Lavas dacíticas del Coranzulí.

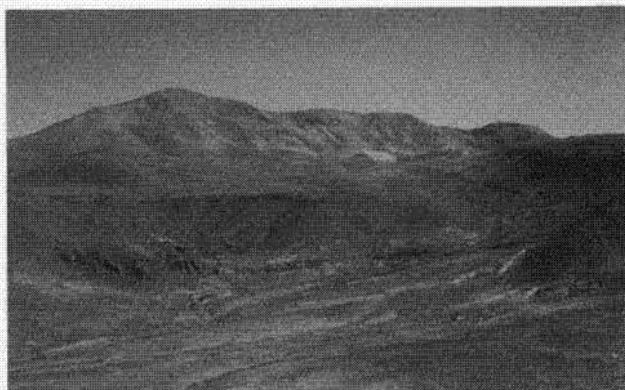


Fig. 3.—Vista del volcán Coranzulí con una colada ignimbrítica saliendo por la boca NW.

Durante el Cenozoico el NW de la Puna Argentina presenta una intensa actividad volcánica caracterizada fundamentalmente por la emisión de extensos mantos ignimbríticos desde diversos centros volcánicos. En algunos casos estos centros emisores son fácilmente identificables, tales como las calderas volcánicas Pairique y Panizos a partir de las cuales se extienden radialmente sendos plateaux ignimbríticos. En el caso del complejo Coranzulí no existen evidencias claras desde el punto de vista morfoestructural que indiquen que se trata de un centro de emisión del mismo tipo que los anteriores. Sin embargo, el estudio de las diferentes unidades ignimbríticas a él asociadas permite afirmar que este área constituyó un importante centro volcánico cuyos productos se dispersaron abarcando una superficie cartográfica de más de 2.500 Km².

Estratigrafía de las ignimbritas

Los materiales volcánicos pertenecientes al complejo Coranzulí se apoyan discordantemente sobre un basamento de edad ordovícica (Turner, 1972) o sobre sedimentos continentales cenozoicos. Mayoritariamente corresponden a ignimbritas dacíticas que forman mantos de gran extensión y que en conjunto pueden llegar a tener 300 m. de potencia (fig. 4). En total se reconocen cuatro unidades ignimbríticas, cuyas características morfológicas y composicionales son muy similares. A techo de estas ignimbritas y circunscrito al interior de la depresión central se encuentra un quinto episodio representado únicamente por lavas dacíticas.

La secuencia eruptiva se inicia con una brecha piroclástica de marcado carácter polimodal constituida mayoritariamente por fragmentos de lava

de composición dacítica englobados en una matriz pumítico-vitroclástica medianamente soldada. Este depósito aparece solamente en el flanco N del Coranzulí (columna 1, fig. 4) y se presenta únicamente en facies proximales. La presencia de estructuras fluidales, los efectos de soldadura que presenta la matriz y la distribución unidireccional indican que se trata de un depósito generado por una colada piroclástica de alta densidad y de pequeño volumen que se emplazó a una temperatura importante. La presencia de abundantes fragmentos líticos co-magmáticos de dacitas junto a fragmentos vitroclásticos y pumíticos indica que se trata de un episodio explosivo inicial de escasa energía, que destruiría un domo o tapón situado en la boca de emisión y que se habría formado por solidificación de lavas generadas en un episodio eruptivo anterior.

A continuación se encuentra un nivel de oleadas piroclásticas de granulometría cinerítica que presenta intercalaciones lenticulares de depósitos aluvionares. La distribución de este depósito piroclástico sigue la misma dirección que la brecha inicial, lo que indica que se trata de una explosión dirigida y de escasa importancia. La existencia de retrabajamiento dentro de estos niveles de oleadas piroclásticas nos muestra que se formaron por diversas explosiones hidromagmáticas separadas por pequeños lapsos de tiempo.

Apoyados sobre estos depósitos iniciales y con una expresión areal mucho mayor se suceden cuatro unidades ignimbríticas correspondientes a diferentes pulsos producidos durante un mismo ciclo eruptivo. Las características morfológicas y composicionales son muy similares en todas ellas, aunque existen distintos criterios que permiten diferenciarlas perfectamente. En conjunto se trata de ignimbritas de gran volumen ricas en cristales, con un contenido en fragmentos pumíticos de moderado a alto y relativamente pobres en fragmentos líticos, bien soldadas y que presentan pocos cambios significativos entre las facies proximales y distales.

Ignimbrita 1 (Ig 1)

Esta unidad ignimbrítica aparece únicamente en la dirección NW entre el cerro Coranzulí y Piriquitas. Se trata de una ignimbrita de color blanco que presenta una potencia media de 50 m. y que se caracteriza por contener fragmentos líticos (5%) correspondientes a lavas dacíticas co-magmáticas como los que aparecían en la brecha piroclástica basal. Es una ignimbrita rica en cristales (~40%) y bien soldada aunque aún es posible distinguir la textura vesicular de algunos frag-

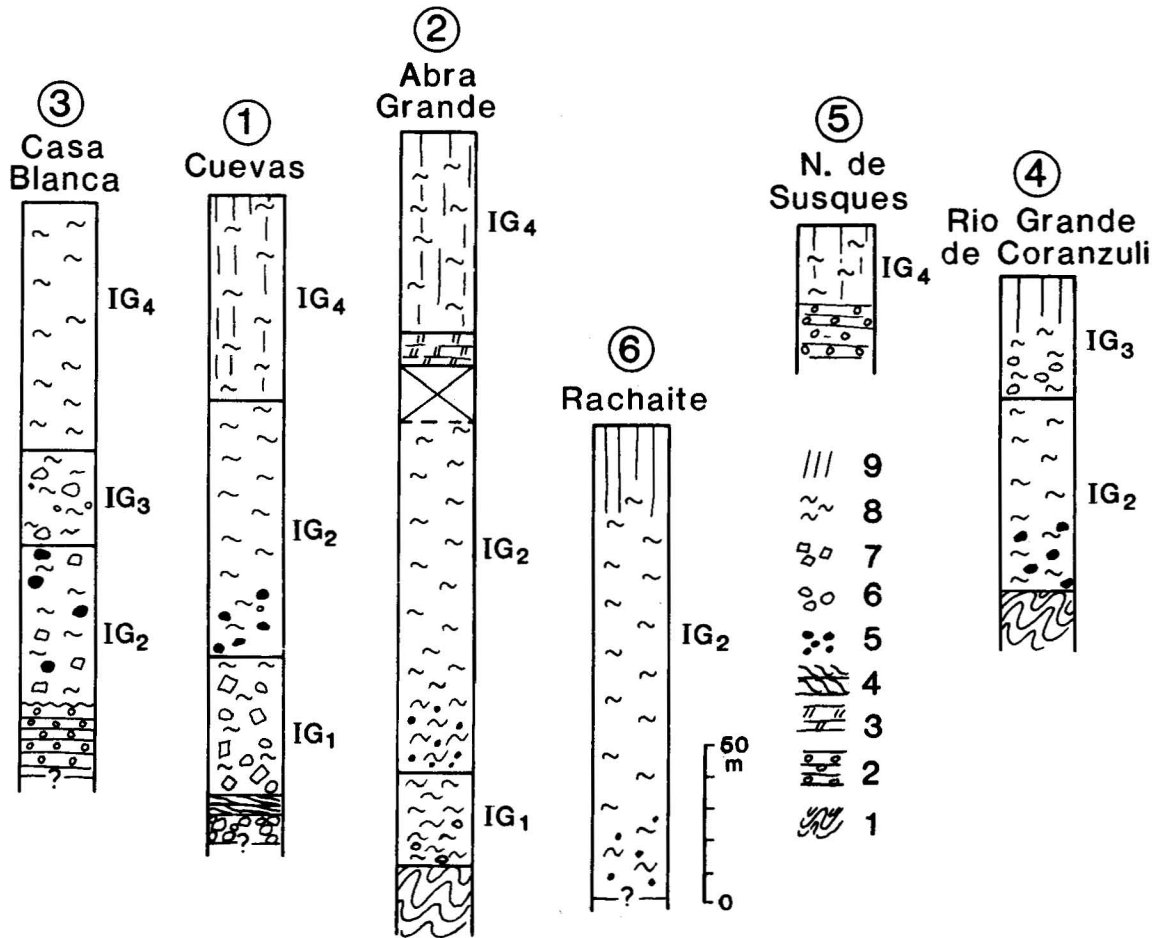


Fig. 4.—Series estratigráficas correspondientes a las ignimbritas del Coranzulí. 1 = Ordovícico. 2 = Terciario sedimentario. 3 = Cineritas. 4 = Oleadas piroclásticas. 5 = Fragmentos líticos derivados del substrato ordovícico. 6 = Fragmentos líticos de dacitas co-magmáticas. 7 = Fragmentos pumíticos decimétricos. 8 = Pumitas. 9 = Disyunción columnar.

mentos pumíticos y vitroclásticos. En ocasiones se pueden distinguir algunos fragmentos centimétricos derivados del basamento ordovícico. La pumitas son de varios tamaños, llegando a los 25 cms. en las facies proximales aparecen en general poco deformadas, aunque en las zonas basales se puede observar más o menos extiradas constituyendo las clásicas flamas.

En el perfil de Cuevas (columna 2, fig. 4), cercano al cerro Coranzulí, se pueden estudiar las facies proximales de esta ignimbrita. En esta zona la Ig 1 corresponde a una brecha que contiene abundantes bloques de dacitas co-magmáticas, más o menos redondeados, y pumitas decimétricas, mientras que los fragmentos derivados del zócalo ordovícico son muy escasos. La matriz es del mismo tipo que en el resto de la ignimbrita aunque mucho menos abundante y con un grado

de soldadura inferior. Los fragmentos pumíticos (fig. 5) prácticamente no están deformados y poseen una textura vesicular muy marcada caracterizada porque las vesículas están estiradas formando tubos muy finos alineados paralelamente al eje mayor de los fragmentos. La potencia de esta brecha, así como el tamaño de los fragmentos, disminuye progresivamente hacia el NW pasando gradualmente a un nivel de "ground layer" situado en la base de la ignimbrita. Las características morfológicas y litológicas de esta brecha demuestra su carácter proximal, hecho que junto al tránsito lateral que presenta hacia las facies típicamente ignimbríticas dentro de la misma unidad de flujo, nos hace pensar que se trata de una brecha co-ignimbrítica ("co-ignimbrite lag breccia" de Wright y Walker, 1977; Druitt y Spartk, 1982).

Ignimbrita 2 (Ig 2)

Presenta una coloración grisacea y se caracteriza por contener abundantes fragmentos líticos arrancados del basamento ordovícico. Esta unidad ignimbrítica no tuvo una dirección única de emplazamiento, ya que se la encuentra en todas



Fig. 5.—Fragmentsos pumíticos decimétricos no deformados en las facies proximales de la Ig 1.



Fig. 6.—Fragmentsos líticos de dacitas y de rocas metamórficas ordovícicas en el tramo de brechas co-ignimbríticas de la Ig 3.

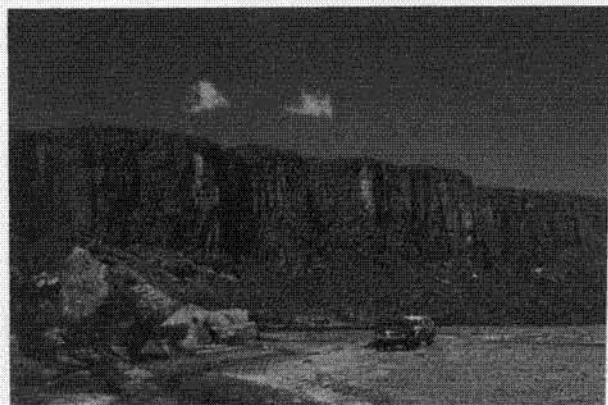


Fig. 7.—Disyunción columnar muy marcada en las facies intermedias de la Ig 3.

direcciones a partir del C° Coranzulí, aunque presenta un sentido preferencial hacia el NE donde cubre en parte las lavas andesíticas del volcán Rachaite (fig. 2). Se trata de una ignimbrita bien soldada, rica en cristales (35-40%), con una potencia variable entre 60 y 130 m. y que en algunas zonas presenta una marcada disyunción columnar. Los fragmentos pumíticos contienen abundantes fenocristales y están ligeramente estirados en la dirección del flujo. La matriz es de tipo pumítico-vitroclástica, aunque debido al proceso soldadura ha quedado convertida, prácticamente, en un vidrio homogéneo. Al igual que sucede con la Ig 1, las facies proximales son de tipo co-ignimbrítico, pasando a facies netamente ignimbríticas a medida que nos alejamos del centro emisor.

La separación entre las ignimbritas Ig 1 y Ig 2 no se manifiesta más que por la presencia de una capa basal ("basal layer") muy marcada en la Ig 2 y, ocasionalmente, por la presencia también de un nivel de "ground layer" rico en fragmentos líticos del substrato, sin que se haya reconocido ningún tipo de intercalación —sedimentaria o piroclástica— que puede indicar una separación temporal importante entre la deposición de ambas ignimbritas. Asimismo, el cambio en la naturaleza de los fragmentos líticos presentes en cada ignimbrita, lavas dacíticas en la Ig 1 y clastos de rocas metamórficas ordovícicas en la Ig 2, nos muestra un descenso progresivo del nivel de fragmentación del magma durante esta fase eruptiva, así como un posible ensanchamiento de las dimensiones de la boca eruptiva.

Ignimbrita 3 (Ig 3)

El sentido principal de flujo de esta ignimbrita fue hacia el SE (fig. 2). Se trata de una ignimbrite muy bien soldada, rica en cristales (~40%), con una matriz vítrea homogeneizada por el proceso de soldadura, que presenta una marcada disyunción columnar hacia las facies intermedias y distales (fig. 7). La potencia media de esta ignimbrita es de unos 40 m. Las pumitas son ricas en fenocristales y aparecen estiradas paralelamente en la dirección del flujo y se acumulan preferencialmente hacia el techo de la ignimbrita. En la zona próxima al C° Coranzulí presenta un tramo basal brechoide de unos 6 m. de potencia, posiblemente de tipo co-ignimbrítico, que pasa lateralmente a un nivel discontinuo de "ground layer". Este nivel basal contiene abundantes fragmentos de micaesquistos ordovícicos y lavas dacíticas, algunos muy ricos en cristales de biotita, y pumitas decimétricas no deformadas (fig. 6). Esta ignim-

brita tampoco presenta ninguna intercalación sedimentaria en la base, encontrándose en continuidad deposicional con la Ig 2.

Ignimbrita 4 (Ig 4)

Esta ignimbrita no presenta cambios de facies significativos y se caracteriza por ser la más extensa, habiéndose emplazado preferencialmente hacia el Sur, donde alcanza una distancia de más de 50 Km. (fig. 8), aunque también puede reconocerse un brazo de esta ignimbrita hacia el NW siguiendo la misma dirección que las Ig 1 y Ig 2. Presenta una potencia media de 70 m. y se caracteriza por exhibir una marcada disyunción columnar que afecta a toda la unidad. Se trata de una ignimbrita muy rica en cristales (~50%) de cuarzo bipiramidal, plagioclasa y biotita. La matriz corresponde en general a un vidrio homogéneo, lo que demuestra la importancia del proceso de soldadura y, consecuentemente, una elevada temperatura de emplazamiento. Esta ignimbrita contiene muy pocos fragmentos líticos, mientras que el contenido en fragmentos pumíticos es superior al de las otras ignimbritas. Estos aparecen estirados paralelamente a la dirección del flujo y distribuidos más o menos homogéneamente en todo el depósito, lo que indica una elevada densidad del flujo piroclástico que lo originó.

Lavas dacíticas (Da 5)

Finalmente, la actividad eruptiva del coranzulí culminó con la emisión de tres coladas de lava que figuran el C° Coranzulí. Estas lavas se encuentran circunscritas al área que rodea dicho cerro coronando las secuencias ignimbriticas (fig. 2). Se trata de coladas masivas, ocasionalmente brechificadas, correspondientes a dacitas porfíricas que presentan la misma composición que las ignimbritas.

Petrología y geoquímica

Todas las ignimbritas del Coranzulí presentan unas características petrológicas y geoquímicas muy similares. Su textura está caracterizada por la presencia de fragmentos pumíticos más o menos estirados y colapsados, junto a algunos fragmentos líticos, en general bastante bien redondeados, todos ellos inmersos en una matriz porfídica formada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita englobados a su vez por una masa vitroclástica muy bien soldada.



Fig. 8.—Manto ignimbritico correspondiente a la rama sur de la Ig 4.

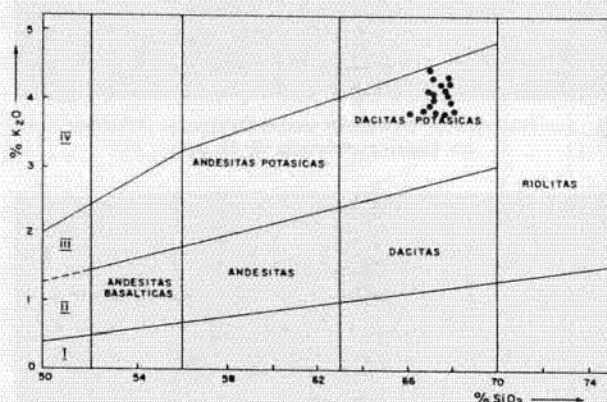


Fig. 9.—Diagrama SiO₂-K₂O (Peccerillo y Taylor, 1976) de las ignimbritas y lavas de Coranzulí. I = Series de arcos toleíticos. II = Series calcoalcalinas. III = Series calcoalcalinas ricas en potasio. IV = Series Shoshoníticas.

Los fenocristales de cuarzo corresponden a la fase de alta temperatura (cuarzo bipiramidal). Acostumbran a presentar contorno redondeados y abundantes golfos de corrosión magmática y a menudo están fragmentados. La plagioclasa es el fenocristal más abundante y también el que adquiere un mayor desarrollo. Se trata de cristales de composición andesina, frecuentemente zonados y que presentan en muchas ocasiones una textura de reabsorción con numerosas inclusiones de vidrio. Este tipo de textura de reabsorción ha sido interpretada por algunos autores (Eichelberger, 1978; Hibbard, 1981; Tsuchiyama, 1985) como debida a fenómenos de asimilación y mezcla de magmas. Los fenocristales de biotita en general presentan una tendencia subidiomórfica, aunque los de menor tamaño acostumbran a mostrar una estructura esquelética. Estos fenocristales contienen numerosas inclusiones de cristales idiomórficos de apatito y circón.

Las lavas dacíticas correspondientes a la última fase eruptiva del volcán Coranzulí presentan la misma mineralogía que las ignimbritas, siendo igualmente semejante el contenido en fenocristales. La matriz de las lavas es vítrea, aunque se encuentra parcialmente desvitrificada como consecuencia de los procesos de alteración hidrotermales, mucho más importantes que en las ignimbritas.

En la tabla 1 se muestran los análisis químicos de elementos mayores, así como la norma CIPW, de las rocas volcánicas del Coranzulí. Se trata de dacitas calcoalcalinas muy ricas en potasio (fig. 9 y 11) y bajos contenidos en CaO, hecho característico de la mayoría de dacitas andinas. Destaca la uniformidad geoquímica que en conjunto presentan estas rocas, lo que indica que se formaron a través de una cámara magmática homogénea, sin existencias de zonación y sin que se produjese ningún tipo de diferenciación del magma (fig. 10) entre el inicio de la actividad eruptiva y la fase final. Este último aspecto parece apoyar el que las distintas erupciones ignimbríticas se sucedieron rápidamente dentro de un único episodio eruptivo.

La petrogénesis de las rocas volcánicas calcoalcalinas de la región volcánica central andina corresponde a un complejo proceso en el que magmas derivados de un manto heterogéneo que contiene componentes de la zona de subducción, experimentan asimilación, cristalización fraccionada y mezcla de magmas durante su ascenso a la corteza, siendo el papel del material cortical más significativo en la generación de los magmas ignimbríticos (Klerkx *et al.*, 1977; Deruele, 1982; Thorpe *et al.*, 1982; Thorpe *et al.*, 1984). En el caso del complejo volcánico del Coranzulí, la presencia de fenocristales de plagioclasa con una zonación compleja y afectados por fenómenos de reabsorción es una indicación de inestabilidades en la cámara magmática debidas, probablemente, a fenómenos de mezcla de magmas, asimilación de material cortical, o a un ascenso rápido del magma dentro de la corteza. Este hecho provoca una homogeneización de la cámara magmática, lo que junto a la extrusión rápida de grandes volúmenes de materiales ignimbríticos, impide el establecimiento de una estratificación (zonación) dentro de la misma.

Sedimentología, mecanismos eruptivos y volumen de las ignimbritas

Cada una de las ignimbritas del Coranzulí debe considerarse el producto de una erupción simple

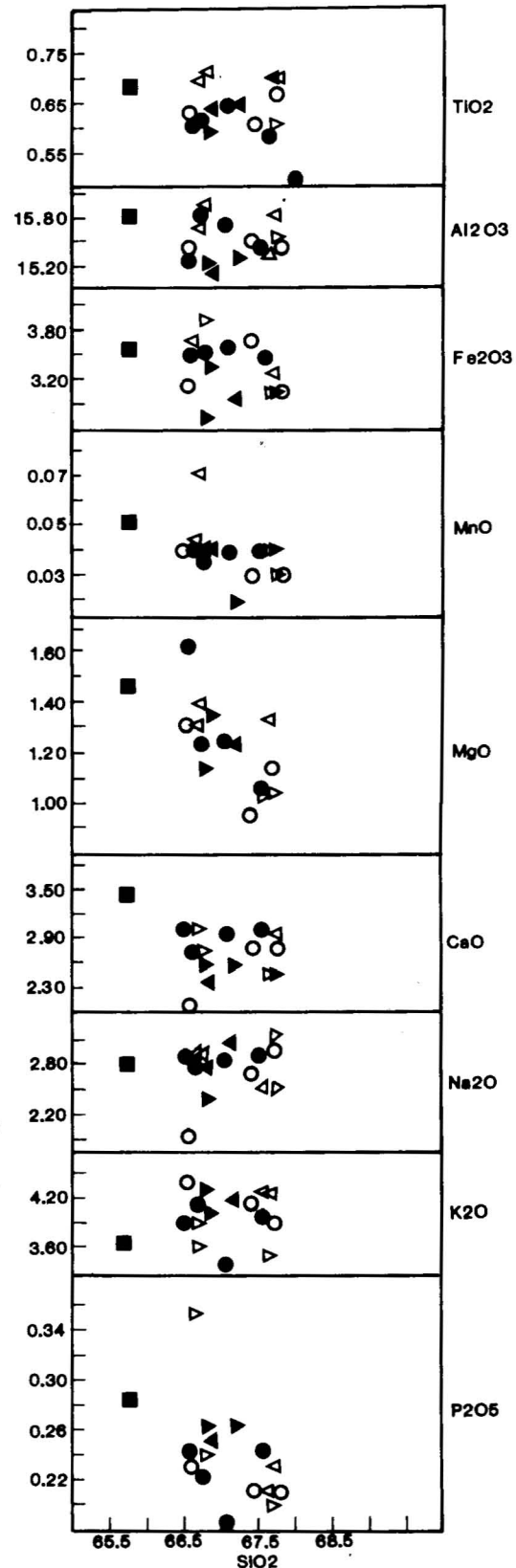


Fig. 10.—Diagramas de variación de los elementos mayores analizados frente a SiO₂ de las ignimbritas y lavas del Coranzulí (Ig 1 círculos, Ig 2 puntos, Ig 3 cuadrados, Ig 4 triángulos vacíos, Da 5 triángulos llenos).

Tabla 1.—Análisis químicos de elementos mayores y normas CIPW de las ignimbritas y lavas del Coranzulí. (Ig 1 muestras 21, 44, 48; Ig 2 muestras 7, 20, 20A, 2, 47; Ig 3 muestras X; Ig 4 muestras 57, 18, 14, XX, 15; Da 5 muestras 10, 12, 13).

	7	21	44	20	57	20A	2	MN-12	MN-18	MN-13
SiO ₂	66.75	67.45	66.60	66.61	67.73	67.61	67.98	67.22	67.68	66.82
TiO ₂	0.62	0.62	0.64	0.62	0.62	0.60	0.50	0.66	0.71	0.61
Al ₂ O ₃	15.85	15.55	15.49	15.37	15.86	15.48	14.91	15.38	15.46	15.28
Fe ₂ O ₃	3.57	3.72	3.17	3.54	3.30	3.48	3.67	3.01	3.09	2.78
MnO	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04
MgO	1.23	0.95	1.31	1.61	0.80	1.07	1.47	1.23	1.33	1.14
CaO	2.75	2.79	2.05	3.05	2.97	3.02	2.77	2.58	2.48	2.60
Na ₂ O	2.77	2.68	1.93	2.85	3.06	2.92	2.02	3.03	2.57	2.75
K ₂ O	4.08	4.14	4.40	3.91	4.22	3.99	3.73	4.18	4.24	4.29
H ₂ O ⁺	1.76	1.73	3.65	1.29	1.13	1.39	2.59	1.80	2.22	2.40
P ₂ O ₅	0.22	0.21	0.23	0.24	0.20	0.24	0.19	0.26	0.21	0.26
TOTAL	99.64	99.87	99.51	99.10	99.92	99.84	99.88	99.43	100.03	98.97
NORMA CIPW										
CUARZO	27.58	28.86	32.56	26.53	26.57	27.65	33.83	26.83	29.64	27.71
CORINDON	2.40	2.09	4.38	1.53	1.34	1.44	2.97	1.80	2.64	2.01
ORTOSA	24.11	24.46	26.00	23.10	24.94	23.58	22.04	24.70	25.05	25.35
ALBITA	23.44	22.68	16.33	24.11	25.89	24.71	17.09	25.64	21.75	23.27
ANORTITA	12.20	12.47	8.67	13.41	13.43	13.41	12.50	11.10	10.93	11.20
HIPERSTENA	3.81	3.15	3.88	4.77	2.48	3.36	4.85	3.37	3.66	3.20
MAGNETITA	2.46	2.47	2.13	2.42	2.34	2.42	2.43	2.11	2.14	1.93
ILMENITA	1.18	1.18	1.22	1.18	1.18	1.14	0.95	1.25	1.35	1.16
APATITO	0.52	0.50	0.54	0.57	0.47	0.57	0.45	0.62	0.50	0.62

Tabla 1.—(Continuación).

	MN-48	MN-X	MN-10	MN-14	MN-XX	MN-15	MN-47
SiO ₂	67.75	65.48	66.88	67.72	66.70	66.79	67.09
TiO ₂	0.68	0.69	0.65	0.71	0.70	0.72	0.66
Al ₂ O ₃	15.50	15.83	15.17	15.56	15.71	15.96	15.74
Fe ₂ O ₃	3.08	3.58	3.39	3.12	3.64	3.94	3.61
MnO	0.03	0.05	0.04	0.04	0.07	0.04	0.04
MgO	1.14	1.46	1.34	1.05	1.31	1.38	1.25
CaO	2.77	3.42	2.39	2.48	3.03	2.75	2.97
Na ₂ O	3.00	2.77	2.38	2.48	2.89	2.82	2.84
K ₂ O	3.89	3.66	4.05	3.53	3.87	3.62	3.40
H ₂ O ⁺	1.05	2.00	3.34	1.87	1.26	1.50	1.36
P ₂ O ₅	0.21	0.28	0.25	0.23	0.35	0.24	0.18
TOTAL	99.20	99.42	99.88	98.79	99.53	99.79	99.14
NORMA CIPW							
CUARZO	28.21	26.50	30.81	33.33	27.29	28.88	29.47
CORINDON	1.82	1.76	3.12	3.70	2.10	2.98	2.42
ORTOSA	22.99	21.63	23.93	20.86	22.87	21.39	20.09
ALBITA	25.38	23.44	20.14	20.98	24.45	23.86	24.03
ANORTITA	12.37	15.14	10.22	10.80	12.74	12.07	13.56
HIPERSTENA	3.20	4.41	4.02	3.11	3.99	4.28	3.92
MAGNETITA	2.14	2.39	2.29	2.08	2.49	2.66	2.42
ILMENITA	1.29	1.31	1.23	1.35	1.33	1.37	1.25
APATITO	0.50	0.66	0.59	0.54	0.83	0.57	0.43

serapada de la siguiente ignimbrita por un lapso de tiempo relativamente corto si tenemos en cuenta la falta de depósitos sedimentarios o de superficies erosivas entre las distintas unidades ignimbriticas. Solamente en el perfil de Abra Grande (columna 2, fig. 4) se ha reconocido un depósito de cineritas intercalados entre las ignimbritas Ig 2 y Ig 4. Las características litológicas y sedimentológicas de este depósito indican que podrían tratarse de una cinerita co-ignimbritica (co-ignimbrite ash falla de Sparks y Walker, 1977).

Todas las ignimbritas estudiadas presentan unas características litológicas y sedimentológicas muy similares, lo que demuestra que los mecanismos deposicionales y genéticos fueron practicamente los mismos. En todos los casos se trata de ignimbritas muy ricas en cristales (entre 35 y 50%), con abundantes fragmentos pumíticos y con un contenido variable de fragmentos líticos. La estructura interna es muy homogénea y tampoco presentan cambios de facies notables. La base de las ignimbritas es siempre plana, y normalmente está representada por una capa basal constituida por materiales finos originados por fricción de la base del flujo con el substrato. En ocasiones se observa un nivel discontinuo de "ground layer", muy poco potente, que correspondería al depósito producido por la cabeza del flujo. Los fragmentos líticos acostumbran a presentar una distribución aleatoria dentro de la unidad principal del flujo ignimbritico, mientras que las pumitas presentan en ocasiones una cierta gradación inversa, siendo remarcable la existencia de acumulaciones lenticulares de las mismas en algunos tramos proximales.

En las facies proximales, especialmente en las ignimbritas Ig 1, Ig 2 e Ig 3, se reconocen, sin embargo, unos tramos de estructura más irregular y de aspecto brechoide, con acumulación de grandes fragmentos pumíticos no deformados y líticos decimétricos, que pasan lateralmente a las facies típicamente ignimbriticas. Estas brechas presentan una matriz del mismo tipo que las anteriores, aunque menos abundante y con un grado de soldadura menor, lo que permite interpretarlas como un tipo particular de brechas co-ignimbriticas.

Estas características litológicas demuestran que las ignimbritas del Coranzulí se depositaron a partir de coladas piroclásticas de elevada densidad y viscosidad, parcialmente fluidizadas, emplazadas siguiendo un régimen típicamente laminar, aunque en los tramos iniciales, durante la deposición de los niveles más brechosos, pudieron comportarse turbulentamente. La elevada densidad y viscosidad inicial del flujo, así como el importan-

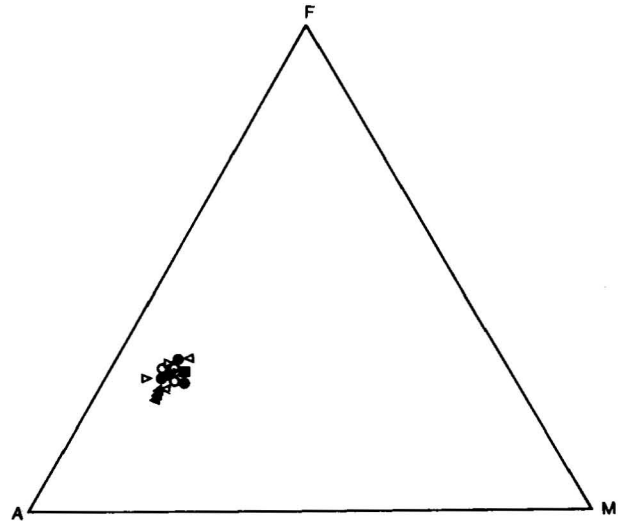


Fig. 11.—Diagrama AFM de las ignimbritas y lavas del Coranzulí.

te volúmen de material piroclástico incorporado en cada colada, hacen que el grado de fluidización no sea suficiente como para producir una estructuración del flujo en cabeza, cuerpo y cola. Esto implica que no se desarrollan perfectamente las facies características de flujos piroclásticos de menor volumen y mejor fluidizados, presentando el depósito el aspecto homogéneo y masivo antes comentado.

La no existencia de depósitos plinianos de caída intercalados entre las distintas unidades ignimbriticas sugiere que éstas se originaron por colapso continuo directamente desde la boca de emisión, sin desarrollarse una verdadera columna eruptiva vertical. En este sentido también son indicativos el gran volumen de material magmático incorporado a cada depósito y la elevada temperatura de emplazamiento de los mismos indicada por el alto grado de soldadura que presentan. Sin embargo, la presencia de las brechas co-ignimbriticas en las cercanías del centro emisor sugieren el colapso de una columna eruptiva vertical (ver p.e. Wright y Walker, 1977; Druitt y Sparks, 1982, Walker, 1985), aunque en este caso sería de poca altura, posiblemente debido al elevado volumen de material emitido y a variaciones constantes en las dimensiones de la boca de emisión.

Uno de los rasgos más característicos de estas ignimbritas es su elevado contenido en cristales, hecho que, por otra parte, es también característico de la mayoría de las ignimbritas centro-andinas (Francis *et al.*, 1974; Sparks *et al.*, 1985;

Kaukharsky, 1985). Durante el emplazamiento de las coladas piroclásticas la segregación y elutriación de partículas finas desde la unidad principal del flujo, lo que provoca la formación de una nube acompañante y la posterior deposición de cineritas co-ignimbríticas, produce un enriquecimiento en cristales y fragmentos líticos y un empobrecimiento en partículas finas de la colada piroclástica (Sparks y Walker, 1977). En las ignimbritas del Coranzulí, el contenido relativo en cristales es muy similar al que presentan las lavas dacíticas del último episodio eruptivo, con las que guardan una similitud composicional muy marcada. Este hecho demuestra que, si bien la formación de co-ignimbritas de grano fino pudo ser igualmente muy importante, el contenido en cristales del magma era ya muy elevado, lo que condicionaría una elevada viscosidad del mismo, hecho que queda perfectamente reflejado en la dinámica de estas coladas piroclásticas.

La temperatura de emplazamiento de estas ignimbritas fue muy elevada, a juzgar por algunas de las características que presentan. Todas muestran, por lo general, un elevado grado de soldadura que se traduce en una sinterización de los fragmentos vitroclásticos de la matriz y de los fragmentos pumíticos de menor tamaño, lo que en ocasiones da lugar a la homogeneización de dichos componentes, transformando el conjunto en una masa vítrea que confiere a la roca el aspecto textural de una lava de la misma composición. Asimismo, hay que señalar la presencia de cristalización en fase vapor, representada por esferulitos de desvitrificación cuarzo-feldespáticos, en algunos fragmentos pumíticos desvitrificados y también en la matriz, lo que produce esta coloración rosada tan característica en algunos tramos de la ignimbrita Ig 3 y Ig 4. Este tipo de alteraciones son también características de ignimbritas emplazadas a elevada temperatura (Smith, 1960; Williams, 1960; Crandell and Mullineaux, 1973). Finalmente, hay que señalar la presencia de una disyunción columnar muy marcada en casi todas las ignimbritas estudiadas, característica típicamente asociada a las coladas piroclásticas emplazadas a gran temperatura (Perret, 1937; Francis *et al.*, 1974; Sparks *et al.*, 1985).

Deruelle (1982) mediante la utilización de termobarómetros encuentra unas temperaturas de equilibrio de 900° C para las dacitas de la zona central andina. En el caso de las ignimbritas del Coranzulí hemos calculado una temperatura de extrusión cercana a los 840° C, mediante la utilización de las plagioclasas como termobarómetro según el método de Mathez (1973). La temperatura final de emplazamiento de las ignimbritas del

Coranzulí no debió ser muy inferior a ésta si tenemos en cuenta los factores anteriormente mencionados y en especial el proceso de homogeneización de la matriz vitroclástica.

El cálculo del volumen de material emitido en la formación de estas ignimbritas no puede realizarse de forma más o menos precisa debido a ciertas limitaciones cartográficas y al hecho de que gran parte del material ha sido erosionado, lo que impide comprobar la extensión real que tuvieron estos depósitos piroclásticos. Sin embargo, se ha calculado un volumen intercalas: real de unos 260 km³ de roca densa equivalente al volumen total de material ignimbrítico cartografiado. Si tenemos en cuenta que este tipo de erupciones generan asimismo depósitos co-ignimbríticos de ceniza cuyo volumen de material es comparable al de las propias ignimbritas (Sparks y Walker, 1977) y además consideramos que una parte importante de éstas ha sido erosionada, obtendremos un volumen de unos 650-700 km³, mucho más realístico si se compara con otras erupciones ignimbríticas de las mismas características (ver Sparks *et al.*, 1985).

Discusión

Las ignimbritas del complejo volcánico del Coranzulí corresponden a depósitos de coladas piroclásticas de gran volumen generadas dentro de un mismo episodio eruptivo, que en conjunto presentan una distribución radial alrededor de un centro emisor, aunque individualmente muestran una dirección de emplazamientos preferente distinta en cada una de ellas. Sus características morfológicas, sedimentológicas y texturales demuestran una uniformidad (invariabilidad) en los mecanismos eruptivos y deposicionales que las originaron.

La escasez generalizada de fragmentos líticos en estas ignimbritas demuestra que se generaron en erupciones magmáticas. La homogeneidad geoquímica que presentan los materiales del coranzulí indica que las erupciones derivaron de una cámara magmática homogénea, sin existencias de zonación clara y sin que tampoco existan evidencias de la presencia de una zona superior rica en volátiles y pobre en cristales. Estas características son comparables a la descritas por Sparks *et al.*, (1985) para la última erupción del Cerro Galán.

El magma rico en volátiles, tal como se deduce de la elevada vesicularidad de la pumitas, presentaría, sin embargo, una elevada viscosidad como consecuencia de su importante contenido en cris-

tales. Este hecho contribuyó sin duda a la formación de nubes eruptivas densas, lo que dificultó su desarrollo vertical.

La falta de depósitos plinianos de caída en la base de la secuencia eruptiva o intercalados entre las unidades ignimbríticas, así como el volumen de material magmático que interviene en la formación de cada una de ellas, sugieren que las erupciones se desarrollaron rápidamente y en proporciones importantes, sin que se produjese un episodio inicial de poca descarga que permitiera la formación de una columna eruptiva vertical. La elevada temperatura de emplazamiento que presentan las ignimbritas, así como la estructura tan homogénea que las caracteriza, también sugieren su origen a través del colapso continuo e inmediato de columnas eruptivas muy densas incapaces de adquirir un desarrollo vertical importante. Este hecho también podría estar relacionado con un ensanchamiento de la boca eruptiva, tal como lo indica las acumulaciones de líticos en las facies proximales co-ignimbríticas de las Ig 2 e Ig 3.

Sin embargo, hasta el momento no hay ninguna evidencia morfológica suficientemente clara que permita comprobar la existencia de una estructura de tipo caldera en el complejo volcánico del Coranzulí, aunque las dimensiones de la depresión central, el volumen de material emitido y los mecanismos eruptivos deducidos para la formación de las ignimbritas así parecen indicarlo.

AGRADECIMIENTOS

La estancia de J. Martí en Argentina se realizó mediante una Misión de Cooperación entre Iberoamérica y España concedida por el Ministerio de Educación y Ciencia. Dicho autor agradece a los Drs. J.G. Viramonte, R. Omarini y R. Alonso, de la Universidad Nacional de Salta (Argentina), las atenciones y la ayuda prestada durante la realización de dicha estancia. Asimismo, los autores agradecen a E. Clavero la delimitación de las figuras del trabajo.

Referencias

- Baranzagi, M. y Isacks, B.L. (1976): Spatial distributions of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology*, 4: 686-692.
- Baranzagi, M. y Isacks, B.L. (1979): Subduction of the Nazca plate beneath Peru: evidence from spatial distribution of earthquakes. *Geophys. J.*, 57: 537-555.
- Cobbing, E.J. y Pitcher, W.S. (1972): Plate tectonics and the Peruvian Andes. *Nature*, 240: 51-53.
- Coira, B. (1979): Descripción geológica de la Hoja 3C, Abra Pampa, provincia de Jujuy. *Serv. Geol. Nac.*, 170: 90 pp.
- Coira, B. (1983): Magmatismo y mineralizaciones asociadas en la Puna Jujeña, Argentina. *Actas II Congreso Nac. Geol. Econom.* (San Juan, Argentina), 2: 405-423.
- Crandell, D.R. y Mullineaux, D.R. (1973): Pine Creeks volcanic assemblage at Mount St. Helens, Washington. *U. S. Geol. Survey Bull.* 1983-A: A1-A23.
- Deruelle, B. (1982): Petrology of the Plio-Quaternary volcanism of the South-Central and Meridional Andes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 14: 77-124.
- Druitt, T.H. y Sparks, R.S.J. (1982): A proximal ignimbrite breccia facies on Santorini, Greece. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 13: 147-171.
- Eichelberger, J.C. (1978): Andesitic volcanism and crustal evolution. *Nature*, 275: 21-27.
- Francis, P.W.; Roobol, M.J.; Walker, G.P.L.; Cobbold, P.R. y Coward, M. (1974): The San Pedro and San Pablo volcanoes and their hot avalanche deposits. *Geol. Rundsch.*, 63: 357-388.
- Francis, P.W.; Hamill, M.; Kretschmar, G. y Thorpe, R.S. (1978): The Cerro Galán caldera, north-west Argentina and its tectonic setting. *Nature*, 274: 749-751.
- Hibbard, M.J. (1981): The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76: 158-170.
- James, D.E. (1971): Plate tectonic model for the evolution of the Central Andes. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82: 3.325-3.346.
- Jordan, T.E. (1984): Cuencas, volcanismo y acortamientos cenozoicos, Argentina, Bolivia y Chile, 20-28° latitud sur. *Actas IX Congr. Geol. Arg.*
- Jordan, T.E.; Isacks, B.L.; Allmendinger, R.W.; Brewer, J.A.; Ramos, V.A. y Ando, C.J. (1983): Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca Plate. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 94: 341-361.
- Koukharsky, M.M. (1985): Caracterización petrológica de ignimbritas cenozoicas de la Puna Argentina. *Actas IV Congr. Geol. Chileno*, 4: 254-274.
- Klerkx, J.; Deutsch, H.; Pichler, H. y Zeil, W. (1977): Strontium isotopic composition and trace element data bearing on the origin of cenozoic volcanic rocks of the Central and Southern Andes. *J. Volcanic. Geotherm. Res.*, 2: 49-71.
- Llambias, E.J. (1972): Estructura del grupo volcánico Farallón Negro, Catamarca, República Argentina. *Asoc. Geol. Arg. Rev.*, 161-169.
- Mathez, F.A. (1933): Refinement of the Kudo-Weil plagioclase thermometer and its application to basaltic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 41: 61-72.
- Peccerillo, A. y Taylor, S.R. (1976): Geochemistry of Eocene cal-alkaline volcanic rocks from the Kasta Monu area, Northern Turkey. *Contr. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81.
- Perret, F.A. (1937): The eruption of Mt. Pelée 1929-1932. *Carnegie Inst. Wash. Publ.* 458: 1-126.
- Salfiti, J.A.; Gorustovich, S.A.; Moya, M.C. y Amengual, R. (1984): Marco tectónico de la sedimentación y efusividad en la Puna Argentina. *Actas IX Congr. Geol. Argentino*, 1: 539-554.
- Schwab, K. y Lippolt, H. (1974): K-Ar mineral ages and Late-Cenozoic history of the salar de Cauchari area (Argentina Puna). *Symp. Andean Antarct. Volc. Probl.*, Intern. Ass. Volc. Chem. Earth's Int.: 698-714.
- Smith, R.L. (1960): Ash flows. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 71: 795-842.
- Sparks, R.S.J. y Walker, G.P.L. (1977): The significance of vitric-enriched air-fall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2: 329-341.
- Swift, A. y Carr, M. (1974): The segmented nature of the Chilean seismic zone. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 9: 183-191.
- Thorpe, R.S. y Francis, P.W. (1979): Variations in andean andesite composition and their petrogenetic significance. *Tectonophysics*, 57: 53-70.
- Thorpe, R.S.; Francis, P.W. y Harmon, R.S. (1981): Andean andesites and continental growth. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 301: 305-320.
- Thorpe, R.S.; Francis, P.W.; Hammill, M. y Baker, M.C.W. (1982): The Andes, In: *Andesites: orogenic andesites and related rocks* (R.S. Thorpe, ed.). John Wiley: 187-205.

- Thorpe, R.S.; Francis, P.W. y O'Callaghan, L. (1984): Relative roles of source contamination, fractional crystallization and crustal contamination in the petrogenesis of Andean volcanic rocks. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, A 310: 673-692.
- Tsuchiyama, A. (1985): Dissolution kinetics of plagioclase in melt of the system diopside-albite-anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 89: 1-16.
- Turner, J.C.M. (1972): Puna, in Geología Regional Argentina (A.F. Leanza, ed.). *Acad. Nac. Cienc. Argentina*: 91-116.
- Vilela, C.R. (1953): Los periodos eruptivos en la Puna de Atacama. *Asoc. Geol. Arg. Rev.*, 8: 5-36.
- Viramonte, J.G.; Galliski, M.; Araña, V.; Aparicio, A.; García Cacho, L. y Martín Escorza, C. (1984): El finivulcanismo bá- sico de la depresión de Arizaro, Provincia de Salta. *Actas IX Congr. Geol. Arg.*, 3: 234-251.
- Walker, G.P.L. (1985): Origin of coarse lithic breccias near ignimbrite source vent. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 18: 117-133.
- Williams, H. (1960): Volcanic history of the Guatemalan highlands. *Univ. Calif. Publ. Geol. Sci.* 38: 1-87.
- Wright, J.V. y Walker, G.P.L. (1977): The ignimbrite source problem: significance of a co-ignimbrite lag-fall deposit. *Geology*, 5: 729-732.

Recibido el 10 de Noviembre de 1987
Aceptado el 30 de Diciembre de 1987