



ESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA DOS IGIMBRITOS DO CERRO PULULUS (ALTIPLANO-PUNA), PROVINCIA DE JUJUY, ARGENTINA

Liza A. Polo¹, Mabel N.C. Ulbrich², Beatriz L. Coira³

¹ Instituto de Geociências (Universidade de São Paulo), Rua do Lago 562, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo-SP lizaapolo@yahoo.com.br

² Instituto Geociências (Universidade de São Paulo), Rua do Lago 562, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo-SP, mulbrich@usp.br

³ Instituto de Geología y Minería (Universidad Nacional de Jujuy – CONICET), Av. Bolivia 1661 (4600), San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina, bcoira@idgvm.unju.edu.ar

Resumo – O Cerro Pululus é um centro vulcânico ignimbrítico de 178 km² localizado na porção central da caldeira Vilama, província geológica da Puna, Jujuy, noroeste argentino.

A caldeira Vilama pertence ao Complexo Vulcânico Altiplano Puna (na Zona Vulcânica Central dos Andes), uma região com numerosos estratovulcões e caldeiras que geraram uma das mais extensas províncias ignimbríticas do mundo.

O Cerro Pululus é citado em trabalhos regionais como um escudo ignimbrítico, pertencente à fase final de desenvolvimento do Complexo de Caldeiras Vilama-Coruto.

Reconheceram-se três unidades de fluxo piroclástico geradas por explosões sucessivas a partir de um mesmo centro emissor. Os depósitos apresentam uma alta concentração em cristaloclastos, (nos púmices e na matriz) e escassez em fragmentos líticos, indicando que foram gerados por um magma porfirítico e altamente viscoso.

As várias unidades se diferenciam pela distribuição e soldagem dos fragmentos piroclásticos, apresentando, porém, a mesma mineralogia (plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio, biotita e hornblenda). As texturas dos minerais apontam para a existência de degasificação pré-eruptiva para cada unidade.

As altas viscosidade e temperatura, geraram colunas eruptivas com pouco desenvolvimento vertical evitando assim maior perda de calor e resultando em depósitos do tipo HARI com médio a elevado grau de soldagem.

Palavras-Chave: ignimbritos; Complexo Vulcânico Altiplano-Puna, rochas piroclásticas

Abstract – The Cerro Pululus is an ignimbrite volcanic center with an area of 178 km², located in the central portion of the caldera Vilama, Puna geologic province, Jujuy, NW Argentina.

The caldera Vilama belongs to the Altiplano Puna Volcanic Complex (Central Volcanic Zone of the Andes), a region with numerous strato-volcanos and calderas, which produced one of the larger ignimbrite provinces of the world.

In the literature, the Cerro Pululus is considered an ignimbrite shield belonging to the final stages of development of the Vilama-Coruto Caldera Complex.

Three units of ignimbrite flows were generated by successive explosions, from the same vent. The deposits present high concentration of crystaloclasts (in pumice and matrix) and scarcity of lithic fragments, pointing to the porphyritic and viscous character of the magma.

The units show different distribution and welding of the fragments, but present similar mineralogy (plagioclase, quartz, orthopyroxene, biotite and hornblende). Some textural aspects of the minerals point to the existence of pre-eruptive loss of volatiles.

The high viscosity and temperature create eruptive columns with little vertical development, avoiding loss of heat and resulting in middle to elevated welding and forming HARI type deposits.

Keywords: ignimbrites, Altiplano Puna Volcanic Complex, pyroclastic rocks

1. Introdução

A Zona Vulcânica Central (ZVC) da Cordilheira dos Andes, localizada entre as latitudes 15 e 27°S, apresenta vulcanismo ativo desde o Mioceno (Silva & Francis, 1991). Seu atual arco vulcânico ativo é constituído por uma cadeia de estratovulcões e em torno de 100 km à leste desta cadeia encontra-se uma extensa região vulcânica que apresentou atividade entre o Mioceno e o Plioceno, denominada por Silva (1989) como Complexo Vulcânico Altiplano-Puna (CVAP).

O vulcanismo explosivo de caráter cálcio-alcálico do CVAP resultou na formação de numerosos estratovulcões e caldeiras. As caldeiras, caracterizadas como grandes centros vulcânicos de longa vida, geraram planícies de ignimbritos, configurando uma das mais extensas, volumosas e bem expostas províncias ignimbríticas do mundo (Silva, 1989; Silva e Francis, 1991; Lindsay et al., 2001).

Neste trabalho são apresentados os dados de campo e petrográficos dos ignimbritos do Cerro Pululus, uma elevação de 570 m de altura e 178 km² de área, que se destaca na depressão central da Caldeira Vilama (a mais de 4.500 msnm), na região da Puna, Jujuy, extremo noroeste da Argentina, a menos de 20 km a leste da fronteira boliviana e próximo da triplíce fronteira com o Chile.

O Cerro Pululus sempre recebeu uma atenção especial devido às suas mineralizações de estanho. Estudos mais detalhados sobre sua estratigrafia, petrografia, geoquímica e centro emissor ainda não haviam sido iniciados, contando apenas com pequenas citações em trabalhos regionais que o descrevem como um escudo ignimbrítico, pertencente à fase final de desenvolvimento do Complexo de Caldeiras Vilama-Coruto.

2. Estratigrafia do Cerro Pululus

O Cerro Pululus ocorre dentro do Complexo de Caldeiras Vilama-Coruto (CCVC), estrutura caldérica com aproximadamente 2600km² de área, do qual reconheceram-se quatro etapas evolutivas, com sucessivas erupções, colapsos e reativações (Coira et al. 1996a,b). Dois depósitos distintos de rochas piroclásticas, associados ao segundo e terceiro ciclo de formação desse Complexo (ignimbritos Vilama e Salle, respectivamente), constituem a base sobre o qual foram depositados os ignimbritos do Cerro Pululus. A origem de Pululus estaria relacionada com o quarto ciclo de desenvolvimento do CCVC como uma continuação do vulcanismo pós-colapso (Coira et al. 1996a).

Os trabalhos de campo no Cerro Pululus permitiram reconhecer três distintas unidades correspondentes a depósitos de diferentes eventos efusivos (Figuras 1 e 2).

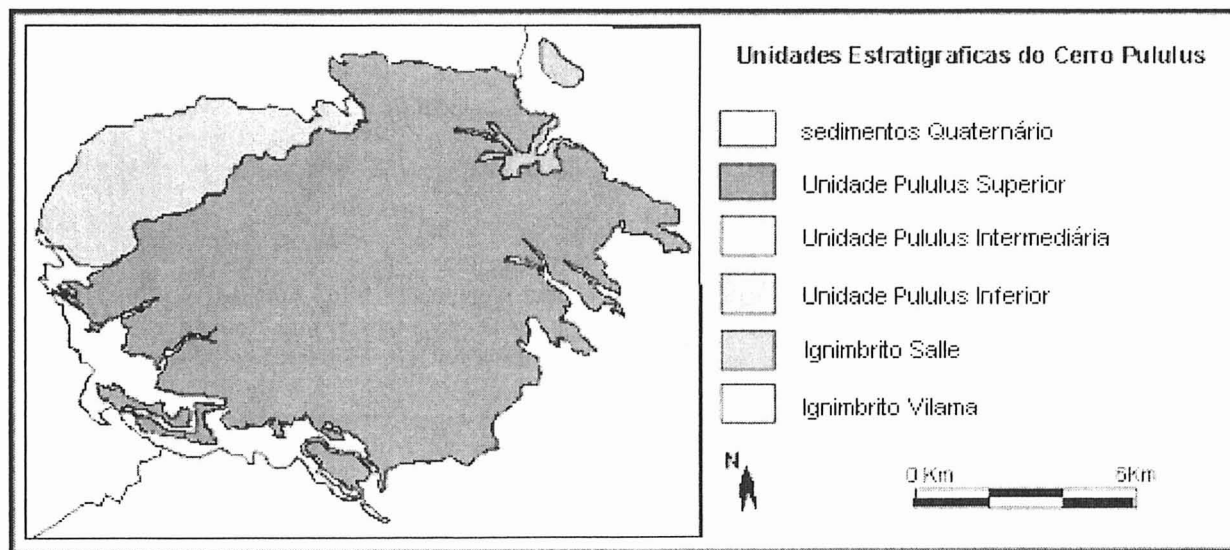


Figura 1. Esquema do Cerro Pululus, indicando as diferentes Unidades estratigráficas

2.1. Unidade Pululus Inferior

Esta unidade, apresenta entre 10 e 60 m de espessura, sem que aflore suas porções mais basais. Apresenta dois tipos de púmices, branco e rosado, além de abundantes fragmentos líticos na fração bloco-lapilli. A matriz é rica em cristaloclastos (40%), fragmentos vítreos e pequenos púmices soldados (menores que 1 cm). Os blocos líticos angulosos são de rochas sedimentares e vulcânicas afaníticas do embasamento regional, já os blocos mais arredondados são fragmentos de granodiorito. Também ocorrem fragmentos de vitrófiro, dacito e riolito. Percebe-se na unidade uma gradação da base para o topo caracterizada por diminuição na quantidade e no tamanho dos fragmentos líticos, e aumento no teor e tamanho dos fragmentos de púmice, que varia de 15% com tamanho lapilli, na base, até 30-35% de blocos no topo. Também ocorre uma mudança no grau de soldagem das partículas, sendo incipiente na base, mais elevado nas porções centrais do depósito e médio no topo.

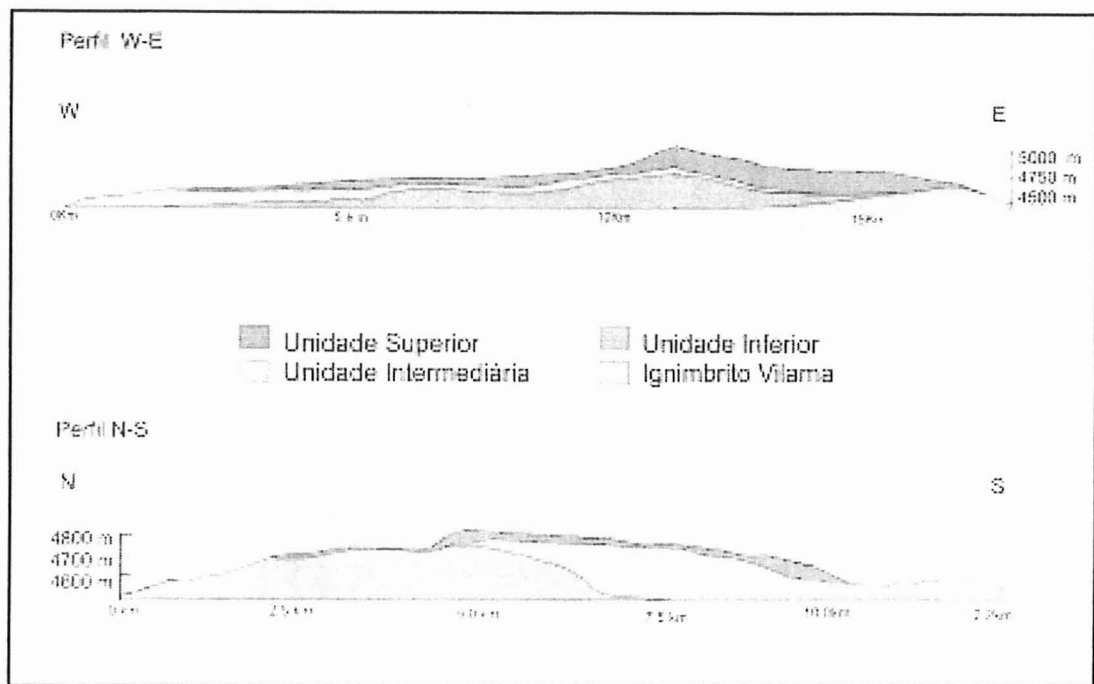


Figura 2. Perfis esquemáticos do Cerro Pululus

2.2. Unidade Pululus Intermediária

Os depósitos são maciços, de cor cinza claro e apresentam notável diaclasamento vertical. A espessura varia entre 0,8 e 50 m, decrescendo para sudoeste. Exibem apenas um tipo de púmice com diferentes graus de achatamento e diversos tipos de fragmentos líticos, em matriz rica em fragmentos vítreos, cristaloclastos e pequenos púmenes na fração lapilli. Os materiais componentes estão, em geral, pouco soldados. Perfis de detalhe permitiram reconhecer quatro fácies nesta unidade:

a) Fácies basal 1a - Este depósito de aproximadamente 10 m de espessura, aflora apenas ao lado da laguna Vilama (Figura 1). É muito rico em púmice (25 a 30%) e possui grandes fragmentos líticos angulares a arredondados (2 a 34 cm) de rochas sedimentares e vulcânicas, imersos em matriz vulcanoclástica de fração cinza grossa a lapilli.

b) Fácies basal 1b - Nesta fácies, com espessura de 3 até 30 m, observa-se gradação normal dos fragmentos líticos que passam de blocos na parte inferior a lapilli no topo, diminuindo também a sua porcentagem. Os púmenes, sem orientação preferencial, apresentam gradação granulométrica inversa, aumentando da fração lapilli fina (< 1 cm) na base para blocos de até 30 cm no topo.

c) Fácies 2 - O depósito tem 0,5 a 5 m de espessura. Os materiais apresentam alto grau de soldagem em camadas subparalelas o que confere ao depósito aspecto lajeado. Possui de 25 a 40% de púmenes nas frações lapilli e blocos. Os fragmentos líticos (5 a 12 %) têm tamanhos inferiores a 5 cm e incluem além de rochas vulcânicas, clastos de metasedimentos do Ordoviciano.

d) Fácies 3 - O aspecto do depósito, com 0,5 a 6 m de espessura, e o tipo e as proporções dos fragmentos constituintes são similares aos da fácies 2, os materiais, porém são pouco soldados. Uma maior concentração de fragmentos de lapilli-púmenes ocorre na base.

2.2. Unidade Pululus Superior

Esta unidade cobre todas as anteriores. Exibe coloração rosa-acinzentada escura e espessura que varia entre 3 m (à oeste do Cerro Pululus) até 100 m (na parte sudeste). Nas porções superiores do depósito e nos locais onde a espessura é menor, as rochas se desprendem em lajes métricas. Os púmenes (15 a 20%) variam de tamanho lapilli a blocos com até 30 cm de diâmetro, são achatados e soldados, de modo que nas lajes aparecem como discos. Os fragmentos líticos (menos de 2% do depósito) são de rochas vulcânicas, *fiammes* e fragmentos angulares de tufo oxidado. Este ignimbrito apresenta matriz vulcanoclástica rica em cristaloclastos e pequenos fragmentos de púmice soldados.

3. Petrografia

As três unidades do Cerro Pululus possuem elevada quantidade de cristaloclastos e púmenes e baixas quantidades de fragmentos líticos. As rochas se caracterizam por uma mineralogia simples e por texturas que dependem da espessura dos depósitos e do grau de soldagem dos materiais.

3.1. Mineralogia

A assembléia mineralógica do Cerro Pululus está representada por plagioclásio (andesina-labradorita), quartzo, biotita, hiperstênio, anfibólio (hornblenda), opacos, \pm zircão e \pm apatita. A mesma assembléia e características texturais similares ocorrem, em geral, em todas as unidades descritas, diferenciando-se apenas quanto as suas concentrações.

O plagioclásio (40-45 %) é o mineral mais abundante. Ocorre em cristais euédricos inequigranulares (variam de fenocristais a micrólitos) ou formando glomérulos. Apresentam com frequência um forte zoneamento e extinção ondulante e também uma grande quantidade de inclusões fluidas, o que lhes confere aspecto esponjoso. Esta textura geralmente ocorre associada ao zoneamento do cristal, em que bandas de aspecto mais esponjoso intercalam-se a bandas que não apresentam inclusões. Nos casos em que forma glomérulos, os grãos podem estar intercrescidos com cristais de ortopiroxênio, biotita e/ou opacos ou englobados por quartzo poiquilitico. Indícios de reabsorção também foram observadas, tanto nas porções internas como nas bordas dos cristais (principalmente quando estes estão em contato com o vidro da matriz).

O quartzo (15-30%) ocorre em cristais bipiramidais euédricos ou como grãos parcialmente reabsorvidos (com bordas embainhadas) e também como grandes indivíduos poiquiliticos que englobam aglomerados de plagioclásio e/ou biotita.

A biotita (10-20%) apresenta-se bastante alterada (com espessas bordas de oxidação) e muitas vezes substituída parcialmente ou completamente por opacos. Seus cristais são inequigranulares (variam de fenocristais a cristais esqueléticos) e a grande maioria apresenta-se fraturada e/ou deformada, orientando-se paralelamente à direção de compactação/soldagem que afetou a rocha, ou moldando-se ao redor de outros fenocristais. Podem apresentar inclusões de plagioclásio e ortopiroxênio ou formar aglomerados junto com estes.

Os cristais inequigranulares de ortopiroxênio exibem formas que variam de euédricas a anédricas, e podem apresentar inclusões de plagioclásio. Muitos destes cristais também possuem bordas de alteração, porém são raros os casos em que o mineral se apresenta completamente alterado. O clinopiroxênio é raro, ocorrendo principalmente como pequenos fragmentos dispersos na matriz.

O anfibólio (hornblenda), quase totalmente alterado forma grãos euédricos ou se apresenta como pequenos fragmentos. A grande maioria está completamente substituída por agregados de grãos opacos e outros minerais associados, como biotita e plagioclásio.

Os minerais opacos formam agregados resultantes da alteração do anfibólio e de outros minerais máficos. Os minerais acessórios (<1%) são representados por cristais esparsos de apatita, zircão e cassiterita e, assim como os opacos, ocorrem na matriz ou como inclusões nos púmices e cristaloclastos.

3.1. Texturas vulcanoclásticas

Tanto os púmices quanto a matriz do ignimbrito apresentam altas proporções de cristais (25-30% para púmices e 40-45% para matriz), sendo que os grãos da matriz ocorrem bem mais fragmentados, o que lhe confere um aspecto turvo quando observado ao microscópio.

Os pequenos fragmentos de púmice dispersos na matriz ocorrem sempre estirados, com terminações e bordas pouco definidas, sendo que em amostras retiradas de zonas de maior soldagem, os púmices tendem a ocorrer como *fiammes*. A devitrificação que afeta os púmices é principalmente do tipo esferulítica, texturas do tipo axiolítica ocorrem apenas em alguns púmices pouco soldados, como contorno de espaços vazios e cristaloclastos.

Seções delgadas de amostras das Unidades Superior e Inferior revelaram que os púmices de tonalidades branca e rosa tem a mesma composição mineralógica, diferenciando-se quanto ao grau de devitrificação, de tal forma, os fragmentos mais avermelhados apresentam um grau mais avançado de devitrificação, com a formação de diversos esferulitos dispersos na matriz (associados a uma textura microgranofírica) e os púmices brancos, por sua vez, apresentam apenas esferulitos mais dispersos.

Também foram identificados raros púmices de coloração cinza escura que, ao microscópio, revelaram uma composição mais básica e mais pobre em cristaloclastos. Estão constituídos por plagioclásio (labradorita), pouco quartzo e muitos minerais máficos (ortopiroxênio, hornblenda e biotita) imersos em uma matriz devitrificada, com formação de esferulitos.

Seções realizadas em amostras com soldamento incipiente e alteração de fase-vapor revelam alguns poucos fragmentos vítreos (*glass-shards*), com textura de devitrificação do tipo microgranofírica e/ou axiolítica, o que permite o seu reconhecimento em meio a matriz alterada. Em amostras retiradas de zonas com maior soldamento, os fragmentos também podem ser identificados devido a devitrificação sobreposta porém, em geral, os mesmos ocorrem deformados conferindo-lhe à matriz uma textura do tipo eutaxítica. Na mesma amostra identificam-se texturas de reomorfismo, com cristais rotacionados e púmices em sigmoides. Em amostras muito alteradas a textura eutaxítica é obscurecida devido a sericitização que afeta a matriz.

Devitrificação do tipo perlítica associada à formação de alguns esferulitos, apenas pôde ser observada em amostras retiradas do ponto mais alto do Cerro Pululus. Estas rochas não apenas apresentam-se menos alteradas, como também foram pouco afetadas por fase-vapor e soldagem, o que provavelmente contribui na melhor preservação desta textura.

4. Considerações Finais

A alta concentração de cristais na matriz (35-45%) e nos púmices (25-30%) dos ignimbritos indicam que eles foram gerados por um magma porfirítico, com viscosidade alta, como ocorre com a maioria dos ignimbritos da região vulcânica do Andes Centrais. Estima-se também que a distribuição dos depósitos foi fortemente influenciada pela topografia, uma vez que as características mencionadas acima se refletem diretamente na dinâmica de uma corrente piroclástica.

As texturas observadas nos plagioclásios (i.e., aspecto esponjoso, zoneamento irregular, inclusões possivelmente vítreas), as bordas de reação nos anfíbolios e biotita, e outras feições mineralógicas, indicam instabilidade no magma durante a cristalização dos minerais, associada, talvez, a uma grande perda de voláteis, antes das erupções (degasificação).

A primeira explosão (unidade inferior), teria gerado nuvens densas evitando, desse modo, o desenvolvimento vertical da coluna eruptiva e também uma maior perda de calor. A espessura do depósito decresce e as camadas se inclinam (com baixo ângulo) para sudoeste. O fluxo altamente viscoso e com temperatura relativamente alta, teria se comportado de forma pouco turbulenta depositando-se em um provável paleo-vale onde hoje está localizada a Laguna Vilama, e constituindo assim um depósito de tipo HARI com zonas de soldagem associadas.

A unidade intermediária corresponde ao depósito de um segundo evento explosivo que ocorreu no centro vulcânico de Pululus, pouco tempo depois da primeira erupção. As características do depósito indicam que durante a formação, passagem e/ou deposição da corrente piroclástica, a taxa de descarga ou a dinâmica de colapso da coluna teria variado gradualmente, gerando “pulsos” imediatamente consecutivos no mesmo fluxo (sem o corte de suprimento). Este processo mudaria, certamente, as características do fluxo, resultando em gradações descontínuas no depósito (diferentes fácies), com ausência de superfícies de contato.

A fácies 1a desta unidade diferencia-se das demais fácies por apresentar uma maior concentração de blocos líticos angulosos de até 40cm, assim como grandes fragmentos de púmice de até 25cm. Por estar localizada exatamente acima de um desnível topográfico, o mesmo desnível que marca o contato com a unidade inferior (Figura 2), é provável que este depósito represente uma brecha lítica distal, sabendo-se que estas também podem ocorrer longe do centro emissor, estando geralmente controladas por condições topográficas específicas, como por exemplo, súbitas mudanças no declive.

Para que ocorra este tipo de brecha, no entanto, é necessário que haja um maior aporte de fragmentos líticos dentro do fluxo, que pode ser gerado por mudanças na localização do centro emissor ou alargamento da boca de erupção.

A fácies 1b apresenta púmices elípticos depositados de forma desordenada e também menor grau de soldamento. Estas características podem indicar que houve uma maior entrada de ar externo dentro do fluxo durante seu transporte, o que provocaria turbulência e seu rápido resfriamento. Em seqüência, o fluxo teria entrado num regime de menor turbulência, o que lhe permitiu uma maior retenção de calor e assim sendo, um aumento no grau de soldagem caracterizando o depósito da fácies 2. Uma discreta concentração de pequenos fragmentos líticos e púmices definem a base da fácies 3, que se assemelha a fácies anterior, porém apresentando um menor grau de soldagem e uma menor espessura.

O terceiro evento vulcânico (unidade superior) teria apresentado características explosivas e dinâmicas de fluxo, semelhantes à primeira erupção. O seu fluxo, denso e quente, teria se comportando de forma laminar e pouco turbulenta, guiando-se pela topografia e descendo preferencialmente para sudeste, formando um depósito do tipo HARI, com aproximadamente 100m de espessura e um evidente zoneamento de soldagem. Este fluxo também se deslocou para outras porções do Cerro Pululus, depositando-se como uma fina capa (< 6m de espessura) sobre as demais unidades. Aqui, ela apresenta um grau de soldagem de alto a moderado, com uma pronunciada disjunção horizontal e púmices elípticos e discóides paralelos a esta disjunção.

No cerro Pululus não foi observada nenhuma variação lateral que ajude a definir com precisão a localização da boca de emissão dos fluxos piroclásticos. Neste trabalho considerou-se mais provável que a área de emissão estivesse localizada na porção mais alta do cerro Pululus, coincidindo com fraturas anelares de direção NW-SE presentes no local. Este fraturamento, segundo Coira *et al.* (1996 a,b), estaria vinculado ao dobramento ressurgente do ignimbrito Vilama (de orientação NW), encontrando-se sub-paralelo às estruturas prévias de colapso da caldeira Vilama. Esta idéia, porém, é apenas uma hipótese, uma vez que não há dados suficientes para comprova-la. As partes mais elevadas do Cerro Pululus estão totalmente cobertas pelo depósito da Unidade Superior e não apresentam nenhum indício de fácies proximal, como por exemplo, brechas co-ignimbriticas (brechas típicas, indicativas da proximidade da boca de emissão, constituídas por fragmentos líticos de grandes dimensões, que não poderiam ser carregadas pelas correntes piroclásticas).

6. Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do *Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy*, Argentina, pelo apoio durante a realização do trabalho, em especial a Miguel M. Soler pela colaboração brindada a uma das autoras (Liza Polo) nos trabalhos de campo.

7. Referências

- COIRA, B.L., CAFFE, P.J., DIAZ, A., RAMIREZ, A. Sistema de Calderas Anidadas del Cenozoico Superior: Vilama-Coruto, Puna (Argentina) – Altiplano (Bolivia). In: *Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia III*, p. 991 – 1002, 1996a.
- COIRA, B.L., CAFFE, P.J., KAY, S.M., DIAZ, A., RAMIREZ, A. Complejo Volcanico Vilama – sistema Calderico del Cenozoico Superior en Puna, Jujuy. In: *XIII Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas III*, p. 603-620, 1996b.
- LINDSAY J.M., SILVA, S.L., TRUMBULL, R.B., EMMERMANN, R., WEMMER, K. La Pacana caldera, N. Chile: a re-evaluation of the stratigraphy and volcanology of one of the world's largest resurgent calderas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.106, p: 145-173, 2001.
- SILVA, S.L. Altipalno Puna volcanic complex of the Central Andes. *Geology*. v.17, p:1102-1106, 1989.
- SILVA, S.L., FRANCIS, P.W. Volcanoes of the Central Andes. *Springer, Berlin Heidelberg New York*, 216 p, 1991.