

GEOLOGIA Y PETROGRAFIA DE LA ZONA DE ESQUENTAQUE - LA JOYA

IVAN MONRROY*, ELENA GORINOVA*, HUGO ALARCON*,
MICHEL FORNARI** & PIERRE SOLER**

*Instituto de investigaciones Geológicas, UMSA, CP 12198, La Paz, Bolivia.

**ORSTOM, UR 1H, CP 9214, La Paz, Bolivia.

INTRODUCCION

La zona de Esquentaque - La Joya, se encuentra ubicada en la Provincia Cercado al Noroeste de la ciudad de Oruro.

En la región afloran rocas ígneas de edad terciaria: depósitos piroclásticos, coladas de lava, domos volcánicos y cuerpos subvolcánicos. También existen afloramientos de rocas sedimentarias de edad Silúrica.

El mayor cuerpo ígneo corresponde a un macizo volcánico de aproximadamente 9 x 15 Km de superficie, llamado "Macizo de Esquentaque", se encuentra en el borde Sur del lago Soledad. Hacia el Oeste del Macizo de Esquentaque, aflora un grupo de pequeños Stocks de composición dacítica alineados con un rumbo NW - SE denominados "Stocks La Joya" que intruyen en rocas de la Formación Catavi. Al Suroeste del cerro La Joya, aflora un stock dacítico llamado Cerro Kiska, que es de la misma edad que los stocks del distrito La Joya. Los cuerpos subvolcánicos del distrito de La Joya, presentan fuerte alteración hidrotermal con mineralización polimetálica de Au-Ag-Cu-Pb-Zn (Redwood, 1987).

Cerca de 10 Km al Oeste del Distrito La Joya, afloran tres pequeños cerros que corresponden a domos riolíticos alineados con un rumbo NW - SE, y según Redwood, dicha alineación corresponde a una fractura anular exterior de la Caldera Soledad; Estos domos de Norte a Sur son: Cerros Quimsa Chata, Cerro Llallagua y Cerro San Antonio. Según el mismo autor, se incluye el cerro Kiska como parte de la alineación, pero debido a su edad más antigua, es considerada como una evolución magmática diferente, que será discutida posteriormente.

Al Norte del Cerro La Joya, existe un diminuto cerro de composición básica denominado Cerro Pujno.

En el presente trabajo, se describe la geología de la zona, poniendo énfasis en el mapeo de las distintas unidades lávicas del macizo de Esquentaque y las características petrográficas mediante la observación microscópica de secciones delgadas. El trabajo se complementa con análisis químicos con los que se han hecho algunos diagramas de variación.

MARCO GEOLOGICO

Rocas sedimentarias Paleozoicas.- Las rocas más antiguas existentes en la zona son de edad Silúrica (Formación Catavi), las cuales afloran en un área restringida entre el sector Oeste del macizo de Esquentaque y el flanco Este del Cerro La Joya. Dichas rocas consisten de areniscas micáceas gris verduzcas bien estratificadas en bancos con espesores entre 20 y 70 cm aproximadamente, localmente afectada por pequeñas fallas gravitacionales. Esta formación se encuentra ligeramente plegada, formando una pareja anticlinal - sinclinal, con su eje de Rumbo N 20° W y buzamientos entre 30 y 35°

Rocas ígneas.- Son las más abundantes de la zona, en su integridad de edad Terciaria (fig. 1). La diversidad de rocas ígneas es producto de cinco eventos magmáticos citados en edad decreciente:

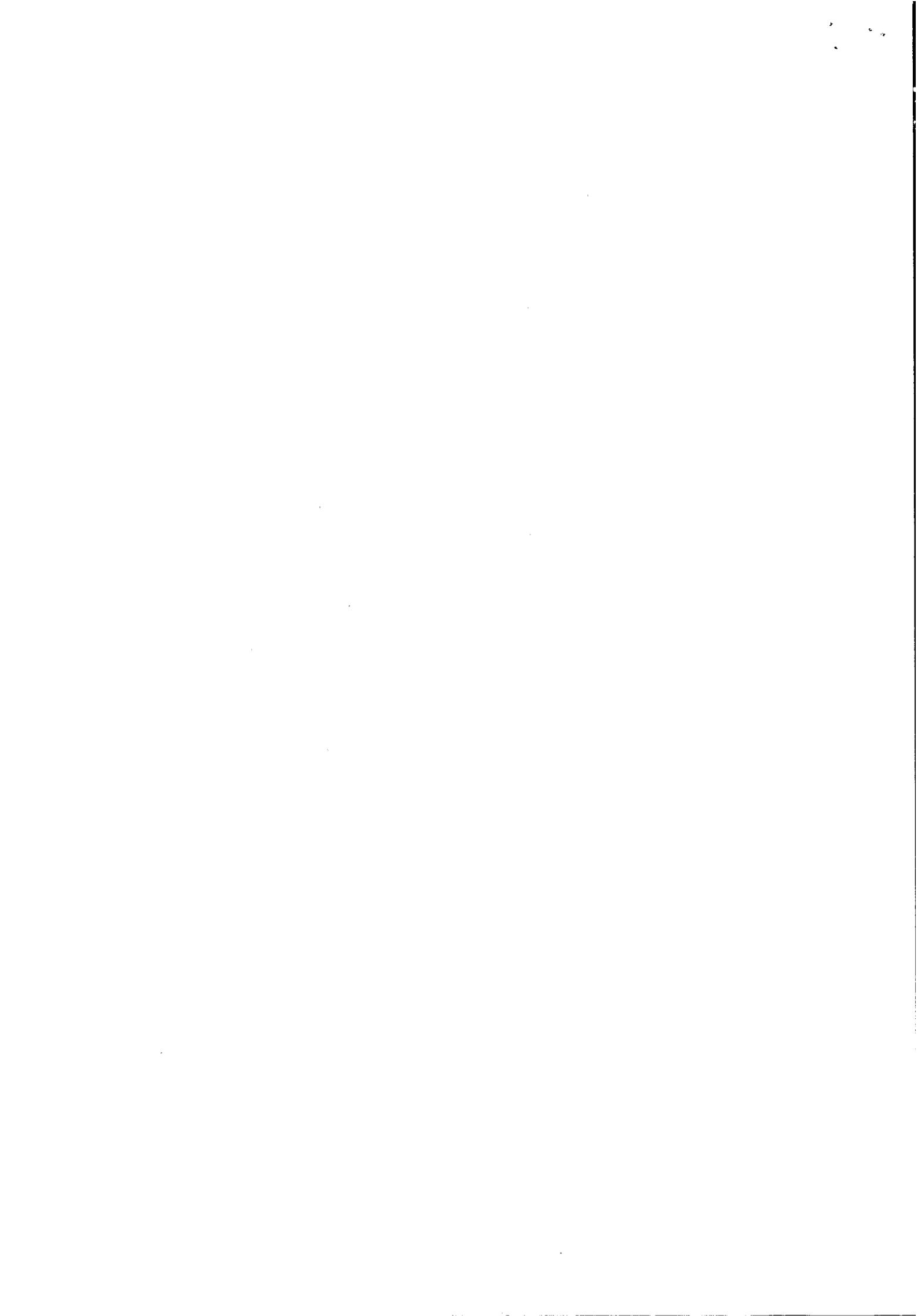
- 1.- Emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos del distrito de La Joya (14.6 Ma)
- 2.- Coladas básicas de afinidad shoshonítica al Norte de la zona (área del Cerro Kollpana), (10 Ma).
- 3.- Formación de los domos volcánicos de composición riolítica (8.8 Ma).
- 4.- Erupción de las tobas Soledad contemporáneamente con las lavas Esquentaque (5.4 Ma).
- 5.- Emplazamiento de las rocas básicas del Cerro Pujno (probablemente Cuaternario).

CUERPOS SUBVOLCANICOS DEL DISTRITO DE LA JOYA

El distrito está conformado por un grupo de stocks alineados en una dirección NW - SE, cerca al río Desaguadero, que de Norte a Sur son: Cerro Quiviri - La Barca, Cerro Llallagua y Kori Kollo; al Oeste de los cuales se ubica un cerro mayor llamado Cerro La Joya (fig. 1).

a) Cerro La Joya.- Es un stock dacítico que intruye a rocas de la Formación Catavi, tanto el stock como la roca huesped muestran intensa propilitización y sericitización, este cerro es el sitio de las antiguas minas San Pablo y Carmen, las vetas mineralizadas cortan ambas unidades de roca (Learned *et al.*, 1992). Los minerales principales en la zona hipógena son cuarzo, calcopirita, pirita, enargita, arsenopirita, tetraedrita y menor bismutina. Una zona de





brecha con matriz de turmalina, cortada por vetas de sulfuros está ubicada en la parte alta del cerro. En la zona de enriquecimiento supergénico, la mineralización principal consiste de calcosina, covellina y digenita residual. En la zona de oxidación, minerales de plata y cobre han sido lixiviados y solo tiene remanentes de oro (Learned *et al.*, 1992).

b) Cerro Quiviri.- Es el ubicado más al Norte de los cerros alineados. En la cumbre del Cerro Quiviri, una dacita alterada intruye en rocas sedimentarias también alteradas de la Formación Catavi. La mineralización se concentra en una fractura de rumbo NE - SW en ambas unidades. La alteración de las rocas en el cerro no es pervasiva, con zonas de roca porfiritizada.

c) Cerro Llallagua.- El cerro Llallagua se encuentra entre los Cerros La Barca y Kori Kollo y corresponde a una roca ígnea porfídica que ha intruido en rocas silíceas.

La zona de oxidación está constituida por la roca ígnea porfídica fuertemente alterada, que contiene numerosas vetas y venillas de jarosita-sílice-limonita. En la parte inferior del cerro, se ha detectado una zona de sulfuros que se encuentra en actual exploración. Es interesante la ocurrencia de valores altos de oro (mayor a 50 g/t) en las venillas de jarosita asociada a las rocas ígneas fuertemente silicificadas y/o sericitizadas (Alarcón 1991).

d) Cerro Kori Kollo.- Es un stock de dacita con textura porfídica la cual está intensamente alterada, principalmente sericitizada y silicificada. Alunita y jarosita ocurren como rellenos de fractura post-mineralización. La mineralización está presente en vetas y venillas con rumbo NE - SW, en algunos sitios es frecuente que aparezca en forma de zonas brechadas. Vetas de minerales hipógenos incluyen pirita, arsenopirita, galena, tetraedrita, calcopirita, estibina, esfalerita y electrum. El oro está presente en granos de 5 - 14 micrones de diámetro, asociados con tetraedrita, estibina y con pirita diseminada. En las partes bajas y externas del depósito, la marcasita reemplaza a la pirita. En la zona de oxidación, el oro se presenta en granos de 2 - 15 micrones de diámetro y está asociado con cuarzo, pirita, limonita y jarosita (Learned *et al.*, 1992).

e) Cerro Kiska.- Es un pequeños afloramiento que se presenta unos 50 m por encima del nivel del Altiplano al SW del depósito del Kori Kollo, el cerro está compuesto de rocas de la Fm. Catavi intruidas por un pórfido dacítico, ambos han sido alterados hidrotermalmente formando una brecha de cuarzo sericitita (Ludington *et al.*, 1992), la alteración es similar a la zona de oxidación del cerro Kori Kollo (Redwood, 1987). La roca mineralizada es un stockwork que consiste por lo menos de dos generaciones de vetas que contienen sílice fina, jarosita, hematita y alunita, esta última es la más joven (Ludington *et al.*, 1992).

Diversos autores han realizado algunas dataciones de este distrito. Para el fechado del Cerro La Joya, se tomó una muestra de la parte Norte (Cerro Isahuara), que da una edad en K-Ar de 14.3 ± 0.4 Ma (Mioceno Medio), fecha que es tomada como la edad del emplazamiento de todo el grupo de stocks La Joya. Mientras que una edad determinada en sericitita de una mena del cerro Kori Kollo da 15.7 ± 0.5 Ma (Redwood, 1987). Estas fechas, aunque son

discordantes en detalle, son consistentes con un campo de evidencia que indica que la intrusión del cuerpo dacítico y la mineralización están estrechamente relacionados.

Vetas de cuarzo-alunita que cortan las estructuras mineralizadas del cerro Kori Kollo dan una edad de 4.7 ± 0.2 Ma (Ludington, *et al.*, 1992). Para estos autores, esto, indicaría que los sistemas de alteración hidrotermal fueron de larga vida.

En el Cerro Kiska, dataciones de una serie de vetas de alunita aparentemente sin contenidos de oro, dan una edad de 13.6 ± 0.5 Ma (Ludington, *et al.*, 1992) que se toma como la edad de alteración hidrotermal.

Así el evento de emplazamiento de los stocks y mineralización del distrito de La Joya, ocurrió entre 14.3 y 13.6 Ma.

DOMOS VOLCANICOS RIOLITICOS

En una extensa pampa al Oeste de La Joya, se encuentran tres cerros aislados alineados en una dirección NW - SE. Dichos pequeños cerros corresponden a domos volcánicos de composición riolítica, que de Sur a Norte son: "Cerros Quimsa Chata", "Cerro Llallagua", y el más distante hacia el Noroeste el pequeño cerro "San Antonio".

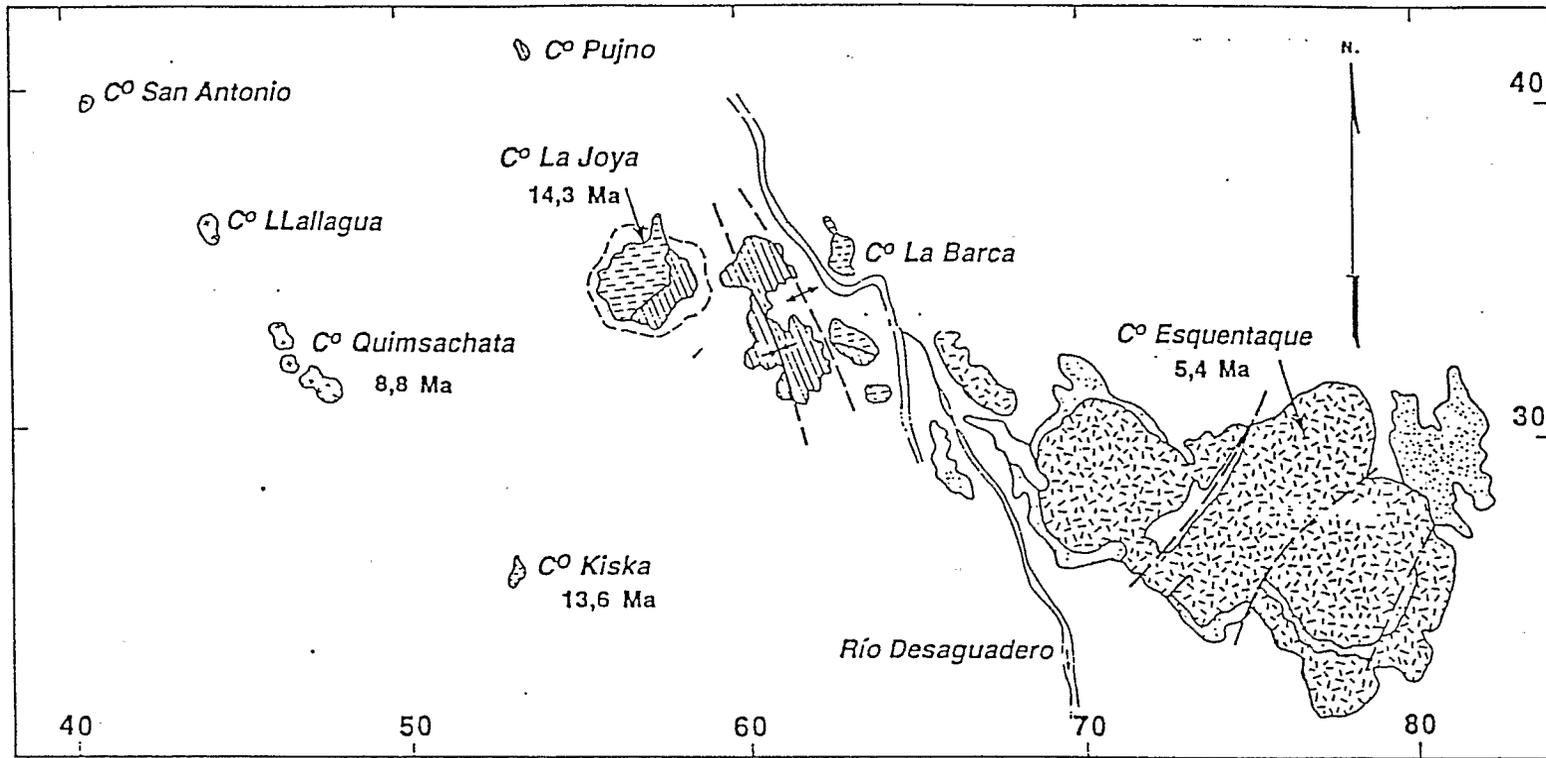
a) Cerros Quimsa Chata.- Son 4 cerros de los cuales el mayor está a 100 m por encima del nivel del Altiplano. Se observa la estructura de domos volcánicos con flujos concéntricos casi verticales en las partes distales. La roca fresca es gris oscura, porfídica, con fenocristales de sanidina de hasta 4 cm., cuarzo y biotita dentro de una matriz vítrea, presenta algunas vetas oxidadas y otras de alunita, en las cuales se han realizados algunos cateos mineros.

b) Cerro Llallagua.- Están aflorando dos cerros de menos superficie que los Quimsachata que alcanza una altura de 120 m. sobre el Altiplano, se observa alteración hidrotermal en varios sectores, donde la roca ha sido silicificada, también existen sectores oxidados donde se conservan fenocristales de feldespato de hasta 3 cm dentro de una pasta color violeta debido a la oxidación; periféricamente existe alunitización, tanto en forma de vetillas como reemplazo de la roca original. La roca fresca presenta fenocristales de feldespatos, cuarzo y biotita en una matriz fina de color gris claro.

En la parte central del cerro Llallagua, existe un pequeño afloramiento de roca sedimentaria consistente de areniscas rojizas de grano medio a fino, bien laminadas, con un rumbo N 75° W y de buzamiento vertical, probablemente es un trozo que fué arrancado el momento del emplazamiento del cuerpo sobre rocas terciarias.

c) Cerro San Antonio.- 6 Km más al NW del cerro Llallagua, se encuentra un diminuto afloramiento de forma circular que se eleva a 20 m sobre el nivel del Altiplano denominado Cerro San Antonio, que consiste de una roca volcánica de color gris claro, porfídica con fenocristales de sanidina, cuarzo y biotita en una matriz fina, se encuentra muy fracturado; no se observa ninguna estructura de flujo ni tampoco alteración hidrotermal.

332



REFERENCIAS

- | | | | |
|--|---------------------------|--|------------|
| | Lavas y domos Esquentaque | | Cuatemario |
| | Toba Soledad | | Fm Catavi |
| | Domos riolíticos | | Fallas |
| | Stock La Joya | | Pliegues |

ESCALA
0 5 Km

Fig. 1. Mapa geológico simplificado del área de estudio.

Redwood (1987), ha datado la riolita del Cerro Quimsachata, la cual proporciona una edad en biotita de 8.8 ± 0.3 Ma. En vista de la similitud de estos domos riolíticos, se considera la misma edad de emplazamiento para todos ellos.

TOBAS SOLEDAD

Las tobas Soledad, tienen una mayor extensión de afloramiento en el sector Noreste del macizo de Esquentaque, y se extienden a lo largo del borde oriental del Lago Soledad; el contacto inferior de dichas tobas en este sector no es observado, ya que los sedimentos cuaternarios del Altiplano cubren su base, el espesor de este depósito piroclástico desde el nivel del Altiplano, es de 130 m. desconociéndose el espesor total, pero más al SE del macizo, el espesor se reduce hasta aproximadamente 60 m donde la toba está entre dos coladas de lava.

La depositación de estas tobas no se llevó a cabo en una sola etapa, sino que al contrario, la actividad volcánica fue intermitente y con varios sitios de erupción (Jimenez *et al.*, 1987).

La toba consiste de fenocristales de biotita, cuarzo y plagioclasa, con poca sanidina, presenta también litoclastos de dacita porfídica, fragmentos de pómez, y menos frecuente litoclastos de rocas sedimentarias Paleozoicas (Redwood, 1987). Existe una intercalación con niveles de brechas piroclásticas, tobas líticas y tobas porfídicas. En la parte NE del macizo de Esquentaque, las tobas están afectadas por pequeñas fallas normales con rechazos entre 5 m y 20 cm, en este sector se observa una clara estratificación de las tobas.

Varias dataciones han sido realizadas por Redwood (1987), las cuales dan edades de plagioclasas de 5.23 ± 0.29 a 5.0 ± 0.7 Ma. y edades en biotitas de 6.5 ± 0.2 a 4.6 ± 0.21 Ma., según este autor, se deduce una edad promedio de 5.4 Ma. la cual es tomada como la edad de la erupción de las tobas Soledad.

LAVAS ESQUENTAQUE

El macizo de Esquentaque, es un complejo volcánico caracterizado por la presencia de varios domos volcánicos, diques y cuatro efusiones lávicas, intercaladas con erupciones piroclásticas: las tobas Soledad (Fig. 2).

La primera efusión, se manifiesta por una colada antigua que tiene mayor exposición en el sector Sureste, la roca está fuertemente meteorizada, pero en afloramientos de roca fresca, mostrando fenocristales de feldespatos y biotita, con poco cuarzo, la matriz es de color gris oscuro. Las direcciones de flujo no son muy notorias, pero sí se observan estructuras columnares en paredes escarpadas.

Esta colada, está cubierta por un depósito piroclástico, las tobas Soledad cuyo contacto está frecuentemente cubierto por coluvios cuaternarios, pero el tope sí se puede observar claramente, suprayaciendo a las tobas, se nota brecha monogénica de base de colada, compuesta exclusivamente por clastos angulares de dacita gris oscura y porfídica, esta brecha es de unos 10 m de espesor, e inmediatamente pasa a la segunda colada de lava la que en algunos sectores recubre casi por completo a las tobas, poniéndose en

contacto con la primera colada, subrayando una etapa de erosión de las tobas antes del emplazamiento de la segunda colada.

Encima de la segunda colada, se distingue un conjunto de 300 m de espesor de lavas, que aparentemente comprende por lo menos dos coladas superpuestas, ya que en el campo, el único criterio para distinguirlas, son las paredes escarpadas que presentan estructuras columnares, las cuales son observadas claramente y pueden ser seguidas también en las fotografías aéreas.

En varios sectores, es muy visible la estructura fluidal de las coladas, que en su mayoría tienen una inclinación al SW, pero también la dirección de los flujos es de tipo radial.

Los domos volcánicos dentro del macizo son de composición dacítica, observándose en algunos casos las direcciones de flujo discordante respecto a los flujos de lava, presentan grandes fenocristales de plagioclasas, y abundante cantidad de xenolitos con tamaños de hasta 30 cm. de diámetro, esto en la parte NW y la parte Sur de macizo,

En el sector Noreste, los domos tienen una fuerte alteración hidrotermal.

A través de imágenes de satélite y fotografías aéreas, son claramente observados tres lineamientos que cortan al macizo con una dirección NE - SW. A lo largo de uno de estos lineamientos se encuentra una zona de alteración hidrotermal. Son frecuentes fallas de menor tamaño con rechazos de hasta 30 m; es a través de una de estas, la ubicada cerca de la comunidad Belén, en la que se ha emplazado un dique andesítico, con presencia de una brecha monogénica en sus bordes.

Biotita del tope de un flujo de lava del Cerro Esquentaque ha sido datada por Redwood (1987), dando una edad de 5.1 ± 0.2 Ma y 5.7 ± 0.2 Ma. con un promedio de 5.4 Ma., que es la misma edad que las tobas Soledad.

CERRO PUJNO

Aproximadamente a unos 9 Km al Norte del cerro La Joya, completamente aislado en la altiplanicie, aflora un pequeño cerro de 30 m. de altura, denominado Cerro Pujno. Dicho afloramiento, se compone de rocas afaníticas color marrón oscuro y negro, se distinguen dos tipos de rocas: una de grano muy fino sin fenocristales observables a simple vista y la otra son muy vacuolares probablemente partes superficiales de la colada (escorias) con pequeños cristales de piroxeno dentro de una pasta homogénea de color oscuro, sin minerales félsicos visibles. En afloramiento, tiene la apariencia de una roca basáltica afanítica, cuya relación con los demás cuerpos ígneos de la zona, es aún desconocida, pero aparentemente están relacionadas con un evento reciente (menor a 2 Ma.) documentado en el Altiplano Central (Carlier *et al.*, 1992).

PETROGRAFIA

Las muestras tomadas para el análisis petrográfico, corresponden tanto a rocas frescas como a rocas alteradas hidrotermalmente.

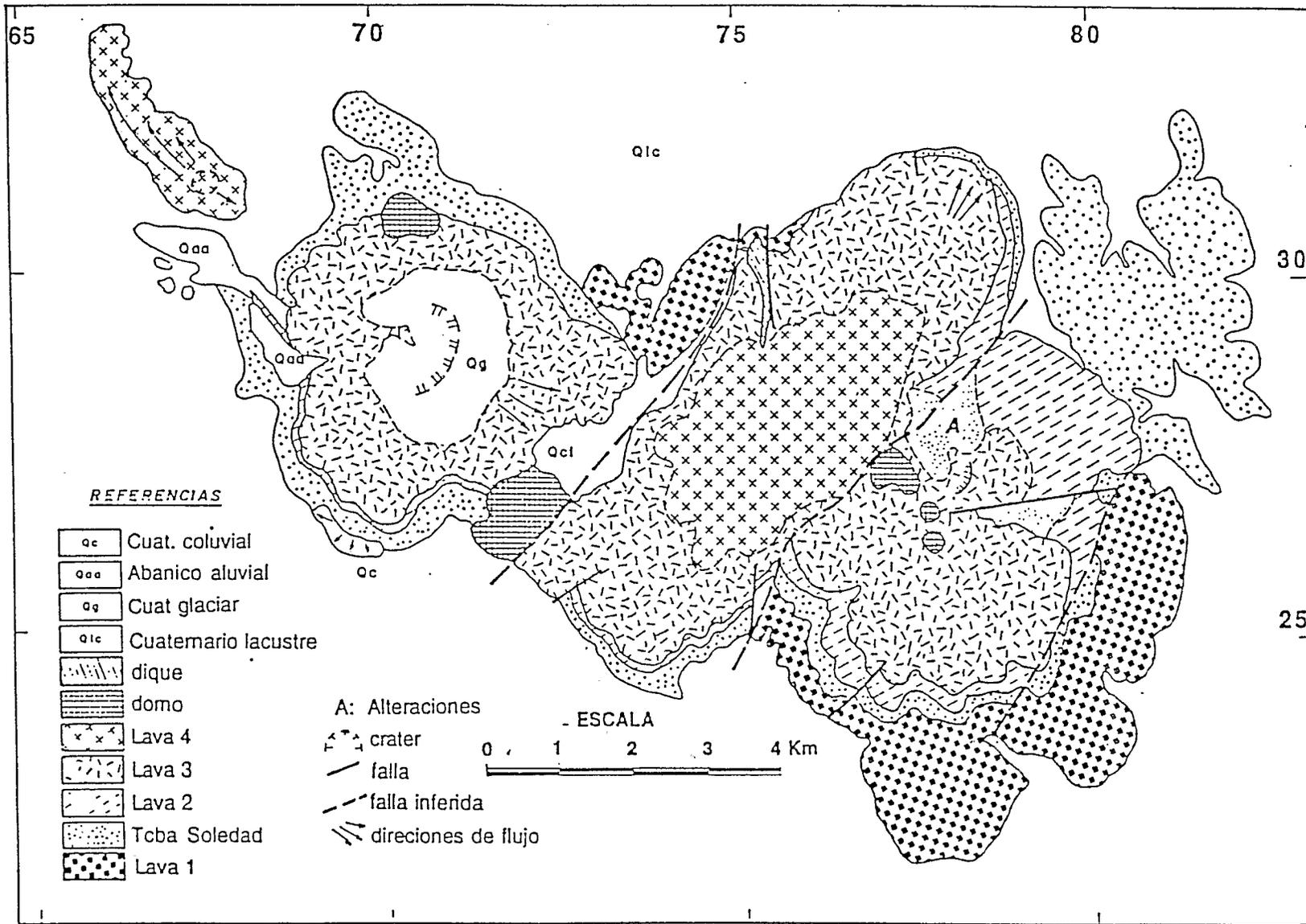


Fig. 2. Mapa geológico del macizo de Esquentaque.

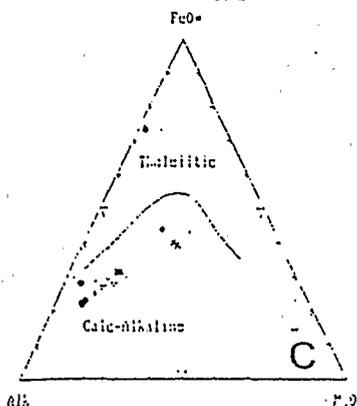
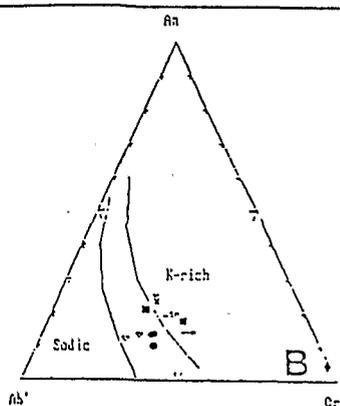
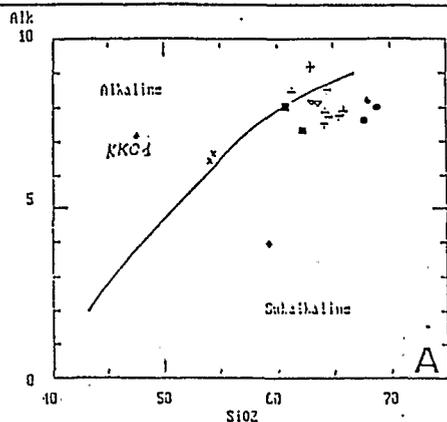


Fig. 3. Diagramas de variación
 a) Alcalino / subalcalino
 b) Subalcalino sódico o potásico
 c) AFM (Irvine y Baragar, 1971)

- ◆ = Cerro Karri Koi'o
- ▽ = La Joya
- = Llagueta-Quiviri
- = Demos
- + = Lavas Esquentaque
- x = Cerro Pujico

Fig. 3. Diagramas de variación. a) Alcalino/subalcalino, b) Subalcalino sódico o potásico, c) AFM (Irvine y Baragar, 1971).

Los cerros Quimsachata se componen de rocas riolíticas porfídicas, grandes fenocristales de plagioclasas la mayoría con marcada zonación y con inclusiones de zircón y apatito, los fenocristales de cuarzo son anhedral con bordes redondeados y con corrosión magmática. Se observan en algunos ejemplares varias inclusiones fluidas de tamaños muy pequeños y formas irregulares. El feldespato potásico es la sanidina presente en pequeños cristales subhedral y con los bordes poco corroídos. La biotita se encuentra en pequeños cristales alargados y tabulares, en algunos sectores levemente orientados, con inclusiones de apatito y zircón; presentando reemplazamientos por óxidos de hierro en diferentes proporciones. Un mineral máfico común es también la hornblenda (7%) en cristales de menor tamaño que las biotitas, en algunas secciones existen piroxenos, como mineral accesorio está la esfena. La matriz es microcristalina, con pequeños cristales de apatito, microcristales de plagioclasa, sanidina, y cuarzo, el vidrio está casi ausente, tiene poca estructura de flujo.

Según la clasificación de Streikeisen, el domo Quimsachata corresponde a una riolita.

El cerro Kiska tiene una fuerte alteración hidrotermal, con mucha silicificación. Se distinguen dos tipos de cuarzo: uno primario en fenocristales grandes anhedral y con inclusiones fluidas y los cuarzos secundarios de alteración en pequeños cristales euhedral y subhedral con contactos lineares y suturados y extinción ondulosa; los intersticios son rellenos con sericita y clorita de hábito fibroso.

también se las observa como venillas que cortan a la roca.

Las rocas de los stocks La Joya, consisten de dacitas con alteración hidrotermal; presentan fenocristales de plagioclasas de tipo andesina, varios con zonación, menos frecuentes fenocristales de feldespato potásico y cuarzo, la biotita es muy escasa. Los accesorios son zircón y apatito, ambos como inclusiones en plagioclasas y biotitas, también algunos apatitos como fenocristales de tamaño pequeño.

Los minerales de alteración son los siguientes:

Clorita con hábito fibroso, reemplazando parcial o totalmente a la biotita y está asociada con algunos óxidos de hierro; calcita y epidota anhedral, producto de alteración de las plagioclasas; silicificación con la presencia de cuarzo secundario con bordes suturados, también existe pirita diseminada de forma cúbica.

La fábrica es porfírica, donde los fenocristales de plagioclasas, cuarzo y feldespato potásico están rodeados de una matriz microcristalina, en la cual los microcristales son de difícil distinción por la abundante cloritización en la pasta. Se observa frecuentemente xenolitos con una fábrica hipidiomórfica compuestos de plagioclasas, menos cuarzo y feldespatos, ausencia de matriz, muy cloritizados, epidotizados y carbonatizados; estos minerales de alteración ocupan los espacios intersticiales y las fracturas de los cristales.

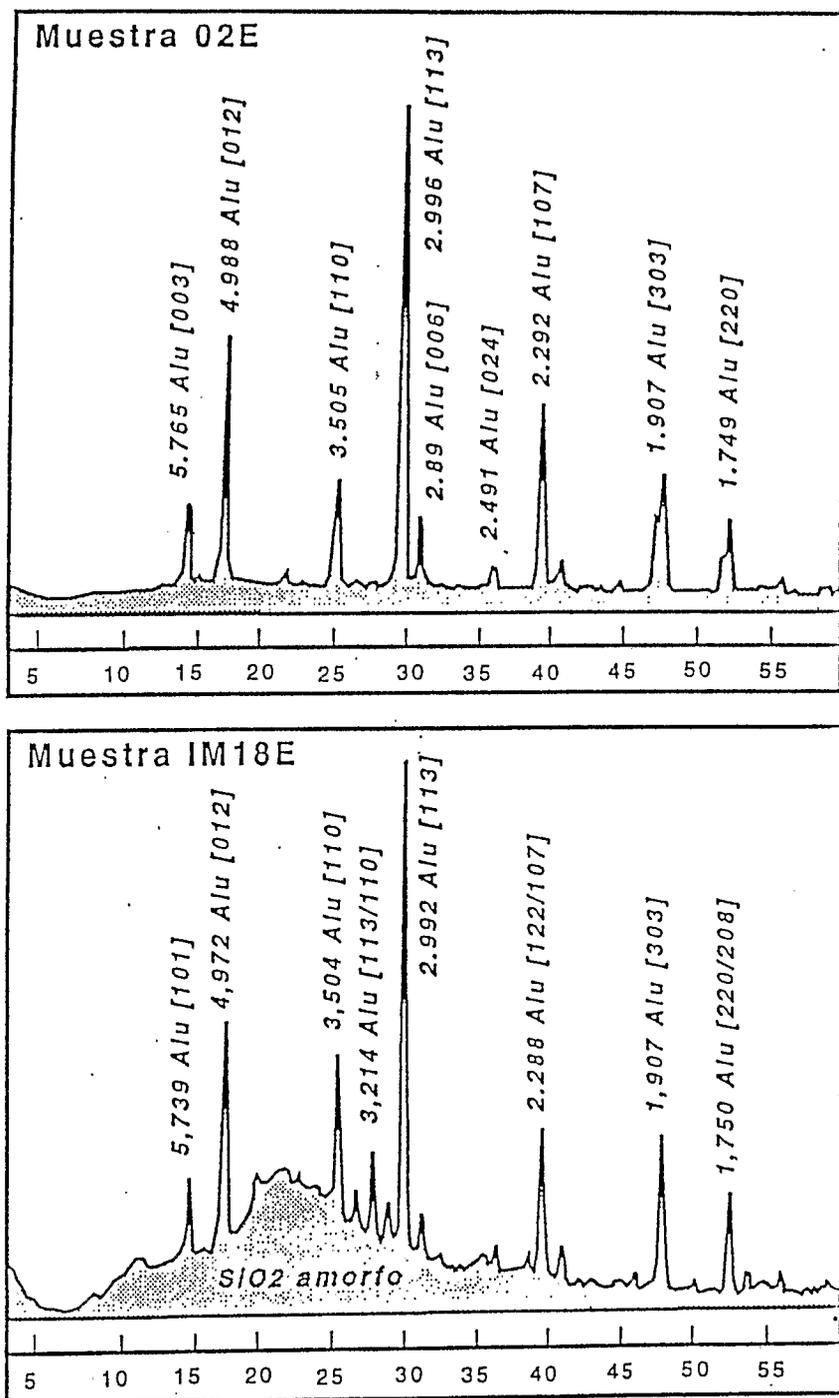


Fig. 4. Difractograma de Rx de identificación de la alunita en muestras de alteración de la zona de Esquentaque.

El Macizo de Esquentaque, está conformado por cuatro episodios efusivos intercalados con una erupción explosiva (tobas Soledad) entre la primera y la segunda emisión de lava.

La primera colada de lava, corresponde a una andesita biotítica de fábrica porfídica con fenocristales de plagioclasas fuertemente zonados de forma subhedral y con inclusiones de zircón y apatito, los fenocristales de cuarzo son escasos y tienen bordes redondeados y corroídos, son frecuentes algunas inclusiones fluidas; los cristales de biotita son tabulares y aciculares y de tamaños pequeños con poca orientación, también se observan cristales de hornblenda y más raramente piroxenos con bordes de reacción a hornblenda. La matriz es mayormente vítrea y también microcristalina.

La segunda emisión lávica, se encuentra por encima del depósito piroclástico, y es también de composición andesítica y con características petrográficas similares a la primera colada. Algunos fenocristales de plagioclasa tienen textura poikilitica con muchas inclusiones de apatito y zircón, la matriz es más vítrea que en la lava anterior.

La tercera colada es de composición más ácida y corresponde a una dacita piroxénica, tiene un mayor contenido de cuarzo en grandes fenocristales redondeados y corroídos, la biotita está alterada y reemplazada por óxidos de hierro, y existe aproximadamente un 6% de piroxenos de tipo augita con maclas polisintéticas y bordes de reacción. La hornblenda está prácticamente ausente. Tiene una matriz vítrea con escasos microcristales de plagioclasas.

La cuarta colada, la más joven, es también una dacita porfídica, donde los fenocristales de plagioclasas son de menor tamaño que en la colada anterior, presentan marcada zonación e intercrecimientos con biotitas; los fenocristales de cuarzo están fracturados y tienen poca corrosión magmática. Los máficos son biotita, hornblenda y piroxeno, este último escaso y con texturas de reacción a hornblenda. La matriz es cryptocristalina con alguna estructura fluidal.

Los domos volcánicos dentro del Macizo de Esquentaque, son dacitas piroxénicas que tienen las siguientes características petrográficas:

Los fenocristales de plagioclasas, presentan marcada zonación, están fracturados y algunos son glomerofíricos, los cuarzos son grandes, con bordes corroídos e inclusiones de zircón y apatito; los máficos en orden de abundancia son: biotita, piroxeno y hornblenda, se tiene hasta un 8% de piroxenos de forma subhedral, en agregados de pequeños cristales anhedral y con bordes de reacción a hornblenda. La matriz es microcristalina con poco contenido de vidrio y estructura de flujo.

Muestras tomadas de una brecha monogénica en el borde de un dique, da una composición andesítica, con fenocristales de plagioclasas poco corroídos y fuerte zonación, el cuarzo contiene algunas inclusiones fluidas, biotita y hornblenda están en proporciones casi iguales, el contenido de piroxenos es bajo y tiene texturas de reacción a hornblenda. La matriz presenta estructura de flujo y es en su mayor parte vitrea y menos cryptocristalina.

Las rocas del cerro Pujno, son diferentes del resto de las rocas estudiadas: se observa una escasez casi total de fenocristales de plagioclasas mineral que está restringido a la matriz, los cristales existentes son pequeños y en su mayoría alterados a calcita, los cristales de cuarzo y feldespatos potásicos están prácticamente ausentes. Muy abundante es la presencia de piroxenos (15%) en cristales pequeños habiendo dos tipos: augita y diopsida. La matriz de esta roca tiene fuerte estructura de flujo compuesta mayormente de cristales aciculares de plagioclasas, pequeños cristales de olivino y piroxenos. Petrográficamente estas rocas corresponden a una andesita piroxénica o un basalto andesítico.

GEOQUIMICA

Análisis químicos de muestras tomadas tanto de rocas frescas como de rocas alteradas, fueron realizados por el "Servicio de análisis de rocas y minerales del CNRS" en Francia, empleándose el método de Emisión ICP para elementos mayores (tabla 1).

Los porcentajes de S_iO_2 , indican el carácter ácido de estas rocas; En el distrito de La Joya, se tiene un porcentaje promedio de S_iO_2 de 63%, las lavas Esquentaque un 64% y para los domos de Quimsachata un 68% de SiO_2 , mientras que el cerro Pujno muestra porcentajes de S_iO_2 de 54% y es más básico que el resto de las rocas de la zona.

Los mecanismos de estudio de las series magmáticas, se efectúan mediante diagramas de variación que examinan los cambios progresivos o variaciones que experimentan los elementos mayores o sus óxidos en el interior de un sistema. El diagrama Na_2O+K_2O/SiO_2 (Irvine y Baragar, 1971), permite distinguir las series alcalina de subalcalina (fig. 3a). Este diagrama nos muestra que las rocas de la zona pertenecen a la serie subalcalina, excepto las muestras PKH 1 y PKH 2 perteneciente al cerro Pujno, las cuales son Alcalinas. De los mismos autores, se muestra un diagrama triangular Or-Ab-An normativos (fig. 3b), el cual permite distinguir si la serie subalcalina es sódica o potásica. Las rocas del distrito La Joya y los

domos riolíticos son potásicos en tanto que el cerro Pujno y el macizo de Esquentaque son de alto potasio.

Entre los diagramas de variación triangulares más empleados, se cuenta con el diagrama AFM (fig 3c), que nos muestra la naturaleza calco-alcalina de la mayoría de las rocas excepto las del Cerro Pujno.

ALTERACIONES

En la región estudiada, se encuentran varios sectores que presentan alteración hidrotermal, el más conocido es el distrito de La Joya, incluyendo el pequeño cerro Kiska. En la parte Noreste de la serranía de Esquentaque, también se observa una zona con alteración hidrotermal.

En el distrito de La Joya, las soluciones hidrotermales posteriores a la formación de los cuerpos subvolcánicos, produjeron una fuerte alteración de la roca, pero al mismo tiempo, el relleno de fracturas que en el cerro Kori Kollo en particular, da lugar a una mineralización de tipo stockwork (Alarcón 1992).

La alteración de estas rocas, consiste de una serie de procesos que se inició con una intensa silicificación seguida por sericitización y caolinización y en última instancia por alunización y jarositación.

La alteración hidrotermal en la parte Noreste de la serranía de Esquentaque, no ha sido estudiada en detalle, pero se tienen algunos datos preliminares sobre ella.

Las dacitas son alteradas hidrotermalmente, observándose en las partes bajas brechas hidrotermales con clastos de dacitas rodeados de una pasta silicificada y oxidada, en partes superiores, se observan vetillas de calcedonia la roca toma un color blanquecino, donde existe fracturas rellenas con alunita y probablemente jarosita, existen sectores donde la roca está muy silicificada y contiene pirita diseminada.

Muestras tomadas de la alteración fueron analizadas en secciones delgadas, donde se observa la presencia de alunita, asociada con óxidos de hierro y menor sericita, en tanto que análisis por difracción de Rayos X, confirman la existencia de Alunita, con algo de sílice amorfa (fig. 4).

Análisis químicos realizados para detección de oro, dan los siguientes resultados: En la Quebrada Janquira, la parte inferior de la alteración, contiene valores de oro menores a 5 ppb, en tanto que la zona superior, tiene valores entre 67 y 177 ppb. de oro. La quebrada Willuri, tiene valores menores a 5 ppb. de oro y valores entre 1.0 y 0.1 ppm de plata.

DISCUSION

La erupción de las tobas Soledad, así como la formación del macizo de Esquentaque, son contemporáneos como lo demuestran las dataciones y las observaciones de campo mediante las cuales se ubica a las tobas Soledad en medio de los flujos de lava del Macizo de Esquentaque.

muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O+	Total
LJO 1	63.75	14.84	5.04	0.11	2.25	2.22	4.37	3.76	0.66	0.2	2.44	99.64
LJO 2	63.18	14.75	4.47	0.05	2.22	2.46	4.79	3.36	0.69	0.21	3.41	99.67
LLA 1	60.85	14.75	5.11	0.14	2.31	3.51	3	4.98	0.71	0.28	3.92	99.56
QUV 1	62.38	15.56	4.83	0.08	2.1	3.46	3.83	3.48	0.63	0.19	2.48	99.02
KKO 1	59.36	13.21	13.25	0	0.4	0.02	0.02	3.96	0.51	0.18	8.96	99.87
KKO 2	47.58	16.02	10.38	0.21	4.63	7.94	3.52	3.65	1.15	0.62	3.95	99.65
QUC 1	68.25	14.75	2.93	0.03	1.02	2.42	3.97	4.25	0.43	0.12	1.48	99.65
QUC 2	68.92	14.40	3.01	0.03	1.07	2.4	3.94	4.07	0.44	0.12	1.26	99.66
GUA 1	67.80	15.12	3.56	0	0.62	1.71	3.66	3.95	0.53	0.3	2.7	99.94
PKH 1	54.04	14.16	8.10	0.11	5.01	7.60	3.13	3.3	1.66	0.77	1.47	99.79
PKH 2	54.36	14.50	7.83	0.10	4.91	7.12	3.18	3.43	1.62	0.8	1.59	99.44
ESQ 1	64.29	15.31	4.29	0.04	1.66	3.09	3.13	4.4	0.75	0.23	2.44	99.63
IM 08 E	64.65	15.3	3.84	0.04	1.53	3.14	3.11	4.62	0.64	0.27	2.49	99.63
IM 12 E	65.58	15.48	3.7	0.03	1.48	3.09	3.41	4.34	0.64	0.28	1.61	99.62
IM 13 E	61.45	14.64	5.41	0.05	2.8	4.06	3.15	5.32	0.88	0.32	1.56	99.64
IM 14 E	65.95	15.65	4.09	0.03	1.21	3.16	3.35	4.54	0.7	0.28	0.68	99.64
IM 15 E	64.35	15.33	3.99	0.04	1.62	3.17	3.29	4.58	0.71	0.26	2.27	99.61
IM 27 E	64.51	15.14	3.65	0.03	1.46	3.09	3.12	5.41	0.65	0.28	2.32	99.66
IM 28 E	63.05	15.64	4.07	0.04	1.59	3.14	3.16	6.02	0.69	0.27	1.98	99.65

LJO 1	Dacita, Cerro Isahuara	ESQ 1	Lavas Esquentaque
LJO 2	Dacita alterada, Cerro La Joya	IM 08 E	" "
LLA 1	Dacita alterada, Cerro Llagua	IM 12 E	" "
QUV 1	Dacita, Cerro Quiviri	IM 13 E	" "
KKO 1	Dacita alterada, Cerro Kori Kollo	IM 14 E	" "
KKO 2	Dacita alterada, Cerro Koti Kollo	IM 15 E	" "
QUC 1	Domo, Cerro Quimsachata	IM 27 E	" "
QUC 2	Domo Cerro Quimsachata	IM 28 E	" "
GUA 1	Domo riolitico, Cerro Llagua		
PKH 1	Lava vacuolar, Cerro PUjno		
PKH 2	Lava afanítica, Cerro Pujno		

TABLA 1. Datos analíticos, elementos mayores.

La alineación que existe entre el cerro Kiska y los domos riolíticos que fué interpretada como una fractura anular exterior de la "Caldera Soledad", es discutible, tomando en cuenta que, si bien estos cuerpos conservan una alineación, son temporalmente distintos, ya que los domos Quimsachata y Llallagua tienen una edad de 8.8 Ma, mientras que el Cerro Kiska es más antiguo (13.6 Ma), además que este último es de composición dacítica en tanto que los demás corresponden a riolitas. En todo caso, tanto los Stocks de La Joya como el cerro Kiska tienen un origen común y guardan una estrecha relación temporal.

CONCLUSIONES

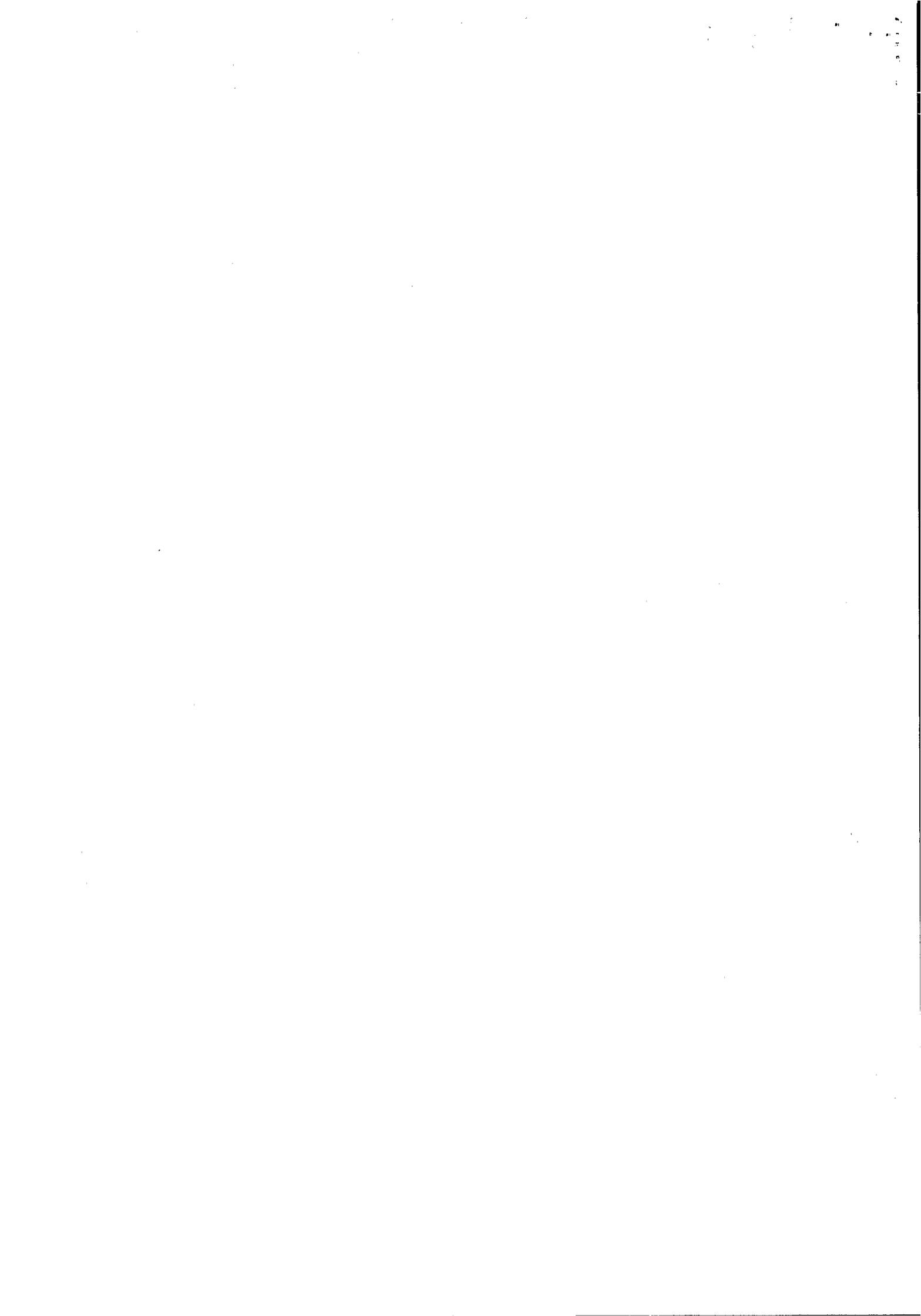
En la zona estudiada, se reconocen cuatro episodios magmáticos bien definidos: primero la formación de los cuerpos subvolcánicos del distrito de La Joya en el Mioceno medio (14 Ma) incluyendo al cerro Kiska. Posteriormente el emplazamiento de los domos riolíticos hacia los 8.8 Ma alineados en una dirección NE - SE durante el Mioceno superior. Las Lavas Esquentaque, conjuntamente con las tobas Soledad constituyen el tercer episodio y se forman durante el Mioceno superior - Plioceno inferior con una edad promedio de 5.4 Ma. Finalmente, el cuarto episodio es representado por la formación de las rocas andesíticas del cerro Pujno, del cual no se tiene una datación pero podría tratarse de una efusión Cuaternaria.

Se pone en discusión que los cuerpos ígneos existentes en la zona formen parte del planteamiento de una caldera de bajo volumen con un centro no resurgente propuesta por Redwood, ya que a nuestro parecer, no se tienen criterios suficientes para afirmar definitivamente la existencia de dicha caldera.

En el macizo de Esquentaque se definió: primero la evolución de cuatro coladas de lava, existiendo entre la primera y la segunda coladas, un depósito piroclástico; segundo: el emplazamiento de domos volcánicos, así como de domos adventicios y diques posteriores a las efusiones de lava; tercero: fracturamientos de dirección NE - SW que aparentemente han favorecido el desarrollo de zonas de alteración hidrotermal en algunos domos y partes de las coladas de lava.

REFERENCIAS

- ALARCON, H. 1991. Alteración hidrotermal, mineralización y geotermometría asociada con el depósito xenotermal de oro-plata de La Joya, Oruro, Bolivia: 6º Congreso Geológico Chileno, Resúmenes expandidos, p. 272 - 275.
- ALARCON, H. 1992. Paragénesis mineral en las mineralizaciones de los cerros La Joya y Kori Kollo del distrito minero de La Joya - Oruro, Bolivia: Sociedad Geológica Boliviana, Bol. Nro. 27 p. 811.
- ALARCON, H. & A. VILLALPANDO. 1991. Petrografía, Alteraciones y Termometría de los cerros La Joya y Kori Kollo: 4to. Coloquio Inst. Geología Económica, La Paz, Universidad Mayor de San Andrés, Mayo 30, 1991, p. 125.
- CARLIER, G., P. SOLER, M. FORNARI & G. HERAIL. 1992. Origen y significado tectónico del volcanismo shoshonítico Neogeno a Cuaternario en los Andes: X Congreso Geológico Boliviano, Resúmenes, p. 173174.
- CEPEDA, L. 1987. Apuntes de petrología ígnea: Univ. Nacional Autónoma de México, Fac. de Ingeniería, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra - Dpto. de Yacimientos minerales. 363 p.
- COLUMBA, M. & CH. CUNNINGHAM. 1993. Geologic model for the mineral deposits of the La Joya District, Oruro, Bolivia: Economic Geology Vol. 88, p. 701708.
- JIMENEZ, N., V. IBAÑEZ & C. MEDINA. 1987. Características geológicas y perspectivas económicas del área volcánica Pocosoni - La Joya, Oruro, Bolivia: La Paz, PNUD, Project BOL/87/12. 31p.
- LEARNED, R., M. S. ALLEN, O. ANDRÉ-RAMOS & R.R. ENRIQUEZ. 1992. A Geochemical study of the La Joya District: U.S.G.S. Bulletin 1975, p. 25 - 46.
- LONG, K. R., S. D. LUDINGTON, E. A. DU BRAY, O. ANDRÉ-RAMOS & E. H. MCKEE. 1992. La Joya District: U.S.G.S. Bulletin 1975, p. 25 - 46.
- LUDINGTON S. D., E. A. DU BRAY & E. H. MCKEE. 1992. Kiska Prospect: U.S.G.S. Bull. 1975, p. 191-192.
- LUDINGTON, S. D., E. H. MCKEE & N. SHEW. 1992. K - Ar ages of Bolivian Tertiary polymetallic vein deposits: Advances related to U. S. and international mineral resources, p. 8793.
- REDWOOD, S. D. 1987. The Soledad Caldera, Bolivia: A Miocene caldera with associated epithermal Au-Ag-Cu-Pb-Zn mineralization: Geol. Soc. América Bulletin, Vol 99, p.395 - 404.
- REDWOOD, S. D. & M. R. MACYNTIRE. 1989. K - Ar Dating of Miocene magmatism and relates epithermal mineralization of the Northeast Altiplano of Bolivia: Economic Geology, Vol 84, p.618-630.



SOCIEDAD GEOLOGICA BOLIVIANA



MEMORIAS DEL

XI CONGRESO GEOLOGICO

DE BOLIVIA

SANTA CRUZ, 6 - 9 DE OCTUBRE DE 1994



AUSPICIA
YACIMIENTOS PETROLIFEROS FISCALES BOLIVIANOS

