

# SERIE CONTRIBUCIONES TÉCNICAS

## RECURSOS MINERALES N° 26

Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas mineralizadas en el NOA

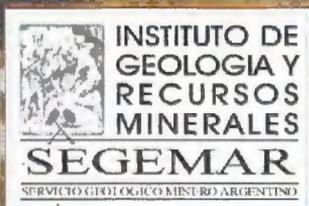
### **Alteración hidrotermal en el estratovolcán Rachaite**

MARTA GODEAS y EULOGIO RAMALLO



Área de la mina Chocaya. Vista del sector oriental alterado

Provincia de Jujuy



BUENOS AIRES - 2005

**Serie Contribuciones Técnicas  
Recursos Minerales N° 26**

Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas  
mineralizadas en el NOA

**ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN EL  
ESTRATOVOLCÁN RACHAITE**

Provincia de Jujuy  
República Argentina

Marta Godeas<sup>(1)</sup> y Eulogio Ramallo<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> SEGEMAR - Instituto de Geología y Recursos Minerales

<sup>(2)</sup> SEGEMAR - Delegación Salta

INSTITUTO DE GEOLOGIA Y RECURSOS MINERALES  
SERVICIO GEOLOGICO MINERO ARGENTINO

Buenos Aires - 2005

# SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

---

Presidente: Ing. Jorge Mayoral  
Secretario Ejecutivo: Lic. Pedro Alcántara

## INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

---

Director: Lic. Roberto F. N. Page

## DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO-MINEROS

---

Director: Dr. Eduardo O. Zappettini

# SEGEMAR

Avenida Julio A. Roca 651 • 10° Piso • Telefax 4349-4450/3115  
(C1067ABB) Buenos Aires • República Argentina  
[www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar) / [info@segemar.gov.ar](mailto:info@segemar.gov.ar)

### Referencia bibliográfica

Godeas, M. y Ramallo, E., 2005. Alteración hidrotermal en el estratovolcán Rachaite, provincia de Jujuy. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas - Recursos Minerales Nº 26, 35 p., Buenos Aires.

**Armado y Diseño editorial:** Osvaldo D. Caccaglio

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	1
<b>3. ÁREA DE LA MINA CHOCAYA</b> .....	1
3.1. PETROGRAFÍA .....	1
3.1.1. Lavas .....	3
3.1.2. Brechas .....	5
3.1.3. Ignimbritas .....	6
3.1.4. Tobas .....	7
3.2. ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....	8
3.2.1. Arcilloso-sericítica intermedia .....	9
3.2.2. Arcillosa avanzada y arcillosa avanzada <i>steam-heated</i> .....	10
3.2.3. Sílicea .....	10
3.2.4. Turmalínica .....	11
3.2.5. Propilítica .....	12
3.2.6. Biotítica .....	12
3.3. ALTERACIÓN SUPERGÉNICA .....	12
3.4. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS .....	12
<b>4. ÁREA DE LAS MINAS SAN JOSÉ Y DONCELLAS</b> .....	13
4.1. PETROGRAFÍA .....	13
4.1.1. Brechas .....	13
4.1.2. Ignimbritas .....	14
4.1.3. Lavas .....	14
4.2. ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....	15
4.2.1. Arcilloso-sericítica intermedia .....	15
4.2.2. Arcillosa avanzada y arcillosa avanzada <i>steam-heated</i> .....	16
4.2.3. Sílicea .....	17
4.3. ALTERACIÓN SUPERGÉNICA .....	17
<b>5. MINERALIZACIÓN</b> .....	17
<b>6. CONSIDERACIONES METALOGENÉTICAS Y GEOTECTÓNICAS</b> .....	18
<b>7. CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	19
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	19
<b>ANEXO I. ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA SWIR</b> .....	21
<b>ANEXO II. DIFRACCIÓN DE RAYOS X</b> .....	25
<b>ANEXO III. ANÁLISIS QUÍMICOS</b> .....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de uno mayor realizado a través del convenio llevado a cabo entre la Universidad Nacional de Jujuy y el SEGEMAR, en el año 1997.

El estratovolcán Rachaite se localiza a 65 km al oeste-suroeste de Abra Pampa, en la provincia de Jujuy, al NE del centro volcánico Coranzulí, con coordenadas 22°52'S y 66°09'O. Forma parte de la cadena volcánica de edad mio-pliocena Panizos-Coranzulí que penetra en Argentina desde Bolivia con rumbo noroeste-sureste (Coira *et al.*, 1990), siguiendo el lineamiento transversal de Lípez-Coyaguaima (Salfity *et al.*, 1984).

Este estratovolcán fue estudiado por diversos autores desde el punto de vista metalogenético; entre ellos se mencionan Coira *et al.* (1990), Coira (1994 y 1999) y Coira y Brodtkorb (1995). Un estudio geoelectrico fue llevado a cabo por Garavilla en 1990, que permitió inferir profundidades de hasta 100 m para la mineralización. Más recientemente, Heidorn (2002) realizó una tesis doctoral en la que integró este centro eruptivo a la evolución geodinámica del retroarco central andino y su relación con la mineralización epitermal terciaria. También llevó a cabo un detallado mapeo de la alteración hidrotermal del volcán Rachaite en el área de la mina Chocaya.

En este trabajo se detallan las distintas alteraciones asociaciones de alteración hidrotermal y se presentan algunas consideraciones metalogenéticas sobre el área.

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En la Figura 1 se presenta un esquema geológico regional, realizado sobre la base de una ampliación a escala 1:125.000 del ángulo sudeste del mapa geológico de la Hoja Geológica Mina Pirquitas (Coira *et al.*, 1999).

Se llevó a cabo un muestreo del sector más intensamente alterado en el área de la mina Chocaya ubicada dentro del estratovolcán Rachaite para la caracterización y la distribución de la alteración hidrotermal sobre un mapa; este mapa se confeccionó en base a una ampliación de fotografía aérea a escala aproximada 1:35.000 (Figura 2). Se realizó también el estudio de algunas muestras petrográficas colectadas en el área Doncellas-San José.

Se realizaron estudios petrográficos para identificar los tipos de roca y las texturas y asociaciones mineralógicas de la alteración hidrotermal.

Asimismo se determinó la mineralogía con rayos X y espectrometría de reflectancia SWIR. Los estudios mediante este último método, realizados en el SEGEMAR, tienen una muy buena coincidencia con los resultados obtenidos con los de rayos X llevados a cabo por personal del Instituto de Geología y Minería de la Universidad de Jujuy (ver anexo II). En las muestras analizadas por rayos X se han determinado algunos minerales que el espectrómetro de reflectancia SWIR no detecta; tal es el caso de cristobalita y tridimita.

Se midió también la susceptibilidad magnética de todas las muestras extraídas, la que oscila entre 0 y  $5 \times 10^{-5}$  SI, y alcanza  $11 \times 10^{-5}$  SI sólo en algunas muestras limonitizadas.

## 3. ÁREA DE LA MINA CHOCAYA

### 3.1. PETROGRAFÍA

El estratovolcán está constituido por rocas calcoalcalinas lávicas piroclásticas, de composición andesítico-dacítica con escasos niveles de andesitas basálticas. Hay además diques de andesitas (Foto 1) que muestran alteración propilítica. Las fases piroclásticas, más tempranas, pertenecen a las Formaciones Doncellas y Alto Laguna, mientras que las rocas lávicas corresponden a la Formación VicuñaHuasi. Además hay ignimbritas dacíticas (Ignimbritas Las Termas) que cubren al estratovolcán en el sector oeste y sur (Coira *et al.*, 1990; Coira y Brodtkorb, 1995; Coira *et al.*, 1999) (Figura 1).

La Formación VicuñaHuasi fue datada por Heidorn (2002), por el método Ar40/Ar39 (a partir de edades *plateau*), obteniéndose los siguientes resultados:

-7,91 ± 0,26 Ma; material datado: biotita procedente de una roca inalterada.

-8,21 ± 0,20 Ma; material datado: biotita procedente de unidad subvolcánica con alteración propilítica.

-tres edades: 7,37 ± 0,33 Ma; 8,19 ± 0,09 Ma; 7,70 ± 0,17 Ma; material datado: mica blanca, procedente de la alteración filica; se interpreta como pulso principal de alteración.

En el área se identifican dos sectores notablemente afectados por alteración hidrotermal:

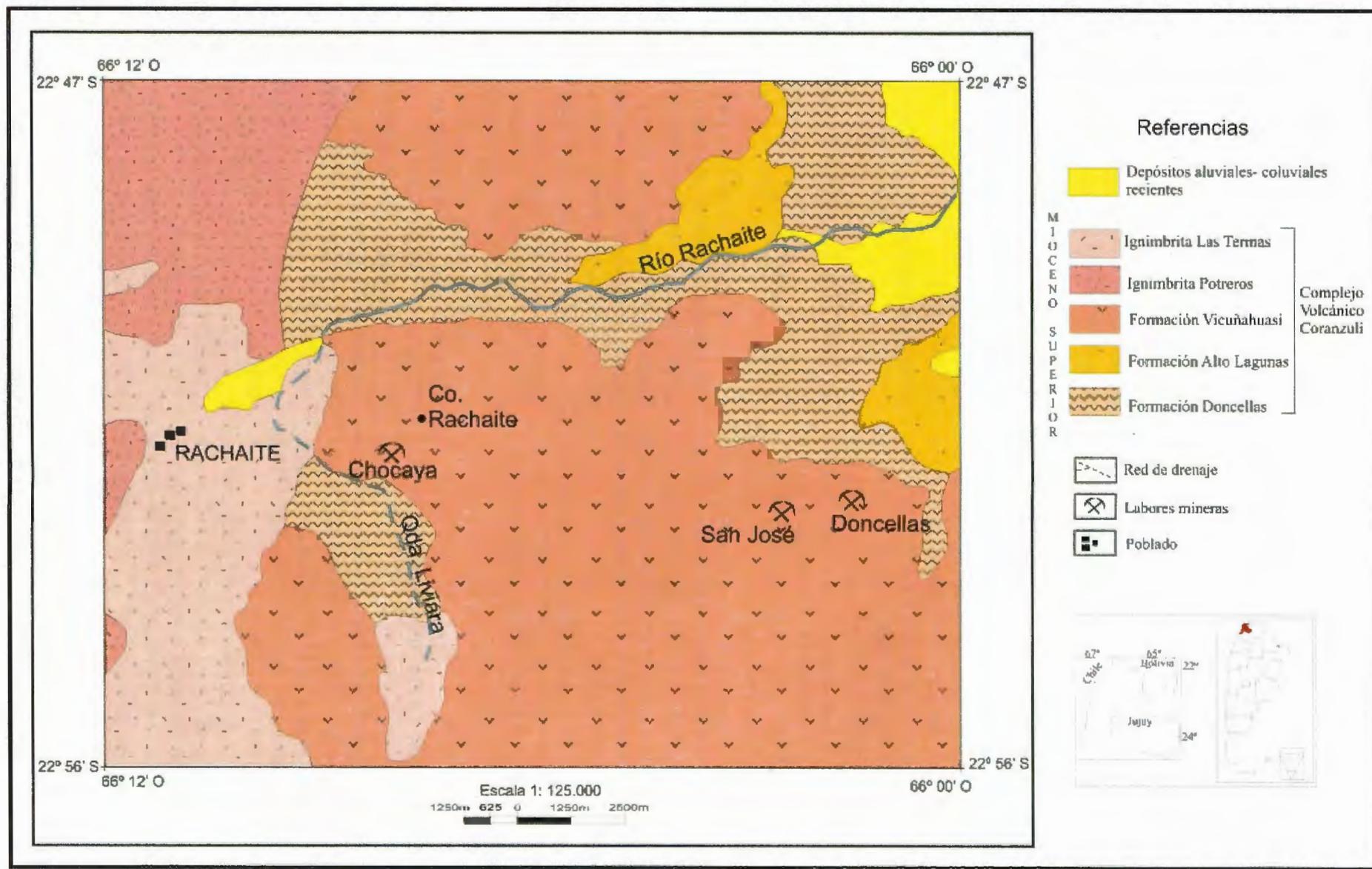


Figura 1. Esquema geológico regional del área de la mina Chocaya. Tomado de Coira et al., (1999).

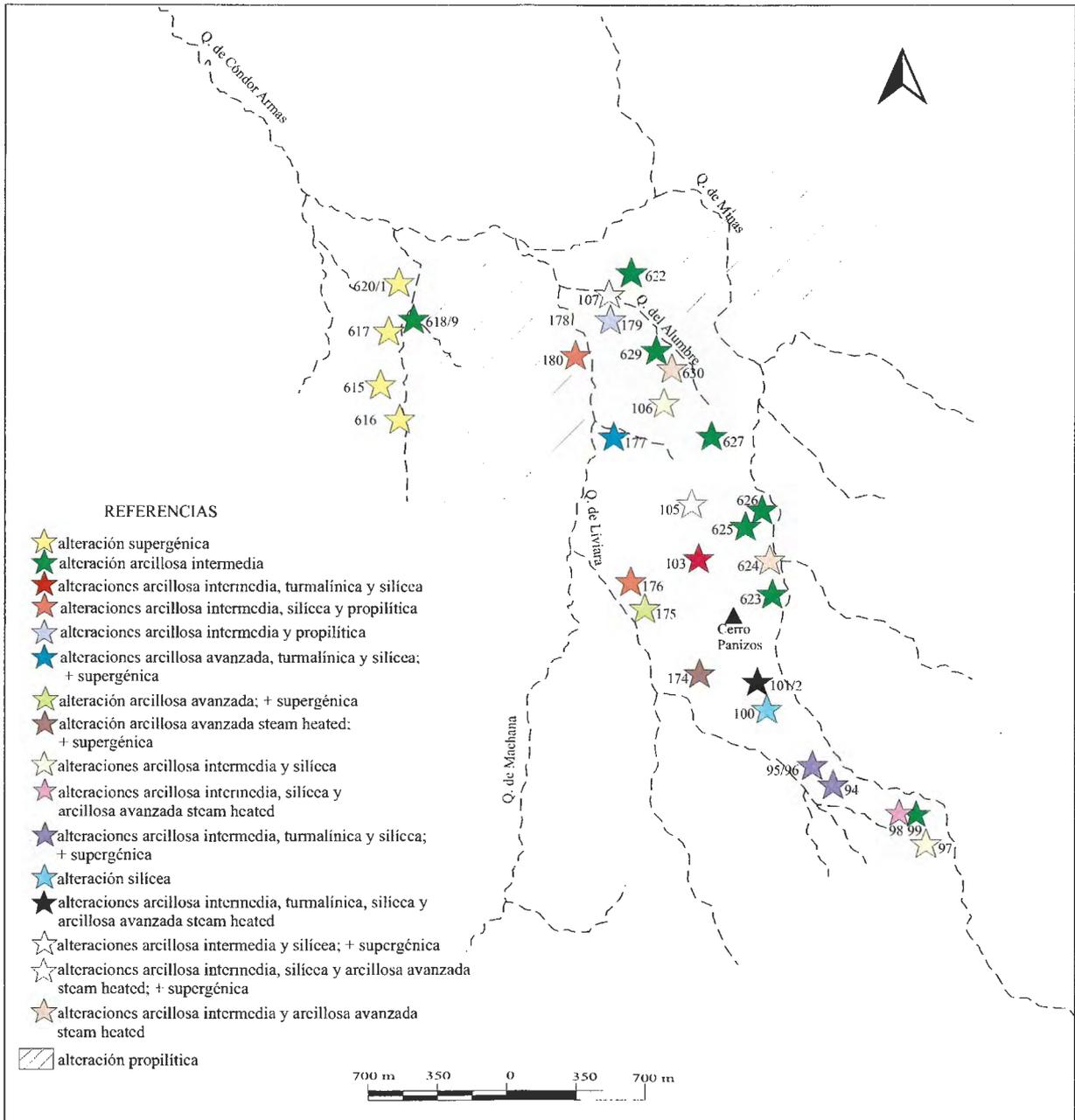


Figura 2. Mapa de alteraciones hidrotermales. Área de la mina Chocaya.

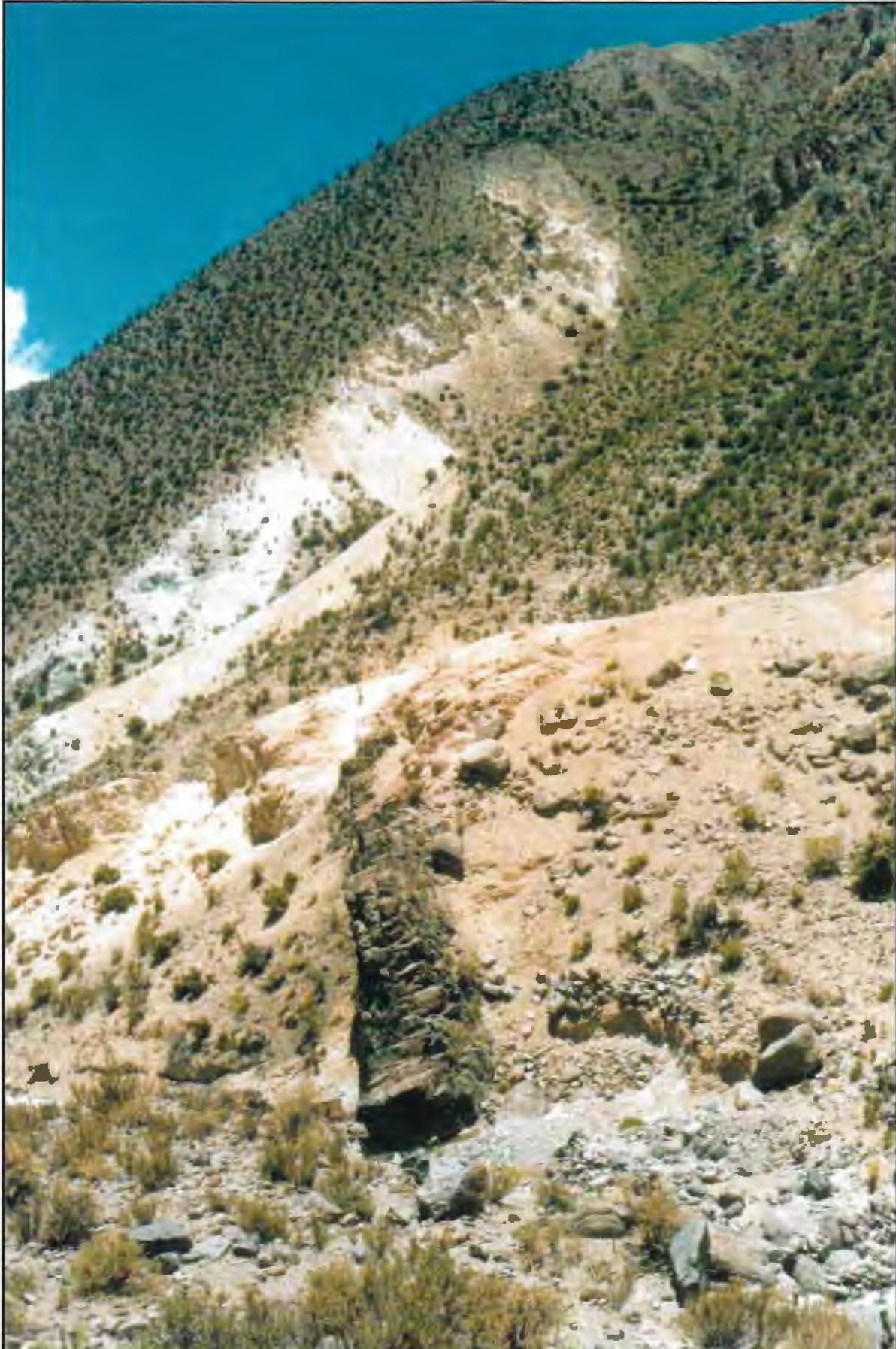
uno oriental, de mayor tamaño, elongado en sentido noroeste-sudeste, y otro occidental más pequeño y de forma irregular (Figura 2) (Fotos 2, 3 y 4).

El estudio petrográfico detallado de las muestras extraídas del área alterada revela una alteración hidrotermal muy intensa, resultando en la mayoría de los casos extremadamente difícil definir el tipo de roca original (Godeas, 1998). Sin embargo, a pesar de la intensa alteración, se pueden aún advertir fantasmas de las texturas relicticas que permiten definir los diferentes tipos litológicos mencionados: lavas, brechas, ignimbritas y tobas.

### 3.1.1. Lavas

Macrosópicamente estas rocas tienen color gris claro a gris amarillento claro, y muestran notable alteración. En ellas la textura porfírica está representada por 30 a 40% de fenocristales en pasta afanítica. Esporádicamente se observa brechamiento probablemente de tipo hidrotermal, que se manifiesta como “clastos” de estas rocas cementados con limonitas.

Se ha clasificado este tipo litológico como fenodacítico tomando como base los fenocristales, debido a que la pasta se halla totalmente



**Foto 1.** Área de la mina Chocaya. Dique de andesita en la quebrada de Cóndor Armas al noroeste del sector occidental intensamente alterado.



Foto 2. Área de la mina Chocaya. Sector con alteración propilítica.

reemplazada por minerales de alteración. A pesar de ello, al microscopio se pueden reconocer todavía fantasmas de la textura porfírica original, en casos seriada, con fenocristales (10-40% de la roca) de cuarzo, plagioclasa y minerales máficos. Los fenocristales alcanzan un tamaño máximo de 3,8 mm en su mayor dimensión.

El cuarzo es anhedral, y muestra extinción ondulosa y a veces engolfamientos; algunos individuos están intensamente fragmentados.

La plagioclasa se halla en individuos subhedrales a anhedrales, con alteración parcial a total. En aquellos casos en que la alteración es parcial, se advierten maclas polisintéticas de planos difusos.

Entre los minerales máficos se reconocen biotita y anfíbol. Ambos se encuentran totalmente reabsorbidos. Sólo en algunos casos quedan escasos relictos de biotita inalterada, con pleocroísmo variable en tonos de castaño rojizo; aparece rutilo como producto de la alteración de la biotita. Esporádicamente se observan flexuras.

La pasta de estas rocas está casi total a totalmente afectada por intensa alteración. Sólo en aquellos casos aislados en los que quedan escasos relictos de la pasta inalterada, se puede observar que originalmente era un agregado

microgranoso difuso o esferulítico de cuarzo y feldespato, textura que indica desvitrificación.

Se observa mineral opaco, en general limonitizado, que alcanza una proporción de hasta 4%, y se presenta en las siguientes formas: 1) en individuos anhedrales y subhedrales, diseminados en la roca; 2) en venillas y guías; 3) como producto de alteración de los minerales máficos.

Como minerales accesorios transparentes hay apatita y circón.

### 3.1.2. Brechas

Se trata de brechas hidrotermales que se encuentran como cuerpos cuyos contornos son muy difíciles de reconocer por la intensa alteración que se observa en toda el área.

Estas rocas se caracterizan por la variabilidad composicional y de tamaños de grano.

En muestra de mano las brechas tienen color gris claro a gris mediano. Presentan alteración muy fuerte, la que desdibuja notablemente la textura brechosa, a tal punto que, junto con el tamaño de grano pequeño que alcanza más de 2 cm en su mayor dimensión, sólo es posible reconocerla en el estudio al microscopio. Los clastos forman aparentemente alrededor del 30 a 40% y



Foto 3. Área de la mina Chocaya. Vista del sector occidental alterado.

el material aglutinante en general es afanítico.

Al microscopio, y a pesar de las alteraciones que afectan a las brechas, aún pueden distinguirse las características originales de la textura, que es brechosa y consiste en clastos irregulares y en general subangulosos a subredondeados (entre 70 y 95% de la roca, hasta 99%); se diferencian clastos líticos y monominerales. El tamaño de los clastos es heterogéneo y como máximo llega a más de 2 cm en su mayor dimensión.

Todos los clastos están aglutinados por minerales de alteración.

Entre los clastos líticos se reconocen las siguientes variedades litológicas: andesitas y dacitas con diversas texturas y tipos e intensidades de alteración, agregados de arcillas, agregados microgranosos difusos alterados, agregados de cuarzo con o sin arcillas, y agregados de cuarzo y turmalina.

Los clastos monominerales (cuarzo, plagioclasa y biotita) proceden de los fenocristales de los clastos líticos, y en general se subordinan en proporción a los clastos líticos.

El material aglutinante está formado por minerales de alteración.

Se observa mineral opaco que en general está

casi total a totalmente limonitizado. Se lo encuentra en una proporción de 3-5% (ocasionalmente 7%); se halla en las siguientes formas: 1) dentro de los clastos líticos; 2) individuos diminutos dispersos, 3) asociado a los minerales de alteración que aglutinan los clastos; 4) asociado a la alteración de los minerales máficos que se encuentran en los litoclastos y en los clastos monominerales.

Como mineral accesorio transparente en este tipo litológico aparece exiguo circón.

Las brechas hidrotermales indican fracturación hidráulica y liberación de presión como producto de ebullición en los sistemas epitermales de sulfuración alta a intermedia (Hedenquist *et al.*, 2000; Hedenquist y Henley, 1985).

### 3.1.3. Ignimbritas

Son rocas de color gris amarillento. Tienen composición fenodacítica tomando como base los cristaloclastos, debido a que la matriz se halla totalmente reemplazada por minerales de alteración. Sin embargo, a pesar de ello aún es posible observar relictos de la textura original.

Se distingue alrededor de 30% de



**Foto 4.** Área de la mina Chocaya. Vista del extremo NO del sector con alteración más intensa.

cristaloclastos de cuarzo, feldespato y minerales máficos en una matriz fina fluidal alterada. El tamaño de los cristaloclastos alcanza un milímetro en su mayor dimensión.

El cuarzo es anhedral y está corroído.

El feldespato se halla en individuos subhedrales a anhedrales totalmente alterados.

Los minerales máficos aparecen completamente reabsorbidos; se observan formas de biotita y anfíbol.

La matriz está alterada en su totalidad, aunque se ven aún fantasmas de la textura vitroclástica, que se manifiesta bajo la forma de fragmentos de pómez y trizas.

Los litoclastos se hallan en una proporción variable entre 10 y 30%, y son subangulosos a subredondeados, e irregulares; su tamaño no excede los 10 milímetros. Entre ellos se diferencian fenoandesitas y dacitas alteradas y vidrios esponjosos (fragmentos de pómez) reemplazados por arcillas.

Se encuentra mineral opaco, que está limonitizado y aparece en una proporción del 3-4%; se presenta en las siguientes formas: 1) en individuos anhedrales diminutos, diseminados y en agregados; 2) producto de reabsorción de los

minerales máficos; 3) en individuos discretos anhedrales y subhedrales.

Como mineral accesorio transparente se observa circón.

#### 3.1.4. Tobas

Estas rocas tienen color gris a gris muy claro (casi blanquecino) y están muy alteradas.

La textura observada en muestra de mano tiene aspecto porfírico. En ella se distinguen exiguos cristales de feldespato en una matriz afanítica; los cristales alcanzan tamaños de 2 a 3 mm en su mayor dimensión.

La composición de las tobas es fenodacítica, tomando como base los cristaloclastos, debido a que la matriz se halla totalmente reemplazada por minerales de alteración.

Al microscopio, las tobas muestran alteración total; sin embargo, aún puede distinguirse la textura original. Si bien en muestra de mano el aspecto de la textura es porfírica, se observa que está caracterizada por cristaloclastos (hasta 10%) de cuarzo, feldespato y minerales máficos, en una matriz vitroclástica fina. El tamaño de los cristaloclastos no supera un milímetro en su ma-

yor dimensión.

El cuarzo se encuentra en individuos anhedrales de extinción ondulosa muy marcada y contornos corroidos.

El feldespato se halla en ejemplares anhedrales a subhedrales completamente alterados.

Entre los minerales máficos se distinguen biotita y anfíbol; ambos están totalmente alterados pseudomórficamente por mineral opaco fino.

La matriz se presenta alterada en su totalidad; a pesar de ello, puede reconocerse la textura vitroclástica original con fantasmas de trizas.

Se observa mineral opaco casi total a totalmente limonitizado; se halla en una proporción de alrededor de 2%. Se encuentra en individuos anhedrales diseminados y como producto de alteración de los minerales máficos.

Como mineral accesorio transparente se observa circón.

### 3.2. ALTERACIÓN HIDROTERMAL

En el presente estudio se identificaron alteraciones arcilloso-sericítica intermedia arcillosa avanzada, arcillosa avanzada *steam-heated*, sílice, turmalínica y propilítica.

El mapa de alteraciones se realizó en el área de la mina Chocaya, comprendida entre los alrededores de la cima del cerro Panizos hasta las quebradas de Cóndor Armas y de Minas y entre las quebradas de Liviara y del Alumbre, abarcando el área con alteración más intensa (Figura 2). El mismo muestra la distribución de estas alteraciones y refleja la integración de toda la información obtenida a partir de la petrografía, rayos X y espectrometría de reflectancia SWIR.

Al sudeste de la cima del cerro Panizos (Figura 2) se reconoció una zona con la asociación illita-turmalina-cuarzo, con alteración supergénica representada por jarosita. En esta misma zona la turmalina se halla también con illita, tridimita y cuarzo; la tridimita es una de las formas de sílice que existe en la alteración arcillosa avanzada *steam-heated*. Al noroeste de la cima del cerro Panizos la turmalina se encuentra con illita y cuarzo. Esta última asociación se repite en un sector cercano a la confluencia de las quebradas de Liviara y del Alumbre. La turmalina aparece asimismo en un sector aguas arriba de la quebrada de Liviara, en el que además alunita (detectada con espectrometría de reflectan-

cia SWIR e imágenes ASTER), caolinita y cuarzo, con esmectita como alteración supergénica.

En un sector ubicado al oeste de la cima del cerro Panizos el espectrómetro de reflectancia SWIR detectó alunita (clasificada asimismo con imágenes ASTER) con caolinita; en este sector se halla también una esmectita.

Se identificaron también los minerales de sílice de baja temperatura (ópalo, calcedonia y tridimita) en otros sectores. Los tres minerales mencionados se presentan junto con illita en un sector al sudoeste de la cima del cerro Panizos, con esmectita y jarosita de origen supergénico. La paragénesis illita-tridimita-cuarzo aparece en el extremo sudeste del área con mayor alteración; en otro sector se reconoce además jarosita.

En dos muestras ubicadas en el borde oriental del área de mayor alteración; se halló dickita y caolinita (detectadas por el espectrómetro de reflectancia SWIR), junto con illita.

Al oeste-sudoeste del área con mayor intensidad de alteración la asociación illita-esmectita±jarosita representa un área con alteración supergénica.

Se determinó además la presencia de illita sola en las márgenes oeste y este de la quebrada del Alumbre, en una zona ubicada al nordeste de la cima del cerro Panizos y al este de la confluencia de las quebradas del Alumbre y Liviara. Una muestra de illita (623) tiene amonio en su estructura, característica detectada con el espectrómetro de reflectancia SWIR.

La paragénesis illita-cuarzo se reconoce en dos sectores: uno en el extremo sudeste y el otro en el extremo noroeste del área con mayor alteración. En un caso se halla jarosita como mineral supergénico asociado a esta paragénesis.

Un área con alteración propilítica se ubica al sur de la quebrada de Cóndor Armas y otra al nordeste de la quebrada del Alumbre. En el presente estudio la aparición de clorita±epidoto asociada a illita se interpreta como la transición hacia la alteración propilítica.

Sólo en una muestra (100) se encuentra alteración silícea total. Esta alteración suele estar presente en general en varios sectores.

Coira *et al.* (1990) presentaron un mapa con la distribución de las distintas alteraciones hidrotermales. Estos autores reconocieron una zona de alteración arcilloso-sericítica-silícea controlada por fracturas, y determinaron arcillas del grupo de las esmectitas, acompañadas por illita

y sericita; la alteración silíceo se presenta en forma de mosaico, venas y venillas. Hallaron también zonas propilitizadas marginando las áreas con minerales arcillosos, identificando en ellas carbonatos, albita y menor cantidad de clorita.

Es posible observar además *sinters* silíceos asociados a áreas de mayor silicificación y controlados por fracturas (Coira *et al.*, 1990); están formados por ópalo, con cristobalita, calcedonia, cuarzo y alofano.

Heidorn (2002) llevó a cabo un detallado mapa de alteraciones, en el que distinguió alteración filica penetrativa y propilitica marginal, como así también arcillosa avanzada del tipo *steam-heated* y biotítica. Todas estas alteraciones, excepto la filica, están controladas por fracturas, y a ellas se superpone un proceso penetrativo de alteración arcillosa supergénica. Este autor definió para el área un sistema hidrotermal activo que creó un sistema de alta sulfuración en las secciones más altas de la estructura mineralizada y un sistema de sulfuración intermedia en los niveles más bajos.

En este trabajo se describen con detalle los distintos tipos de alteraciones hidrotermales reconocidos en el área de la mina Chocaya, los que se presentan a continuación.

### 3.2.1. Arcilloso-sericítica intermedia

La alteración arcilloso-sericítica es el evento hidrotermal más difundido y produce un blanqueo muy notable en el área.

Se presenta modificando a los distintos tipos de roca aflorantes, por sectores a tal punto que oblitera las características originales de las mismas. En este trabajo se la denomina arcilloso-sericítica ya que no llega a definirse en el área estudiada una textura como la que corresponde a una típica alteración filica. Ambas alteraciones aparecen juntas y por sectores predomina indistintamente una u otra; muchas veces puede verse el pasaje de la sericita a arcillas.

En las **lavas**, esta alteración es muy intensa, y está acompañada por silicificación y turmalinización en menor grado. En los fenocristales de plagioclasa se observa alteración parcial a total a arcillas y sericita, encontrándose a veces arcillas isótropas.

También es común el reemplazo de los fenocristales de biotita por sericita y arcillas según las líneas de clivaje, posterior a la reabsorción.

La pasta original se ha convertido casi total a totalmente en un agregado heterogéneo de arcillas, sericita y cuarzo, acompañados en general por rutilo y/o turmalina.

Las **brechas** muestran una alteración arcilloso-sericítica muy intensa, acompañada por silicificación, y en mucho menor grado turmalinización.

La asociación arcillas-sericita no sólo afecta a los clastos líticos, sino que constituye también el material que aglutina los clastos de las brechas. Este material se halla en forma de agregados heterogéneos de arcillas (isótropas y anisótropas), las que suelen estar impregnadas con limonitas, y en casos acompañadas por sericita y cuarzo; más raramente el material consiste en limonitas o en turmalina y cuarzo.

Se encuentran en este tipo litológico guías y venillas rellenas por uno o más de los siguientes minerales de alteración: arcillas, sericita, cuarzo y limonitas.

En los fragmentos líticos de las brechas se observan etapas iniciales de alteración sericítico-arcillosa y silíceo. Posteriormente, la actividad de fluidos ricos en boro dió como resultado turmalina que cementó los clastos y produjo menor reemplazo de los mismos.

Con respecto a las **ignimbritas**, ellas presentan una intensa alteración arcillosa y en menor grado sericítica. En cuanto a los cristaloclastos de feldespato, ellos están alterados a arcillas (isótropas y anisótropas) y sericita.

La matriz de las ignimbritas está reemplazada totalmente por arcillas y exiguos sericita y cuarzo, permitiendo sin embargo la observación de fantasmas de fragmentos de pómez y trizas.

En las **tobas** la alteración está representada por la asociación arcilloso-sericítica y cuarzo-turmalínica y su intensidad es alta, causando el reemplazo total de la roca.

Los cristaloclastos de feldespato se hallan alterados a arcillas, mientras que la matriz es principalmente reemplazada por cuarzo, con mucha menor proporción de arcillas, sericita y turmalina.

La interpretación de los espectros obtenidos por el espectrómetro de reflectancia SWIR en las muestras con alteración sericítico-arcillosa, extraídas de los sectores de las quebradas de Liviana y del Alumbre y del sector occidental alterado, reveló una mineralogía de arcillas constituida fundamentalmente por illita, caolinita,

montmorillonita e illita-esmectita. Es claramente predominante la arcilla nombrada en primer término; sus contenidos de  $Al_2O_3$  son normales, ubicándose entre 31,3 y 37,6% (Hauff, 1994).

Las esmectitas (montmorillonita y nontronita), y probablemente parte de la caolinita, se consideran representantes de un proceso supergénico muy difundido en el área estudiada. Mediante el método de espectrometría SWIR se detectó illita con amonio en una muestra extraída en el sector ubicado al sudeste del campamento nuevo, como evidencia de que existe materia orgánica en el mineral. La presencia de illita con amonio asociada a depósitos de oro disseminado y de tipo *hot springs* es considerada como un buen indicador de un sistema hidrotermal con mineralización potencial (Phoebe Hauff, comunicación verbal).

La asociación de illita con menor cantidad de illita-esmectita permite definir una mineralogía característica de ambiente epitermal, con moderada temperatura de formación y pH neutro, dentro de la alteración arcillosa intermedia. Las temperaturas de formación de la illita varía entre 200 y 250°, mientras que la illita-esmectita se forma entre 100 y 200°C y la caolinita entre <150 a 200°C (Townley, 2000).

Heidorn (2002) describió alteración filica, representada por moscovita y cuarzo, incluyendo dentro de esta alteración como subtipos a la turmalinización y piritización.

### 3.2.2. Arcillosa avanzada y arcillosa avanzada *steam-heated*

En las muestras 175 y 177 (Figura 2) mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR se detectó pequeña cantidad de alunita en mezclas, pero no se pudo confirmar el mineral en las observaciones petrográficas, debido al tamaño de grano muy fino de los minerales de alteración. Es probable que se trate de alunita en formación incipiente.

La alunita fue clasificada a partir de imágenes ASTER por los estudios realizados por MMAJ- JICA, (2003). Se observa una coincidencia parcial en la distribución de la alunita detectada por el método de espectrometría de reflectancia SWIR y la clasificada en las imágenes ASTER.

La asociación alunita, cristobalita y caolinita, junto con cuarzo opalino y cuarzo, depositados a partir de vapor a una temperatura de 100°C, fue

incluida por Heidorn (2002) dentro de la alteración arcillosa avanzada tipo *steam-heated* (Hedenquist *et al.*, 2000). El vapor fue parte del proceso y generó agua con sulfato ácido por calentamiento de aguas freáticas de la zona vadosa (*steam-heated*), pero no transportó NaCl ni metales en la sección sur del cerro Panizos cuya ubicación se observa en la Figura 2; además, este mismo proceso formó encapes silíceos constituidos por cuarzo masivo y ópalo, portadores de piritita disseminada fina dispuesta según fracturas y anatasa. Heidorn (2002) identificó la alunita por rayos X. Este autor diferencia esta alteración arcillosa avanzada *steam-heated* de la hipogénica, en base a la asociación mineralógica, su distribución en el sistema hidrotermal de la caldera Rachaite, su relación con fallas y su apariencia de *blankets* o capas asociadas a encapes silíceos subparalelos a fracturas. La cristobalita fue reconocida previamente por Coira *et al.* (1990).

La diferencia con la alteración arcillosa avanzada supergénica está dada por la ausencia de minerales típicos de baja temperatura tales como escorodita o halloysita (Hedenquist *et al.*, 2000).

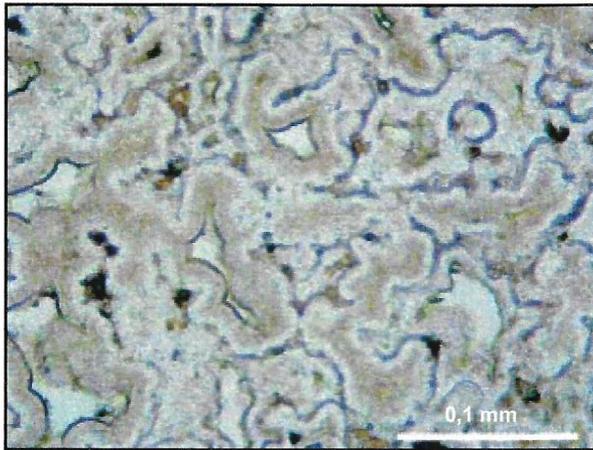
En el presente estudio se halló tridimita; fue detectada por rayos X y en algunos cortes delgados (muestras 98, 174, 101, 102 y 105; Figura 2). Se asocia a illita y su presencia indica pasaje hacia alteración arcillosa avanzada *steam-heated*, con pH más ácido y temperaturas muy bajas de formación en el ambiente epitermal.

Se observa además opalización en las brechas (Foto 5). El ópalo tapiza algunos huecos con un relleno más interno de calcedonia o cuarzo. En algunos clastos de andesita, este mineral además en ocasiones reemplaza fenocristales de feldespato y de biotita previamente alterados a arcillas; la pasta muestra opalización parcial. En sectores se observaron algunos agregados de tridimita. La calcedonia se forma en la base de la zona vadosa a lo largo de la napa freática (Hedenquist *et al.*, 2000). Estos autores consideraron que la asociación ópalo-caolinita-alunita es parte de la paleosuperficie.

La dickita se considera también parte de la alteración arcillosa avanzada *steam-heated*.

### 3.2.3. Silícea

En las lavas la alteración silícea se encuentra en forma de ocasionales venillas de cuarzo, solo o con limonitas y arcillas. También hay ve-



**Foto 5.** Área de la mina Chocaya. Ópalo y calcedonia en brecha. Sin analizador.

nillas y guías discontinuas de cuarzo solo o con arcillas que surcan las rocas. Otras venillas son muy delgadas y están rellenas de cuarzo fino limpio, al que en casos se asocian limonitas y escasa turmalina en “soles”; en algunas se observa jarosita. El cuarzo se dispone también como relleno de cavidades.

La pasta original ha sido totalmente reemplazada por un agregado heterogéneo de cuarzo acompañado por otros minerales de alteración, tales como arcillas, sericita, rutilo y turmalina.

La silicificación suele estar asociada a las alteraciones arcilloso-sericítica y turmalínica en menor grado en las lavas.

En la matriz de las **tobas** es posible observar agregados de arcillas y cuarzo microcristalino y microgranoso, como así también cuarzo fino con muy exiguas sericita y arcillas, y acompañado además por numerosos “soles” pequeños de turmalina. El cuarzo está enturbiado por limonitas y probablemente arcillas puntiformes.

Esta alteración se manifiesta en las **brechas** en distintas formas. En algunos clastos se advierte reemplazo en forma total por un agregado de cuarzo de tamaño heterogéneo entre microcristalino y microgranoso, al que acompañan limonitas y exiguas arcillas y sericita. Otros clastos muestran un bandeo difuso y fino dado por la alternancia de bandas de cuarzo de distinta granulometría. Estas brechas se habrían formado con un evento de alteración silícea.

Sólo una exigua cantidad de clastos se compone de cuarzo microgranoso. Es común que atraviesen las brechas algunas venillas discontinuas de cuarzo microcristalino. Otra forma de presentarse es el reemplazo de fenocristales de feldspato por cuarzo fino en algunos clastos. En otros

casos el cuarzo reemplaza pastas de las volcánitas que componen los clastos.

Coira *et al.* (1990) además reconocieron en el área fajas de silicificación a las que suelen asociarse brechas hidrotermales, cuyo rumbo noroeste-sureste y nordeste-suroeste coincide con el de las vetas.

Heidorn (2002) identificó cuarzo microcristalino y calcedonia, con pirita asociada. Dentro de esta alteración, distinguió dos tipos: silicificación y silicación. El primero consiste en la adición de sílice como cuarzo o uno de sus polimorfos, mientras que la silicación implica la conversión de minerales silicáticos o el reemplazo por estos últimos. Ambos tipos están controlados por fracturas y se depositan a partir del enfriamiento rápido de un fluido en ebullición que asciende a la superficie, como así también por remoción a partir de los aluminosilicatos con ayuda de fluidos calientes que circularon a lo largo de las fracturas.

Según Hedenquist *et al.* (2000), la depositación de cuarzo se produce a temperaturas mayores de 200°C, mientras que la calcedonia lo hace a temperaturas inferiores a 200°C y la sílice amorfa entre 100 y 150°C.

#### 3.2.4. Turmalínica

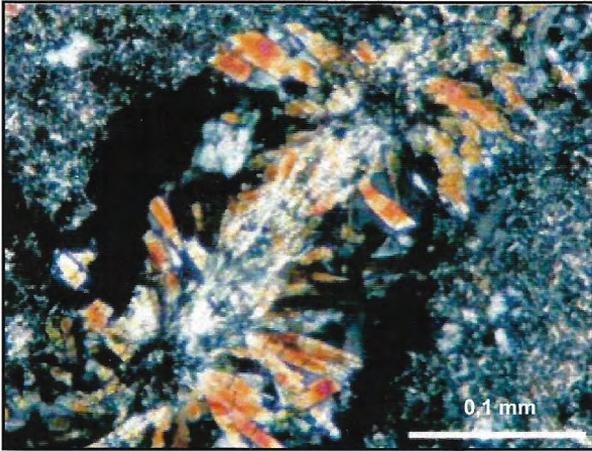
La turmalinización muestra texturas de reemplazo observadas al microscopio que parecen indicar que es posterior y se sobrepone a la arcillosa intermedia.

Los estudios mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR identificaron turmalina de composición férrica; esta característica está evidenciada por la notable pendiente de hierro visible en los espectros correspondientes.

Esta alteración fue descrita por Heidorn (2002) como un subtipo dentro de la alteración filica. En base a estudios por rayos X este autor determinó que la turmalina corresponde a la variedad buergerita, que es una turmalina con  $\text{Fe}^{3+}$ , aunque mencionó que podría haber otras variedades.

La turmalina reemplaza algunos clastos de las brechas. Esta alteración se manifiesta en ellas en forma de agregados de cuarzo y turmalina. La turmalina también constituye el cemento de las brechas junto con cuarzo.

En las lavas, se observa reemplazo de la pas-



**Foto 6.** Área de la mina Chocaya. Venilla de turmalina en fenodacita alterada. Con analizador.

ta por cuarzo y turmalina, en menor proporción respecto a la alteración sericítico-arcillosa. La turmalina se halla en individuos prismáticos diseminados, en “soles”, en agregados irregulares y en venillas (Foto 6), con pleocroísmo variable entre incoloro y verde castaño intenso.

En la matriz de las tobas la turmalina también está presente; en ella se encuentra con arcillas y sericita, acompañando esta asociación al cuarzo secundario en menor proporción. Más raramente hay turmalina rosada en escasa cantidad.

La turmalina es característica de sistemas hidrotermales de la Provincia Estannífera Boliviana, y define centros de alta temperatura de actividad hidrotermal (Lehmann *et al.*, 2000).

Esta alteración presenta texturas que sugieren que es un evento posterior a las otras alteraciones en los distintos tipos de rocas.

### 3.2.5. Propilítica

En esta alteración se ha identificado sólo clorita como parte de los minerales de alteración que forman el material aglutinante de las brechas, asociada a arcillas, sericita y cuarzo, como así también escaso rutilo. En algunos clastos de dacitas, los fenocristales de biotita están parcialmente alterados a clorita y rutilo. La alteración propilítica del área de la mina Chocaya, que se ubica externamente con respecto al sector de blanqueo (Coira *et al.*, 1990), se observa en la Foto 2.

Los estudios con el método de espectrometría de reflectancia SWIR identificaron clorita de composición férrica; esta característica está evidenciada por la notable pendiente de hierro visible en los espectros correspondientes.

Heidorn (2002) identificó albita, carbonato,

clorita y epidoto, señalando además que la presencia de caolinita en esta asociación se debe a la alteración supergénica.

### 3.2.6. Biotítica

Heidorn (2002) describió alteración biotítica como producto de un evento de deformación, señalando que está controlada por fracturas. Es probable que ese evento sea posterior a la actividad del sistema hidrotermal que afectó al estratovolcán Rachaite.

En este estudio no se halló alteración biotítica.

## 3.3. ALTERACIÓN SUPERGÉNICA

Está muy difundida en toda el área, enmascarando y desdibujando las texturas de la alteración hidrotermal hipogénica. Se observan óxidos de hierro en general, jarosita como producto de oxidación de la pirita, caolinita que probablemente provenga de la alteración de feldespato, y montmorillonita; es probable que haya además otras arcillas. Heidorn (2002) halló también yeso que se formaría a partir de la evaporación de soluciones meteóricas.

En la mayoría de las rocas en superficie se ha observado limonitización en forma de tinción, diseminación, guías y venillas; son comunes los agregados de jarosita, detectada no sólo con el microscopio sino también por rayos X y espectrometría de reflectancia SWIR.

Heidorn (2002) infirió un espesor de varias decenas de metros para la alteración supergénica.

## 3.4. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS

Según Heidorn (2002), las anomalías geoquímicas de metales de base y preciosos en las alteraciones filica y propilítica son bajas. El oro, plata, cobre y molibdeno constituyen anomalías no significativas. El estaño está ausente. El cinc se encuentra en mucha mayor proporción que el plomo en la alteración propilítica, pero en la alteración filica se cumple la inversa.

El autor mencionado señaló la ausencia de anomalías significativas de metales de base y preciosos dentro de la silicificación y silicación, como tampoco las hay en las alteraciones arcillosa avanzada *steam-heated* y arcillosa avanzada *steam-heated* relacionada con silicificación.

Asimismo, destacó la ausencia de mercurio dentro de la silicificación. En general los productos de la alteración arcillosa avanzada *steam-heated* parecen estar más deprimidos en metales excepto en hierro, cuyo contenido es mayor dentro de la silicificación.

Los análisis químicos de dos muestras mineralizadas realizados por MMAJ – JICA (2003) dieron los siguientes resultados: 0,04 g/t Au, 142 g/t Ag, 1,71% Pb y 2,5% Zn; 0,025 g/t Au, 2,5 g/t Ag, 0,18 % Pb y 1,22 % Zn.

## 4.ÁREA DE LAS MINAS SAN JOSÉ Y DONCELLAS

Este área se ubica en las laderas externas del estratovolcán Rachaite (Figura 1). Las minas San José y Doncellas fueron parcialmente explotadas en 1950.

En la mina San José, Coira (1999) describió una mineralización de Mn asociada a depósitos de *surge*, que son el resultado de procesos hidromagmáticos en el sistema.

Tanto Coira *et al.* (1990), como Heidorn (2002), señalaron que en los sectores Doncellas y San José la formación de depósitos del tipo *hot springs* se produjo a partir de los fluidos que se descargaron en las laderas externas en algunas partes distales del estratovolcán del Complejo Volcánico Rachaite.

Coira (1999) definió en este área manifestaciones de ópalo-calconia en brechas con anomalías de As, Sb, Mn y Au.

### 4.1. PETROGRAFÍA

El estudio petrográfico detallado de las muestras extraídas revela que la alteración es muy intensa y que, al igual que en el área de la mina Chocaya, en la mayoría de los casos resulta extremadamente difícil definir el tipo de roca original.

Sin embargo, las texturas relícticas permiten definir brechas hidrotermales, ignimbritas y lavas, con predominio de las primeras.

#### 4.1.1. Brechas

Las características de las brechas se asemejan a las de las mismas rocas halladas en el área

de la mina Chocaya.

Las brechas hidrotermales muestran colores variables: gris oscuro, gris amarillento claro, rosa grisáceo claro y castaño rojizo oscuro, y muestran textura brechosa.

Los clastos forman entre 20 y 70% de las brechas, y tienen colores gris claro, blanco, gris, castaño rosado y gris rosado, irregulares, y subangulosos a subredondeados. Suelen ser afaníticos, aunque también hay clastos de textura porfirica. En este último caso se hallan proporciones variables de fenocristales de feldespato en pasta afanítica; el tamaño máximo de estos fenocristales no sobrepasa los 3 milímetros. El tamaño de los clastos oscila entre un milímetro y más de 3 centímetros.

La matriz es afanítica, y en casos se observa cemento limonítico.

La alteración hidrotermal afecta en intensidad muy fuerte a estas rocas y desdibuja notablemente la textura brechosa, en casos a tal punto que sólo es posible reconocerla en el estudio al microscopio. A pesar de ello, aún se pueden identificar relictos de una textura brechosa. Se observa 90-95% de clastos subangulosos a subredondeados y de contornos irregulares, aglutinados por minerales de alteración.

Se observan fragmentos pumíceos, con cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, en matriz esponjosa a veces alterada.

Entre los clastos se identifican líticos y monominerales; estos últimos en casos pueden faltar.

Se reconocen las siguientes variedades de clastos líticos: andesitas, con fenocristales de plagioclasa y biotita, en pasta microgranosa de plagioclasa; andesitas, con fenocristales de plagioclasa casi total a totalmente alterados, de biotita parcial a totalmente reabsorbida y de anfíbol reabsorbido, en una pasta de individuos pequeños de los mismos minerales que los fenocristales, en una base alterada; andesitas, con fenocristales de alterados de plagioclasa en pasta totalmente alterada; andesitas, con fenocristales de plagioclasa y mineral máfico y pasta totalmente alterados; agregados de minerales de alteración; vidrios totalmente alterados, en casos con fantasmas de texturas esferulíticas de desvitrificación y en otros de fluidalidad; brechas, con clastos de andesitas alteradas y aglutinados por minerales de alteración; andesitas, con fenocristales de plagioclasa alterada y biotita levemente reabsorbida, en una

pasta en la que se ven algunos microlitos orientados de plagioclasa alterada en base también alterada; agregados microgranulosos difusos impregnados por limonitas; fragmentos de matriz fluidal de tobas; fragmentos de matriz fluidal de ignimbritas, con fragmentos de pómez orientadas; fenoandesitas, con fenocristales de feldespato alterado y de biotita y anfíbol reabsorbidos, en una pasta casi totalmente alterada con algunas estructuras vítreas esferulíticas.

Es poco común el contacto difuso de clastos líticos contiguos.

Los clastos monominerale corresponden a los fenocristales de los litoclastos. Se reconocen cuarzo, plagioclasa y biotita.

El material aglutinante de los clastos descriptos está constituido por minerales de alteración, que se describen bajo el título correspondiente a las alteraciones hidrotermales. Se encuentra mineral opaco, que se halla parcial a totalmente limonitizado, en las siguientes formas: 1) dentro de los clastos líticos, reemplazándolos en forma masiva y englobando los clastos monominerale; 2) individuos diminutos dispersos, en parte limonitizados; 3) en sectores como material aglutinante de los clastos; 4) individuos anhedrales dispersos en clastos y material aglutinante; 5) asociado a la alteración de los minerales máficos; 6) producto de reabsorción de los minerales máficos. Su proporción varía entre 2 y 4%, y excepcionalmente alcanza 10%.

Como mineral accesorio transparente se observa circón.

#### 4.1.2. Ignimbritas

Se denomina a estas rocas como fenodacíticas, tomando como base los cristaloclastos, debido a que la matriz se halla totalmente reemplazada por minerales de alteración.

En muestra de mano, estas rocas tienen color gris amarillento claro a rosado y están muy alteradas. La textura tiene aspecto brechoso, con 30% de clastos afaníticos blancos y grises, en matriz afanítica; el tamaño de los clastos alcanza los 5-6 milímetros.

Si bien en muestra de mano la textura tiene aspecto brechoso, al microscopio se observa 20% de cristaloclastos de cuarzo, feldespato y minerales máficos, en una matriz fluidal totalmente alterada. El tamaño de los cristaloclastos alcanza un milímetro como máximo en su mayor dimensión.

El cuarzo es muy escaso; se halla en individuos anhedrales muy pequeños y corroídos.

El feldespato se halla en ejemplares anhedrales y subhedrales, en casos subangulosos. Está totalmente alterado, observándose en muy raras ocasiones fantasmas de maclas.

Los minerales máficos corresponden a anfíbol y biotita alterados.

La matriz se compone de fragmentos pumíceos orientados en una base fina alterada.

En la roca se encuentran litoclastos subangulosos a subredondeados, en una proporción del 30% del total de la roca. El tamaño es muy heterogéneo y varía entre 0,05 y 5 mm en su mayor dimensión; uno de ellos mide más de 11 milímetros. Se identifican los siguientes tipos litológicos:

-Rocas porfíricas, con fenocristales reabsorbidos de minerales máficos, en una pasta con gránulos de minerales máficos reabsorbidos en una base alterada.

-Andesitas, con fenocristales de plagioclasa zonal con alteración total y de minerales máficos reabsorbidos; la pasta se compone de tablillas de plagioclasa y gránulos de minerales máficos, ambos similares a los de los fenocristales, en una base alterada. Se ve mineral opaco limonitizado.

-Pastas de los dos tipos litológicos mencionados.

-Vidrios esponjosos (pómez) alterados.

Predominan los dos primeros tipos litológicos. Se observan huecos tapizados por cristobalita.

Hay mineral opaco en un 2%; está limonitizado y se presenta en las siguientes formas: 1) individuos anhedrales a subhedrales diseminados; 2) asociado a la reabsorción de los minerales máficos.

Se observa tinción limonítica. Las limonitas también forman agregados pulverulentos.

#### 4.1.3. Lavas

En muestra de mano, estas rocas tienen color castaño levemente rojizo, y están menos alteradas que las del área de la mina Chocaya. Los fenocristales forman el 30% de la roca y son de feldespato y minerales máficos, en pasta afanítica.

El tamaño de los fenocristales alcanza los 3 mm como máximo en su mayor dimensión.

Al microscopio la textura es porfírica seriada. Se observan fenocristales (35%) de plagioclasa y minerales máficos en pasta fina alterada. El tamaño de los fenocristales alcanza un milímetro como máximo en su mayor dimensión, hallándose excep-

cionalmente algunos de 3,5 milímetros.

La plagioclasa se encuentra en individuos subhedrales, en caso anhedrales, zonales y maclados defectuosamente según albita-Carlsbad y periclino. Algunos individuos están cribados y en casos además se observan inclusiones de apatita pleocroica; muchos presentan microfracturas. Ocasionalmente se hallan cristales compuestos. La composición se determinó como andesina media. Alcanza el mayor tamaño entre los fenocristales.

Entre los minerales máficos se identifican biotita y anfíbol.

La biotita se halla en ejemplares parcialmente reabsorbidos. El pleocroísmo varía entre castaño amarillento y castaño rojizo oscuro. Tiene inclusiones de apatita.

El anfíbol es una hornblenda; se encuentra en individuos euhedrales a subhedrales, muy reabsorbidos y alterados a arcillas. Su pleocroísmo varía entre castaño amarillento claro y mediano.

Se observan exiguos fenocristales engolfados de cuarzo.

La pasta está formada por individuos pequeños y desordenados de plagioclasa y minerales máficos cuyas características responden a las de los fenocristales; los minerales mencionados están inmersos en una base que originalmente fue vítrea y que se halla desvitrificada y alterada.

Se ven amígdalas rellenas de clorita, a veces con un reborde de limonitas, y de cristobalita y/o tridimita con un reborde de ópalo.

Hay mineral opaco en una proporción del 3%, en las siguientes formas: 1) en individuos euhedrales, subhedrales y anhedrales, algunos de ellos limonitizados; 2) asociado al proceso de reabsorción de los minerales máficos.

Como minerales accesorios transparentes se hallan apatita y muy exiguo circón.

Se observa tinción limonítica y agregados de limonitas.

## 4.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En el área Doncellas-San José se identificaron alteraciones sericítico-arcillosa intermedia, arcillosa avanzada y arcillosa avanzada *steam-heated*, y silíceas.

### 4.2.1. Arcilloso-sericítica intermedia

La alteración arcilloso-sericítica intermedia

predomina en el área.

En esta asociación de alteración ambos minerales se presentan juntos, con predominio de las arcillas sobre la sericita.

En las **ignimbritas** la alteración arcilloso-sericítica intermedia se manifiesta como reemplazo de cristales de feldespato por arcillas isótropas y de minerales máficos por arcillas isótropas y limonitas. La matriz está alterada en forma total a arcillas isótropas teñidas por limonitas, acompañadas por muy exigua cantidad de arcillas anisótropas y sericita. Los clastos líticos de las ignimbritas se hallan también afectados por esta asociación. En los clastos de las andesitas se observa reemplazo de las pastas y los fenocristales de plagioclasa por arcillas isótropas. También los clastos de vidrios esponjosos (fragmentos de pómez) muestran reemplazo por arcillas isótropas y mineral opaco limonitizado, con exigua proporción de arcillas anisótropas. Algunos clastos se encuentran totalmente alterados a agregados de arcillas isótropas y limonitas.

La pasta de las **dacitas** presenta alteración a arcillas y clorita.

Las **brechas** exhiben alteración arcilloso-sericítica en los clastos líticos de pumicitas en las que la matriz está parcial a totalmente reemplazada por arcillas teñidas por limonitas. En los litoclastos de andesitas, los fenocristales de feldespato y la pasta se hallan alterados a arcillas. Algunos clastos líticos se encuentran totalmente alterados a agregados de arcillas. Clastos de vidrio fluidal están reemplazados por arcillas, aunque aún pueden verse fantasmas de su fluidalidad original. También hay clastos de brechas con argilización total, aglutinados por arcillas. En los clastos de matriz de tobas se observa alteración a arcillas y sericita.

Las arcillas pueden conformar el material aglutinante de los clastos en algunas brechas y están asociadas a escasa proporción de sericita.

Los estudios de las arcillas mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR dan como resultado la presencia de esmectitas (nontronita y montmorillonita), como así también caolinita, illita e illita-esmectita. Los resultados por rayos X indican que hay moscovita y caolinita. La moscovita se altera con mucha facilidad a illita, esta última muy bien detectada por el espectrómetro de reflectancia SWIR.

La asociación de illita con menor cantidad de illita-esmectita permite definir una mineralogía característica de ambiente epitermal, con mode-

rada temperatura de formación y pH intermedio, dentro de la alteración arcillosa intermedia.

#### 4.2.2. Arcillosa avanzada y arcillosa avanzada *steam-heated*

En la alteración arcillosa avanzada se distingue alunita, la que fue identificada por rayos X y por el espectrómetro de reflectancia SWIR. Se la observó también en los cortes delgados, en los que se aprecia su buen desarrollo (Foto 7). Los espectros obtenidos por los estudios con el espectrómetro de reflectancia SWIR permiten definir una alunita sódica (muestra 93), que dentro de los extremos sódico-potásicos corresponde a la alunita de mayor temperatura.

En los clastos líticos fenoandesíticos de **brechas**, la alunita reemplaza la pasta y también los fenocristales de biotita según el clivaje.

Se observa escasa alunita como material aglutinante de los clastos de las brechas, junto con arcillas y ópalo. En una muestra, a la alunita se asocia un mineral que fue determinado con dudas como ceolita del tipo heulandita-estilbita.

La presencia de alunita de buen desarrollo, asociada a menor cantidad de ópalo, cristobalita y tridimita, permite deducir que la mineralogía es la característica de ambiente epitermal, con baja temperatura de formación y pH ácido, que evidencian la alteración arcillosa avanzada del tipo *steam-heated*.

La asociación silícea que forma parte de la alteración arcillosa avanzada *steam-heated* se manifiesta además en las siguientes formas:

En las **dacitas** hay cristobalita y escasa tridimita en la pasta.

En las **ignimbritas** se observa ocasionalmente



**Foto 7.** Área Doncellas. Alunita (a) tabular hipogénica en brecha fenoandesítica. Con analizador.

tridimita en las pastas de las andesitas que conforman los clastos líticos. Este mineral también se encuentra en forma de exiguos agregados de tridimita en la matriz de las ignimbritas.

En cuanto a las **brechas**, en ellas se pueden observar las siguientes texturas:

-En los clastos líticos:

-Se ve cristobalita en pequeñas cantidades asociada a la matriz de pumicitas.

-Hay agregados de tridimita en la pasta de las andesitas; en algunos casos se ven amígdalas con rebordes de fluorita (?) y relleno de sílice microcristalina rosada, o bien con reborde de ópalo rosado y relleno de calcedonia.

-Andesitas, con fenocristales de plagioclasa reemplazada por ópalo, en pasta alterada a ópalo y arcillas.

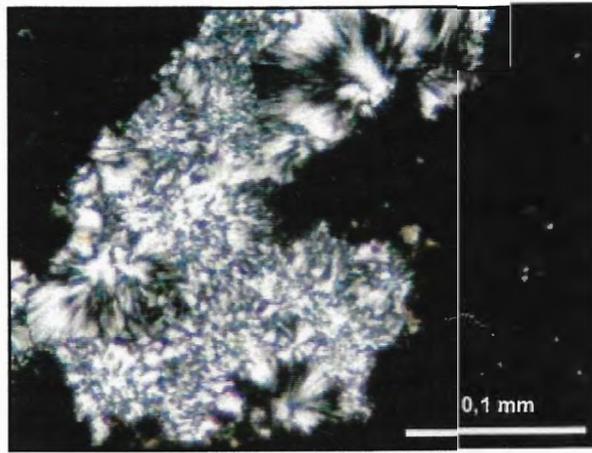
-Andesitas, con fenocristales de plagioclasa zonal reemplazada por ópalo y con huecos rellenos con calcedonia (Foto 8), y de biotita reabsorbida; también hay individuos de anfíbol. La pasta está formada por ópalo y arcillas isótropas de índice de refracción menor que el del bálsamo. Se observan amígdalas rellenas de calcedonia.

-Andesitas, con pasta de estructura esferulítica reemplazada por cristobalita.

La opalización en las brechas es visible en los afloramientos (Foto 9).

-En el material aglutinante de los clastos se observan huecos rellenos por calcedonia y cristobalita; también se ven huecos tapizados por ópalo con un relleno de anhidrita.

Las formas de sílice de baja temperatura se identificaron en los estudios al microscopio. Mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR se detectó ópalo, pero no cristobalita ni tridimita, las que fueron determinadas también por



**Foto 8.** Área Doncellas. Calcedonia en andesita. Con analizador.

rayos X. La cristobalita y la tridimita en casos aparecen juntas (Foto 10).

#### 4.2.3. Silíceo

En el presente estudio esta alteración se halló sólo en los clastos líticos de algunas de las brechas hidrotermales, los que se encuentran totalmente alterados a cuarzo microgranoso.

### 4.3. ALTERACIÓN SUPERGÉNICA

Es probable que la caolinita y las esmectitas tengan origen supergénico.

En superficie es común la limonitización, que se halla como tinción, disseminación, guías y venillas. Las limonitas se asocian y tiñen a las arcillas, y también forman parte del material aglutinante de los clastos de las brechas hidrotermales junto con otros minerales de alteración.

La presencia de jarosita en agregados ha sido detectada no sólo en corte delgado sino también por rayos X y el método de espectrometría de re-

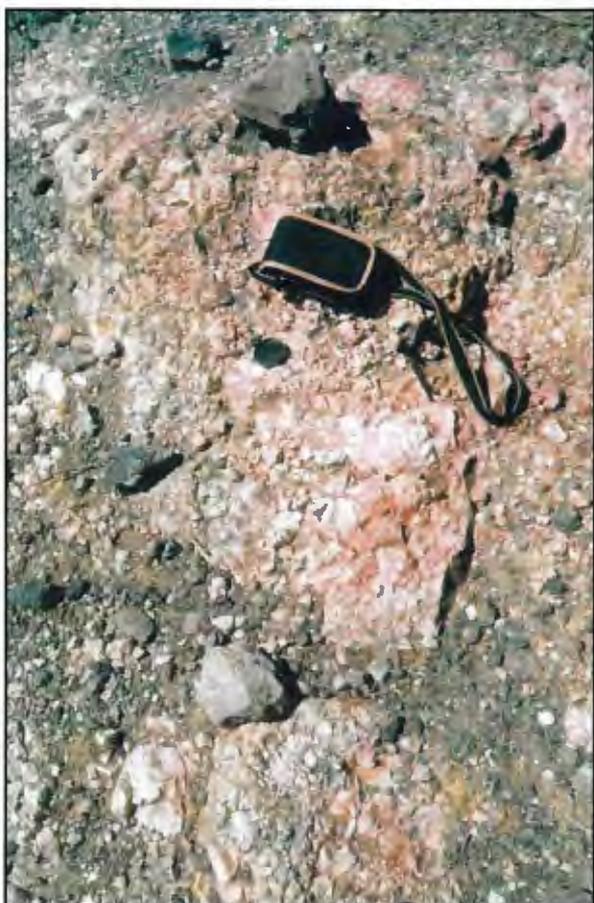


Foto 9. Área Doncellas. Opalización en brechas.

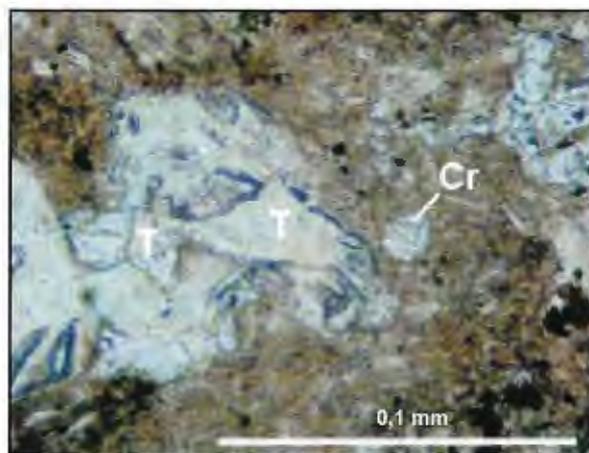


Foto 10. Área Doncellas. Cristobalita (cr) y tridimita (t) en brecha. Sin analizador.

flectancia SWIR, en este último caso en mezcla de jarosita con arcillas. El mineral también se encuentra en casos como relleno de huecos.

## 5. MINERALIZACIÓN

La mineralización de la mina Chocaya fue estudiada por Coira *et al.* (1990), quienes señalaron que la misma se aloja en rocas con alteración sericítico-arcilloso-silíceo. Está controlada por juegos de fracturas de rumbo N-S, NNO-SSE y NE-SO. Aparece en forma de vetas, vetillas y disseminada, que constituyen un típico *stockwork*; las potencias de las vetas varían entre escasos centímetros hasta 0,60 m, con corridas de hasta 100 metros. A las vetas se asocia una red de venillas mineralizadas que delinean zonas de hasta 1,50 m de ancho. En las proximidades de las vetas también se halla mineralización disseminada.

Los minerales de mena (Coira *et al.*, 1990) consisten en esfalerita gris y verde en más de una generación, a la que se asocia *greenockita*. La galena se presenta con tetraedrita argentífera, y muestra en algunos casos bordes de reacción con intercrecimientos gráficos de bournonita-esfalerita. Hay sulfosales de plomo en agujas pequeñas que alternan con bournonita. Son comunes plata nativa y pirargirita, mientras que la polibasita es menos frecuente. La pirita, que es un mineral temprano, está muy difundida y aparece en más de una generación. En escasa proporción se hallan marcasita y calcopirita. Los minerales de oxidación son digenita, covellina, cerusita, cerargirita y hematita.

Coira (1999) observó *sinters* silíceos asocia-

dos a brechas con anomalías de Sb y Ag en la sección superior del edificio volcánico, que interpretó como zonas de descarga de fuentes termales. Asimismo mencionó que en secuencias lávico-piroclásticas lacustres de 6,8 Ma se intercala el depósito de boratos Loma Blanca, que se asocia a las fases plinianas del Complejo Volcánico Coranzulí.

Heidorn (2002) definió dos zonas en el depósito: una superior y otra inferior. La primera fue ubicada por este autor como perteneciente posiblemente a un sistema de alta sulfuración con Au?-Ag-Pb-Zn y Hg, mientras que la porción inferior posee más Ag-Pb-Zn.

## 6. CONSIDERACIONES METALOGÉNÉTICAS Y GEOTECTÓNICAS

Para Coira (1999), la construcción del edificio volcánico del estratovolcán Rachaite es la evidencia del inicio de la actividad volcánica del Complejo Volcánico Coranzulí a los 8-9 millones de años. Es en este edificio volcánico en el que se emplaza la mina Chocaya, depósito definido por esta autora como epitermal de metales de base rico en Ag, y cuyo control estructural está dado por fracturas de rumbos norte-sur, noroeste-sureste y nordeste-suroeste.

Coira (1994, 1999) le asignó importancia metalogénética al Mioceno superior temprano, que en la Puna ha sido un período de cambio. Este cambio produjo una variación de un volcanismo disperso y volúmenes restringidos a otro de mayor distribución caracterizado por la emisión de grandes volúmenes de ignimbritas como en el caso de Coranzulí, entre otros. El mismo correspondió a una etapa de engrosamiento cortical (en un régimen de subducción con ángulo creciente) que acompañó a la deformación de la Fase Quechua. Las ignimbritas son dacíticas calcoalcalinas ricas en potasio, peraluminosas, con fuerte pendiente en sus tierras raras y relaciones de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  relativamente altas (0,708-0,714).

Coira y Brodtkorb (1995) analizaron las características de este tipo de mineralizaciones epitermales de metales de base ricas en Ag alojadas en edificios volcánicos centrales, de composición dacítico-andesítica y relacionadas con la fase magmática principal que acompañó al levantamiento de la Puna (Fase Principal Quechua, 10-8 Ma). Concluyeron que la erosión en Rachaite no

ha expuesto todavía el nivel de metales preciosos, el que podría existir entre los *sinters* y el horizonte de metales de base. Asimismo ubicaron este depósito en el nivel superior de metales de base-metales preciosos según el modelo de depósitos epitermales de Grant *et al.* (1980). Coira y Brodtkorb (1995) le asignaron a la mineralización de Rachaite una estrecha similitud con la de la Provincia Polimetálica del sur de Bolivia; estos depósitos del Cenozoico superior representan etapas metalogénéticas que se produjeron durante el Mioceno medio y superior en la Puna norte y en el Altiplano-Cordillera Oriental de Bolivia. Concluyeron además que tanto los depósitos minerales en las Provincias de la Puna y Altiplano como los procesos magmáticos fueron afectados por la composición y espesor de la corteza en la que los magmas fueron emplazados.

La mineralización de Rachaite fue ubicada por Zappettini (1998) como perteneciente a los Episodios Neógenos dentro de los Episodios Ándicos y definida como modelo 7e (depósitos epitermales y de transición, polimetálicos complejos) en el Mapa Metalogénético de la República Argentina.

Heidorn (2002) señaló que el ambiente tectónico del área de Rachaite corresponde al retroarco de los Andes centrales en la Puna, a lo largo del corredor de rumbo noroeste-sudeste, correspondiente a la falla Lipez de desplazamiento de rumbo.

En 2003, MMAJ - JICA señalaron que la presencia de cuarzo opalino indica la parte somera del sistema hidrotermal. Consideraron que el nivel de precipitación del oro es algo más profundo y definieron el depósito como la parte somera de un sistema del tipo baja sulfuración. Finalmente sugirieron que existe alta potencialidad para el hallazgo de depósitos de tipo vetas polimetálicas debido a que este depósito se localiza en el extremo sur de la Provincia Polimetálica de Bolivia.

Montenegro *et al.* (2004) estudiaron las inclusiones fluidas en esfalerita de la mina Chocaya; determinaron que la salinidad del fluido acuoso se encuentra dentro de los intervalos que definieron Sillitoe y Hedenquist (2003) para sistemas epitermales de sulfuración intermedia. El rango de temperaturas de homogeneización es entre 201 y 253°C, y coincide con el de Creed, Colorado (U.S.A.) (Heald *et al.*, 1987; Montenegro *et al.*, 2004).

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

La mineralización vetiforme de Pb-Zn-Ag de la mina Chocaya se ubica en el estratovolcán Rachaite de composición andesítico-dacítica, y tiene un importante control estructural.

En estudios anteriores se ha interpretado el área de la mina Chocaya como el núcleo del edificio volcánico Rachaite, y el área de las minas Doncellas y San José como las zonas marginales del mismo. En la parte superior del edificio volcánico se hallaron *sinters* silíceos, que son considerados como descarga de fuentes termales e indican la localización de conductos principales de fluidos hidrotermales; tienen anomalías de Sb y Ag.

Los tipos de roca identificados son lavas, ignimbritas y tobas, todas de composición fenodacítica, y brechas hidrotermales, estas últimas como producto de ebullición que en sistemas epitermales indica fracturación hidráulica y liberación de presión.

Se confirmaron asociaciones de alteraciones hidrotermales que definen un depósito epitermal de transición entre el tipo sulfuración intermedia y poco profunda, con zonas de alteración arcillosa avanzada tipo *steam-heated* (asociación alunita, cristobalita, tridimita, dickita y caolinita), observándose también ópalo. La alunita tiene buen desarrollo sólo en el área Doncellas-San José; es de composición sódica y hábito tabular, características que indican que es la alunita de mayor temperatura dentro de los extremos sódico-potásico. En el área de la mina Chocaya tiene un tamaño de grano muy fino.

Los fluidos de pH ácido (entre 1 y 3,5) dieron lugar a la alteración arcillosa avanzada y arcillosa avanzada *steam-heated*, mientras que los que corresponden a la arcilloso-sericítica intermedia, silícea y propilítica son de pH neutro.

Además de la alteración arcillosa avanzada, otras alteraciones hidrotermales reconocidas incluyen arcillosa intermedia, turmalínica, silícea y propilítica. La alteración **arcillosa intermedia** es el evento hidrotermal más difundido en el área de la mina Chocaya, y produce un blanqueo muy notable. Los minerales presentes indican una temperatura máxima de formación de 200°C. La alteración **turmalínica**, en la que se ha determinado turmalina férrica, es el resultado de la actividad de fluidos ricos en boro y representa centros puntuales de actividad hidrotermal de alta

temperatura, tales como se han hallado en depósitos minerales de la Provincia Estannífera Boliviana. Con respecto a la alteración **silícea**, la depositación de cuarzo se produce a temperaturas mayores de 200°C, mientras que la calcedonia lo hace a temperaturas inferiores a 200°C y la sílice amorfa entre 100 y 150°C. En la alteración **propilítica** se reconocieron solamente clorita de composición férrica y exiguo epidoto en la parte más externa del área estudiada en mezclas con minerales de la alteración arcillosa intermedia.

Las características observadas en el depósito ponen en evidencia que el nivel expuesto corresponde a la parte superior del sistema hidrotermal y que los metales preciosos se encuentran en niveles más profundos.

En el área de las minas Doncellas y San José, la presencia de una asociación de tipo arcillosa avanzada *steam-heated*, junto a las anomalías geoquímicas de Au, As y Sb halladas con anterioridad por otros autores, permiten alentar alguna expectativa para continuar con la exploración en el área. Se debería asimismo prestar atención a los *sinters* silíceos hallados en la parte superior del edificio volcánico.

Estudios previos han señalado que la mineralización se asemeja a aquellas existentes en la Provincia Polimetálica del sur de Bolivia y es parte de las etapas metalogenéticas que se produjeron durante el Mioceno superior en la Puna norte.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Coira, B., 1994. Eventos metalogenéticos en el marco evolutivo magmato-tectónico de la Puna norte durante el Cenozoico superior. Comunicaciones, 45:67-76.
- Coira, B., L., 1999. Potencialidad minera de sistemas megacaldéricos miocenos en Puna norte. En E. O. Zappettini (editor). Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35:1557-1567. Buenos Aires.
- Coira, B. L. y M. K. de Brodtkorb, 1995. Polymetallic mineralization associated with Cenozoic volcanism in Northern Puna, Argentina. PACRIM'95, 135-140.
- Coira, B., W. Chayle, E. Barber, N. Solís, M. Brodtkorb, M. Camacho y A. Díaz, 1990. Paleosistema geotermal del Terciario superior y su mineralización de metales básicos (Pb, Zn,

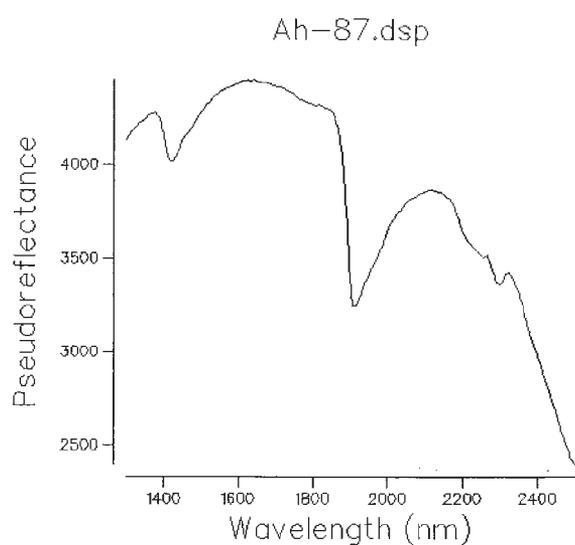
- Ag), Rachaite, Jujuy, Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas, I: 303-306.
- Coira, B., P. Caffè, A. Ramírez, W. Chayle, A. Díaz y S. Rosas, 1999. Hoja Geológica 2366-I/2166-III, Mina Pirquitas. Escala 1:250.000. Mapa Geológico. SEGEMAR. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.
- Garavilla, R., 1990. Prospección geofísica de mina Rachaite, provincia de Jujuy. Dirección General de Fabricaciones Militares. Informe 1163. Inédito. Salta.
- Godeas, M., 1998. Descripciones petrográficas. Rachaite, provincia de Jujuy. SEGEMAR-Instituto de Geología y Recursos Minerales. Inédito. Buenos Aires. 23 páginas.
- Grant, J. N., C. Halls, S. M. Sheppard y W. Avila, 1980. Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia, *Society of Mineralogy and Geology of Japan, Special Issue 8*: 151-173.
- Hauff, P., 1994. Espectroscopía de reflectancia aplicada. Recolección e interpretación de datos de espectrómetro SWIR. PIMA-II. Capítulo 3. Rasgos espectrales de los minerales. Spectral International Inc. Versión 3.1.
- Heald, P., N. K. Foley y D. O. Hayba, 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology*, 82 (1): 1-26.
- Hedenquist, J. W. y R. W. Henley, 1985. Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization. *Economic Geology*, 80: 1640-1668.
- Hedenquist, J. W., A. Arribas R. y E. González-Urrien, 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *SEG Reviews*, 15: 215-277.
- Heidorn, R., 2002. Geodynamic evolution of the Central Andean back arc with respect to Tertiary epithermal mineralisation: examples from the Chocaya (~ 22° S) and La Concordia (~ 24° S) deposits. Tesis Doctoral. Institut für Geologie und Paläontologie, Naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Salzburg. Salsburgo. Inédito. 111 páginas.
- Lehmann, B., A. Dietrich, J. Heinhorst, N. Métrich, M. Mosbah, C. Palacios, H. J. Schneider, A. Wallianos, J. Webster y L. Winkelmann, 2000. Boron in the Bolivian tin belt. *Mineralium Deposita*, 35: 223-232.
- MMAJ-JICA, 2003. Report on regional survey for mineral resources in the Northwest area. The Argentine Republic. Final report. March 2003. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Montenegro, T., B. Coira y M. K. de Brodtkorb, 2004. Inclusiones fluidas en esfalerita de mina Chocaya, provincia de Jujuy. 7° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Artículo. 87-88.
- Salfity, J., S. Gorustovich, C. Moya y R. Amengual, 1984. Marco tectónico para la sedimentación y efusividad cenozoica en la Puna argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas, 1:539-554. Buenos Aires.
- Sillitoe, R. H. y J. W. Hedenquist, 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions and epithermal precious-metal deposits. *Giggenbach memorial volume. Society of Economic Geologist and Geochemical Society, Special Publication 10*, S. F. Simmons Ed, Chapter 16.
- Townley, B. K., 2000. Curso de hidrotermalismo. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Geología Económica. Inédito. URL.: <http://cabierta.uchile.cl>
- Zappettini, E. O., 1998. Mapa Metalogenético de la República Argentina, escala 1:2.500.000. E. O. Zappettini (ed.). Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR.

#### AGRADECIMIENTOS

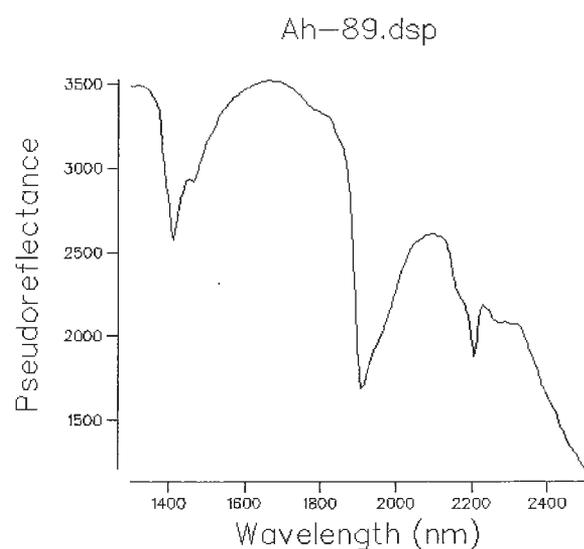
Los autores agradecen al Dr. Pablo Caffè y al Dr. Eduardo Zappettini la lectura crítica del manuscrito.

# Anexo I

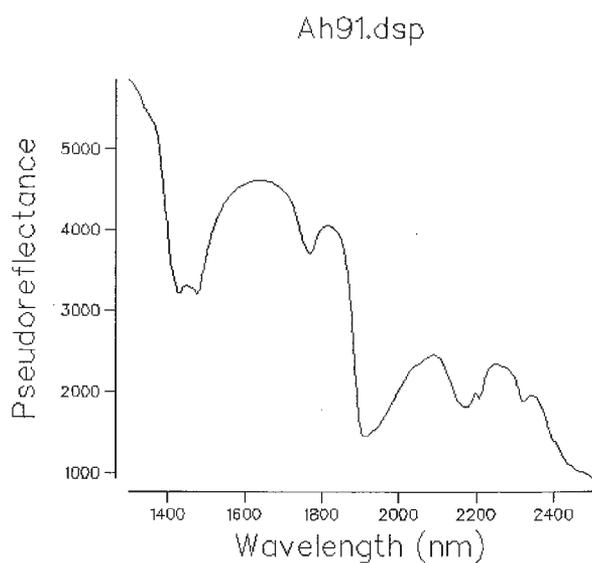
## ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA SWIR



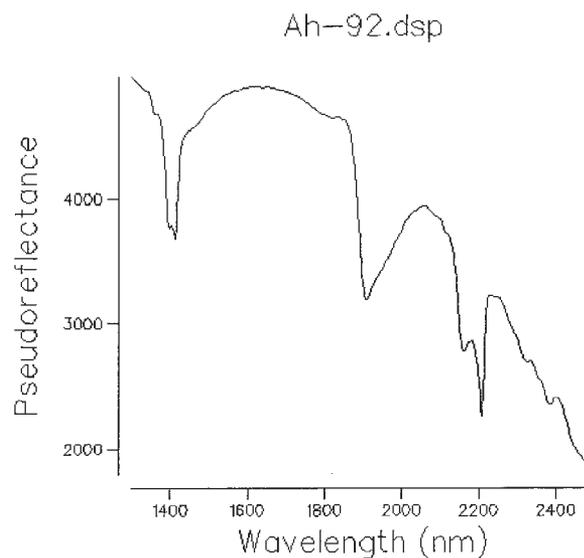
**Muestra AH87:** mezcla de nontronita (70%) con illita (30%) y muy exigua jarosita.



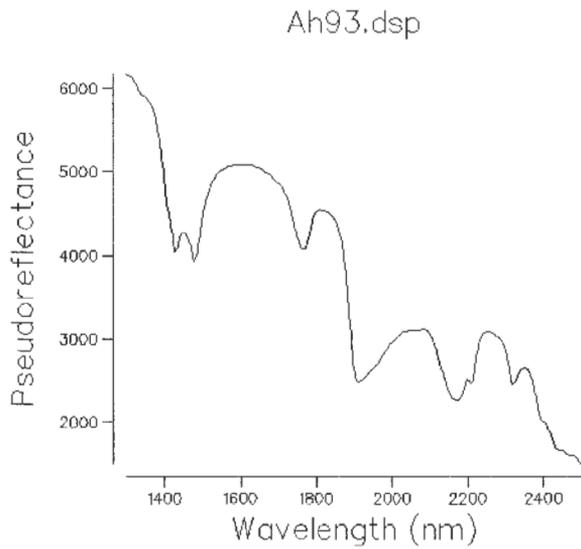
**Muestra AH89:** mezcla de jarosita (80%) e illita-smectita (20%).



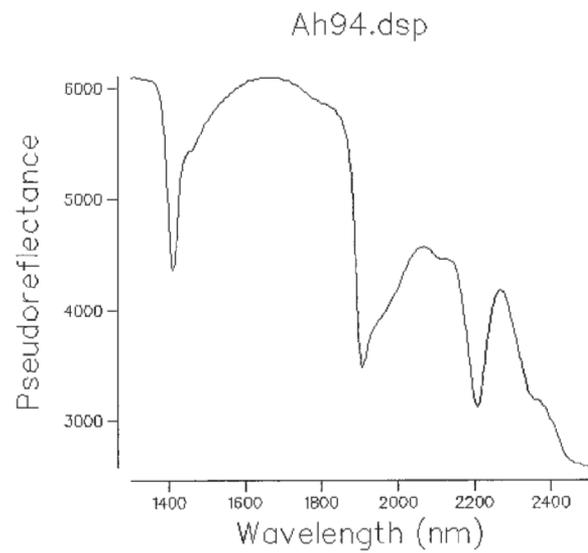
**Muestra AH91:** mezcla de alunita, illita y cuarzo.



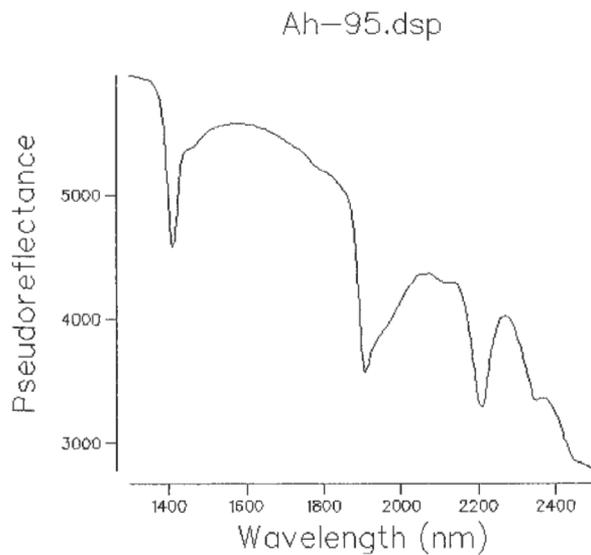
**Muestra AH92:** mezcla de caolinita (70%) e illita (30%).



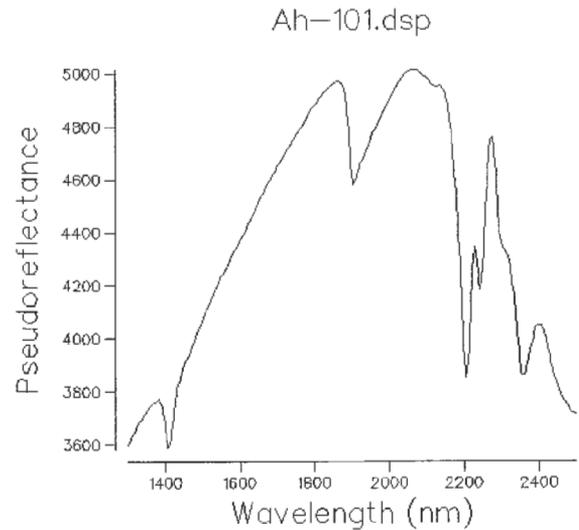
**Muestra AH93:** mezcla de alunita e illita.



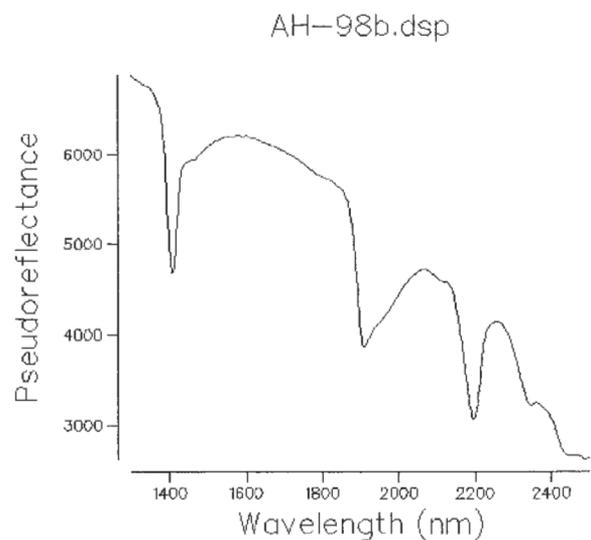
**Muestra AH94:** illita.



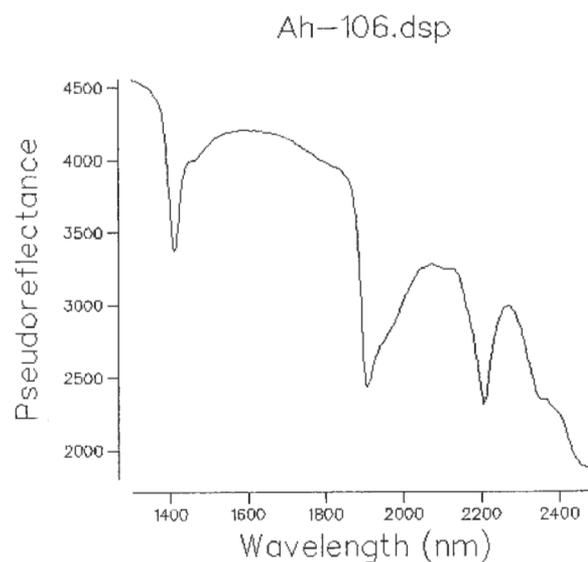
**Muestra AH95:** illita.



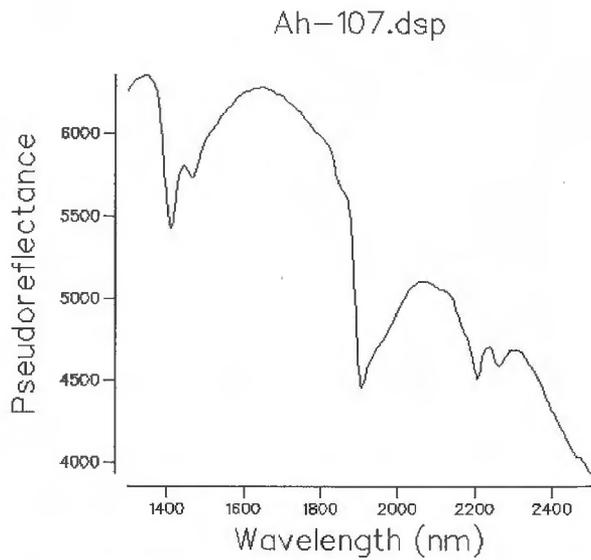
**Muestra AH101:** mezcla de illita (10%) con turmalina (90%).



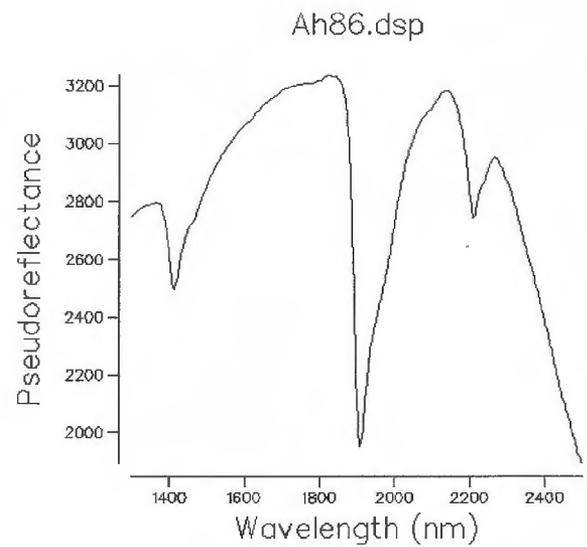
**Muestra AH98:** illita.



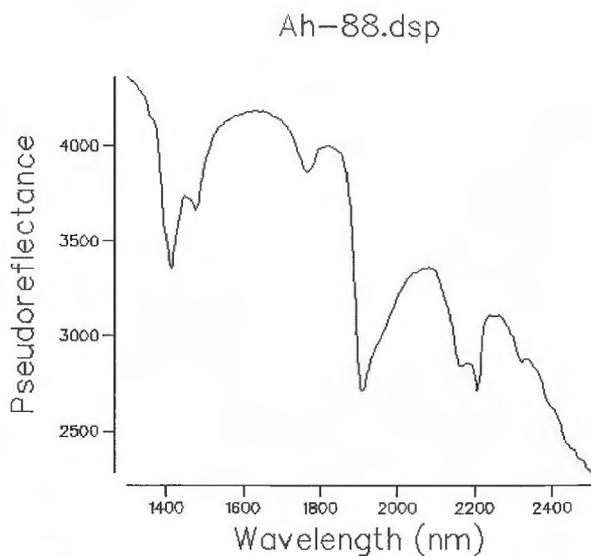
**Muestra AH106:** illita.



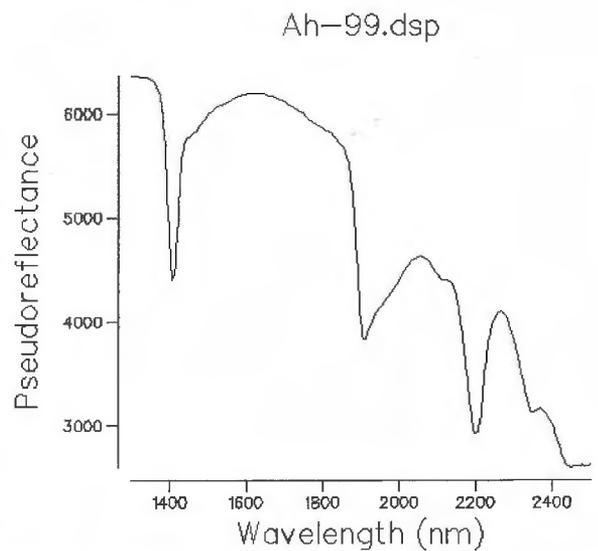
**Muestra AH107:** mezcla de illita (70%) con jarosita (30%).



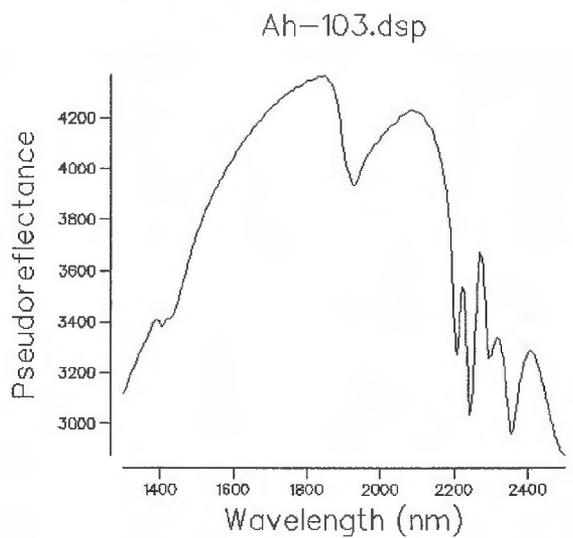
**Muestra AH86:** mezcla de montmorillonita (90%) y chamosita (10%).



**Muestra AH88:** mezcla de illita - esmectita (70%), alunita (20%) y caolinita (10%).



**Muestra AH99:** illita.



**Muestra AH103:** mezcla de turmalina (schorlita) (90%) e illita (10%).

## Anexo II

### DIFRACCIÓN DE RAYOS X

**Muestra AH87 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
10.0399	moscovita
4.0368	crystalita
3.6663	moscovita
3.5170	crystalita
3.3482	moscovita
3.2177	moscovita
2.9568	jarosita
2.7692	jarosita
2.5129	moscovita
2.3963	moscovita
2.3963	moscovita
2.2254	moscovita
2.1396	crystalita

**Muestra AH89 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
5.6755	jarosita
4.9238	moscovita
4.0368	crystalita
3.7354	moscovita
3.4767	moscovita
3.2063	moscovita
3.1078	crystalita
3.0557	jarosita
2.9760	jarosita
2.8465	jarosita
2.5615	jarosita
2.4859	crystalita
2.2794	jarosita

**Muestra AH91 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
4.9511	alunita
4.3079	moscovita
4.1106	moscovita
3.4901	alunita
2.9760	alunita
2.5061	alunita
2.2850	alunita

**Muestra AH92 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
7.1320	caolinita
4.3286	moscovita
4.0550	crystalita?
3.8470	caolinita
3.5728	caolinita
3.3359	moscovita
2.9568	moscovita o jarosita?
2.8378	crystalita
2.8377	crystalita
2.7609	caolinita
2.5615	caolinita
2.4926	crystalita
2.3779	caolinita
2.3363	moscovita
2.2906	moscovita

**Muestra AH93 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
4.8968	alunita
4.0550	crystalita (ajustar con la óptica)

**Muestra AH93 – Roca Total Corregido**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
5.7119	alunita
4.9511	alunita
4.0734	tridimita
3.4901	alunita
3.3482	tridimita
3.1400	tridimita
2.9760	alunita
2.8465	tridimita
2.4926	alunita
2.2684	alunita
2.2046	alunita

**Muestra AH94 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
10.0399	moscovita
5.0066	moscovita
4.4801	moscovita
4.2669	cuarzo
3.3482	cuarzo
3.0868	jarosita
2.5686	jarosita
2.4596	cuarzo
2.2794	jarosita
2.2360	jarosita
2.1300	jarosita

**Muestra AH95– Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
4.4801	moscovita
4.2669	cuarzo
3.3482	cuarzo
3.0868	jarosita
2.5615	jarosita
2.4596	cuarzo
2.3840	jarosita
2.2850	jarosita
2.2360	jarosita
2.1300	Jarosita

**Muestra AH97 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
10.0399	Moscovita
4.4801	Moscovita
4.2469	Cuarzo
3.3482	Cuarzo
2.5829	Moscovita
2.5544	Moscovita
2.4531	Moscovita
2.2794	Cuarzo
2.1300	Cuarzo

**Muestra AH98 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
4.4801	Moscovita
4.2467	Tridimita
3.3482	Tridimita
2.5758	Tridimita
2.5544	moscovita o tridimita
2.4596	tridimita-moscovita
2.2794	Tridimita
2.2360	Tridimita
2.1300	Tridimita

**Muestra AH101 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
10.0399	Moscovita
4.9787	Jarosita
4.2467	Tridimita
3.9832	Tridimita
3.3359	Tridimita
3.0763	Jarosita
2.5758	Cuarzo
2.5615	Jarosita
2.4531	Tridimita
2.2794	Cuarzo
2.2360	Jarosita
2.1300	Jarosita

**Muestra AH102 – Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
4.2267	Tridimita
3.9656	Tridimita
3.4502	Tridimita
3.3359	Tridimita
2.9473	Tridimita
2.5686	Tridimita
2.4531	Tridimita
2.3366	Tridimita
2.2739	Tridimita
2.2307	Tridimita
2.1252	Tridimita
2.0342	Tridimita

**Muestra AH106– Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
4.5026	Moscovita
4.2467	Cuarzo
3.7824	Moscovita
3.3482	Cuarzo
3.2291	Moscovita
2.6961	Moscovita
2.5758	Moscovita
2.4596	Cuarzo
2.2794	Cuarzo
2.2413	Moscovita
2.1300	Cuarzo

**Muestra AH105– Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
9.9274	Moscovita
4.4801	Moscovita
4.2467	Tridimita
3.3359	Tridimita
3.0763	Jarosita
2.5615	Moscovita
2.4531	Tridimita
2.2794	Jarosita
2.2360	Jarosita
2.1252	Jarosita

**Muestra AH107– Roca Total**

2d ( $\pm 0.02$ )	Mineral
5.0634	Jarosita
4.4801	Moscovita
4.2467	Moscovita
3.7666	Moscovita
3.4507	Moscovita
3.2177	Moscovita
3.1078	Jarosita
3.0660	Jarosita
2.9858	Jarosita
2.5686	Jarosita
2.5404	Jarosita
2.4531	Moscovita
2.2794	Jarosita
2.2360	Jarosita
2.1300	Jarosita

**Anexo III**  
**ANÁLISIS QUÍMICOS**

**Tabla 1. Análisis químicos multielementos \***

	Sample Ident	Wt	As	Au	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	Hg	Ir
	Scheme Code	NARES													
	Analysis Unit	grams	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppb						
	Detection Limit	0,1	0,5	2	50	0,5	3	1	5	1	0,2	0,01	1	1	5
57258a	UAHNOA0615	5,4	53,3	10	527	3,3	39	2	45	5	5,7	14,5	4	4	15
57258a	UAHNOA0616	5	130	7	549	-0,5	119	-1	45	7	4,8	1,55	5	3	36
57258a	UAHNOA0617	5,6	50,9	-2	615	12	71	1	33	4	1	2,62	7	3	24
57258a	UAHNOA0618	5,4	113	45	450	2,6	110	2	46	18	1,9	1,05	7	6	22
57258a	UAHNOA0621	5	17,8	10	364	9,8	87	-1	30	9	3,8	2,01	3	3	23
57258a	UAHNOA0622	5,7	67,4	8	386	3,6	62	2	26	20	1	6,33	5	5	-5
57258a	UAHNOA0623	5,4	229	23	230	2,8	80	-1	22	8	1	1,4	4	5	17
57258a	UAHNOA0624	5,6	240	12	541	0,8	109	-1	42	17	10,5	1,24	5	3	20
57258a	UAHNOA0625	5,7	18,2	15	479	2,1	63	-1	31	32	1	1,04	5	3	-5
57258a	UAHNOA0626	6,6	27,8	3	422	1	77	-1	58	42	2,9	4,37	5	5	11
57258a	UAHNOA0627	7,3	46,8	3	86	0,8	93	-1	30	46	2,9	1,27	5	3	10
57258a	UAHNOA0628	6,5	6	-2	451	2,1	36	15	72	15	3,8	5,01	4	3	30
57258a	UAHNOA0630	5,3	32,2	11	578	2,6	106	1	39	13	1,9	2,25	4	3	24
57258a	UAHNOA0631	6,3	6	14	728	2,3	86	13	60	66	1,9	4,81	4	2	-5
56952	UAH-91 DONCELLAS	6,7	370	30	1820	1,2	54	23	23	896	1,7	0,42	8	5	-5
56952	UAH-93 DONCELLAS	7,2	544	40	860	2,1	31	10	55	528	0,5	3,5	3	5	-5
56952	UAH-96	7,4	65,4	4	443	0,7	46	64	22	2	0,6	0,89	6	5	-5
56952	UAH-97	7	31,6	9	690	1,2	61	6	25	7	1,4	0,65	7	2	-5
56952	UAH-98	7	19,9	14	971	0,8	114	7	15	8	1,7	1,48	5	4	18
56952	UAH-99	7,7	51	-2	937	2,3	116	5	27	6	1,7	0,59	4	3	-5
56952	UAH-100	8,7	25	7	469	1	14	71	24	3	0,7	3,07	4	2	22
56952	UAH-102	8,3	85,6	4	536	1,8	35	10	16	5	0,8	0,88	4	3	43
56952	UAH-103	7,8	42,7	7	392	1,6	41	9	27	16	3	1,67	1	3	19
56952	UAH-104	8	294	14	511	3,3	56	4	51	24	1,5	13,7	4	2	-5
56952	DAH-104	8,1	294	13	525	3,4	55	3	50	23	1,5	13,7	4	1	-5

\* INAA

Tabla 1. Análisis químicos multielementos (continuación) - \*

	Sample Ident	La	Lu	Na	Nd	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	W	Yb
	Scheme Code	NARES														
	Analysis Unit	ppm														
	Detection Limit	0,05	0,05	100	5	5	0,1	0,1	3	0,1	0,5	0,5	0,2	0,5	1	0,2
57258a	UAHNOA0615	51,1	-0,05	2900	31	82	4,6	10,2	-3	8,4	1,6	-0,5	11,6	4,2	3	0,8
57258a	UAHNOA0616	68,3	0,43	2860	52	136	31,2	17,3	-3	7,8	1,3	1,6	15,9	6,9	9	1,8
57258a	UAHNOA0617	47,1	0,27	1540	20	60	6,4	11,9	-3	4,9	1	2,8	16,7	3,8	6	1,8
57258a	UAHNOA0618	63,4	0,48	677	17	106	7,8	19	-3	7,8	1,3	0,9	21,7	6,7	6	1,4
57258a	UAHNOA0621	55,4	-0,05	3760	15	150	2,6	10,2	-3	4,9	0,8	2	15,9	6,7	11	0,7
57258a	UAHNOA0622	35,9	0,22	274	26	126	21,2	12,2	-3	4,3	2,5	0,9	11,2	2,9	5	0,7
57258a	UAHNOA0623	43,3	0,25	838	25	119	37	8,8	3	4	1,6	1,1	16,7	3,8	14	0,7
57258a	UAHNOA0624	79,5	0,29	1560	43	129	33	10,2	-3	15	0,5	1,9	18,8	4,2	7	2,1
57258a	UAHNOA0625	34,7	0,57	7470	19	144	6	11,5	-3	3,5	1	1,5	18,8	6,5	7	1,1
57258a	UAHNOA0626	42,5	-0,05	7170	25	104	7,2	10,5	-3	7,2	0,5	2,3	15,2	4,7	9	2,1
57258a	UAHNOA0627	58,5	-0,05	1090	42	137	5,4	14,6	-3	6,9	1	0,8	14,8	11	8	1,4
57258a	UAHNOA0628	46,2	0,29	19979	10	173	1,6	14,9	-3	6,4	1,5	2,7	13	6	9	1,4
57258a	UAHNOA0630	57,4	0,46	1250	26	176	12,8	15,3	-3	6,6	1,3	2,5	18,8	5,4	4	1,8
57258a	UAHNOA0631	49,7	0,25	13799	28	96	3,6	12,9	-3	6,9	1,6	2,1	17,7	4,5	10	2,5
56952	UAH-91 DONCELLAS	54,8	0,7	5340	68	104	6540	0,5	4	2,4	2,5	-0,5	11,9	11,2	112	-0,2
56952	UAH-93 DONCELLAS	34	0,05	3830	12	37	346	10	-3	3,1	1,1	1,7	7,7	1	109	0,5
56952	UAH-96	35,1	0,2	567	17	92	37,4	5,1	-3	3,3	-0,5	-0,5	11	2,9	745	1
56952	UAH-97	65,2	0,2	917	42	84	19,8	10,5	-3	6,8	0,6	1,6	15,2	4,6	102	1,4
56952	UAH-98	86,6	0,4	1210	17	130	10,5	10,5	-3	10,7	1,1	0,6	9,7	0,6	72	0,9
56952	UAH-99	76,6	0,2	811	17	172	12	11,5	-3	10,4	-0,5	0,9	16,5	3,6	63	1,5
56952	UAH-100	8,04	0,53	145	12	20	58,4	3,3	-3	0,9	3,4	1,6	4	2,4	909	0,6
56952	UAH-102	25,4	0,4	2520	13	20	27,5	4,9	-3	4,1	1,3	1,9	6,6	3,3	124	0,7
56952	UAH-103	27,2	0,19	1320	16	24	57,8	5,4	-3	13,8	-0,5	2	5,5	1,9	212	0,6
56952	UAH-104	110	0,1	1230	12	84	104	8,2	-3	5,2	1	1,1	8,5	3,4	61	1
56952	DAH-104	107	0,1	1200	13	87	104	7,9	-3	5	0,9	1,1	8,5	3,3	59	0,9

\* INAA

Tabla 2. Análisis químicos multielementos - \*

Sample Ident	Wt	Ag	Al	Be	Bi	Ca	Cd	Cu	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Y	Zn
Scheme Code	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80	IC80
Analysis Unit	grams	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0,01	0,2	0,01		1	5	0,01	0,5	0,5	0,01	0,01	1	1	0,001	2	10	0,5	0,01	2	0,5	0,5
57258 UAHNOA0615	0,2	-0,2	4,43	-1	-5	0,25	1,8	10,5	3,08	0,42	54	-1	1	0,407	22	-10	117	0,32	205	7,1	45,9
57258 UAHNOA0616	0,2	0,3	7,86	3	21	0,27	1,2	9,3	5,36	0,34	-1	-1	4	0,206	37	-10	196	0,83	108	8,2	10,4
57258 UAHNOA0617	0,2	0,5	7,34	2	23	0,14	1,3	9,7	3,28	0,46	26	-1	4	0,137	22	-10	94,4	0,73	133	8,1	12,8
57258 UAHNOA0618	0,2	-0,2	7,77	3	29	0,09	0,7	5,2	2,77	0,69	113	2	3	0,188	3	-10	22,6	0,65	118	9,4	27,3
57258 UAHNOA0621	0,2	-0,2	7,69	2	21	0,11	-0,5	8,3	4,53	0,66	61	-1	3	0,073	18	-10	160	0,67	86	6	34,5
57258 UAHNOA0622	0,2	0,6	6,89	3	16	0,2	2,4	8,4	2,53	0,45	263	-1	2	0,156	1660	-10	32,9	0,56	130	7,2	234
57258 UAHNOA0623	0,2	0,7	6,49	3	15	0,05	2	11,9	2,38	0,49	210	-1	3	0,018	63	-10	28,7	0,45	98	5,5	12,3
57258 UAHNOA0624	0,2	-0,2	8,56	4	21	0,13	3,7	4,1	3,93	0,25	49	-1	2	0,201	14	-10	905	0,58	127	13,2	34
57258 UAHNOA0625	0,2	-0,2	8,6	2	19	0,09	1	7,4	4,51	0,5	41	-1	3	0,055	15	-10	234	0,56	113	6,4	26,9
57258 UAHNOA0626	0,2	-0,2	8,03	3	17	0,1	-0,5	14	2,11	0,6	64	-1	6	0,124	8	-10	207	0,52	137	8,1	55,3
57258 UAHNOA0627	0,2	-0,2	8,94	4	13	0,06	1,1	4,6	3,59	0,48	65	-1	3	0,142	41	-10	497	0,44	111	6,7	40,3
57258 UAHNOA0628	0,2	-0,2	8,12	3	10	3,25	-0,5	21,1	2,75	2,03	885	-1	25	0,156	14	-10	559	0,66	146	16,1	136
57258 UAHNOA0630	0,2	0,3	8,94	3	24	0,08	1	4	4,96	0,4	171	-1	4	0,146	97	-10	119	0,67	96	8,8	34,8
57258 UAHNOA0631	0,2	-0,2	7,63	4	15	3,02	-0,5	14,9	3,05	1,7	739	-1	15	0,16	11	-10	354	0,56	131	17,3	90,6
56952 UAH-91 DONCELLAS	0,2	0,6	-0,01	2	-5	0,39	3,5	3,3	2,16	0,05	267	-1	2	0,14	-2	-10	-0,5	0,4	123	4,7	54,7
56952 UAH-93 DONCELLAS	0,2	-0,2	-0,01	-1	12	0,15	5,8	9,3	1,73	0,02	95	15	2	0,16	106	21	635	0,29	107	2,8	23,8
56952 UAH-96	0,2	-0,2	0,62	1	16	0,06	0,5	9,1	0,26	0,17	142	11	3	0,02	18	29	55,5	0,55	46	4,3	35,1
56952 UAH-97	0,2	-0,2	8,03	2	8	0,08	0,7	5,1	3,14	0,56	8	-1	4	0,075	-2	14	192	0,6	121	7,2	15,2
56952 UAH-98	0,2	-0,2	7,72	2	9	0,17	-0,5	10,9	3,18	0,41	27	1	3	0,295	25	11	981	0,41	129	6,2	34
56952 UAH-99	0,2	-0,2	8,63	2	-5	0,07	1,8	3,8	3,56	0,45	8	-1	4	0,06	27	-10	137	0,29	119	16,3	7,6
56952 UAH-100	0,2	-0,2	-0,01	-1	-5	0,02	-0,5	8,9	0,09	-0,01	10	4	2	0,015	22	-10	90,3	0,28	19	1,6	7,2
56952 UAH-102	0,2	-0,2	7,08	5	26	0,28	-0,5	7,9	0,09	1,81	131	-1	3	0,035	29	-10	294	0,38	85	6,8	24,3
56952 UAH-103	0,2	-0,2	10,6	4	-5	0,7	0,7	7,5	5,17	0,15	50	-1	5	1,255	181	-10	162	0,1	58	5,6	76,1
56952 UAH-104	0,2	-0,2	5,35	2	-5	0,06	4,3	36,4	2,13	0,53	60	6	-1	0,245	19	15	157	0,34	119	7,1	15,8
56952 DAH-104	0,2	-0,2	5,34	2	-5	0,06	4,5	37,4	2,08	0,53	59	5	-1	0,245	20	15	153	0,35	120	6,8	10

\* ICP

Tabla 3. Análisis químicos óxidos

Sample Ident	Wt	SiO2	Al2O3	CaO	Na2O	K2O	Fe2O3	MgO	MnO	TiO2	P2O5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	LOI	Sc
Scheme Code	IC100																		
Analysis Unit	grams	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Detection Limit	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2	2	2	2	2	20		2
57257 AH-91 DONCELLAS	0,1	63,4	11,3	0,54	0,5	2,62	0,35	0,09	-0,01	0,64	0,29	32	1140	7	107	15	1440	18,4	9
57257 AH-93 DONCELLAS	0,1	58	11,9	0,24	0,92	2,09	4,98	0,04	0,02	0,59	0,35	37	633	7	107	6	863	19,6	11
57257 AH-97	0,1	71,8	16,1	0,15	0,11	3,7	0,58	0,83	-0,01	0,77	0,26	160	276	15	174	29	679	4,3	10
57257 AH-99	0,1	69,9	16,4	0,07	0,1	3,89	1,05	0,75	-0,01	0,86	0,1	174	115	23	193	31	1250	4,6	12
57257 AH-102	0,1	73,3	17,9	0,48	0,61	-0,01	2,23	4	0,03	0,72	0,08	3	331	16	169	26	137	2,1	11

