

**INVESTIGACIONES DE METALES
PRECIOSOS EN EL COMPLEJO
VOLCANICO NEOGENO-CUATERNARIO
DE LOS ANDES CENTRALES**

Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL);
Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile (SERNAGEOMIN);
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú (INGEMMET)
U.S. Geological Survey (USGS)

Auspiciado por
El Banco Interamericano de Desarrollo

Marzo 1993

INVESTIGACIONES DE METALES PRECIOSOS EN EL COMPLEJO VOLCANICO NEOGENO-CUATERNARIO DE LOS ANDES CENTRALES

CAPITULO VI

RECONOCIMIENTO GEOLOGICO E INVESTIGACIONES DE DEPOSITOS DE MINERALES EN EL AMBIENTE VOLCANICO NEOGENO Y CUATERNARIO DEL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, SUR DEL PERU

*por César Vilca N., Rubén Tejada G.,
Luis Quispesivana Q., y Néstor Chacón A.*
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú.

RECONOCIMIENTO GEOLOGICO E INVESTIGACIONES DE DEPOSITOS DE MINERALES EN EL AMBIENTE VOLCANICO NEOGENO Y CUATERNARIO DEL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, SUR DEL PERU

por César Vilca N., Rubén Tejada G., Luis Quispesivana Q. y Néstor Chacón A.
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú.

INTRODUCCION

El presente informe es el resultado del estudio de reconocimiento de un área cubierta por tres cuadrantes de 2 escenas del Thematic Mapper, mayormente de las partes altoandinas del departamento de Arequipa y que se extiende hacia los departamentos adyacentes de Ayacucho y Cuzco (Fig. 1). El área de estudio comprende aproximadamente 24,000 km.

El estudio fue parte del Programa Internacional de Adiestramiento para la Investigación de Recursos Auro-argentíferos en 300,000 km² en rocas volcánicas neógenas y cuaternarias de los Andes Centrales. Este programa ha sido financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y fue llevado a cabo por las Instituciones Geológicas Nacionales de Perú (INGEMMET), Bolivia (GEOBOL) y Chile (SERNAGEOMIN), con el asesoramiento del U. S. Geological Survey (USGS), durante el período de Junio de 1990 a Diciembre de 1992.

El área de estudio fue seleccionada por la presencia de rocas volcánicas huéspedes, yacimientos epitermales de metales preciosos, algunos de los cuales fueron explotados durante la época de la Colonia, y por que el área posee un

potencial significativo para el descubrimiento de nuevos yacimientos de metales preciosos. Las principales minas en operación (1992) son : Arcata, Caylloma, Orcopampa, y Shila. Estas minas y otros depósitos conocidos consisten principalmente de vetas bien definidas que fueron fácilmente localizadas. Las abundantes zonas de alteración hidrotermal en esta región, que parecen no tener depósitos explotables en superficie, podrían tener yacimientos económicos "ciegos" en profundidad. En consecuencia los mayores esfuerzos estuvieron dirigidos a ubicar tales zonas de alteración.

El área de estudio (Fig. 1) es principalmente una altiplanicie volcánica con alturas entre 3,000 m a 5,000 m, donde destacan algunas cumbres sobre los 6,000 m (Coropuna y Ampato). La parte Sur del área está disectada por profundos cañones, donde los mayores sistemas de drenaje tales como el Río Ocoña, Río Majes, y Río Colca comienzan su brusco descenso hacia la Costa Pacífica. También están presentes muchos centros volcánicos, estrato-volcanes, calderas, y domos en distintos estadios de erosión.

Las poblaciones y centros mineros del área son accesibles desde Arequipa (Fig. 1) por carreteras afirmadas. La erosión en el área de estudio durante el Cuaternario y el Holoceno ha sido signific-

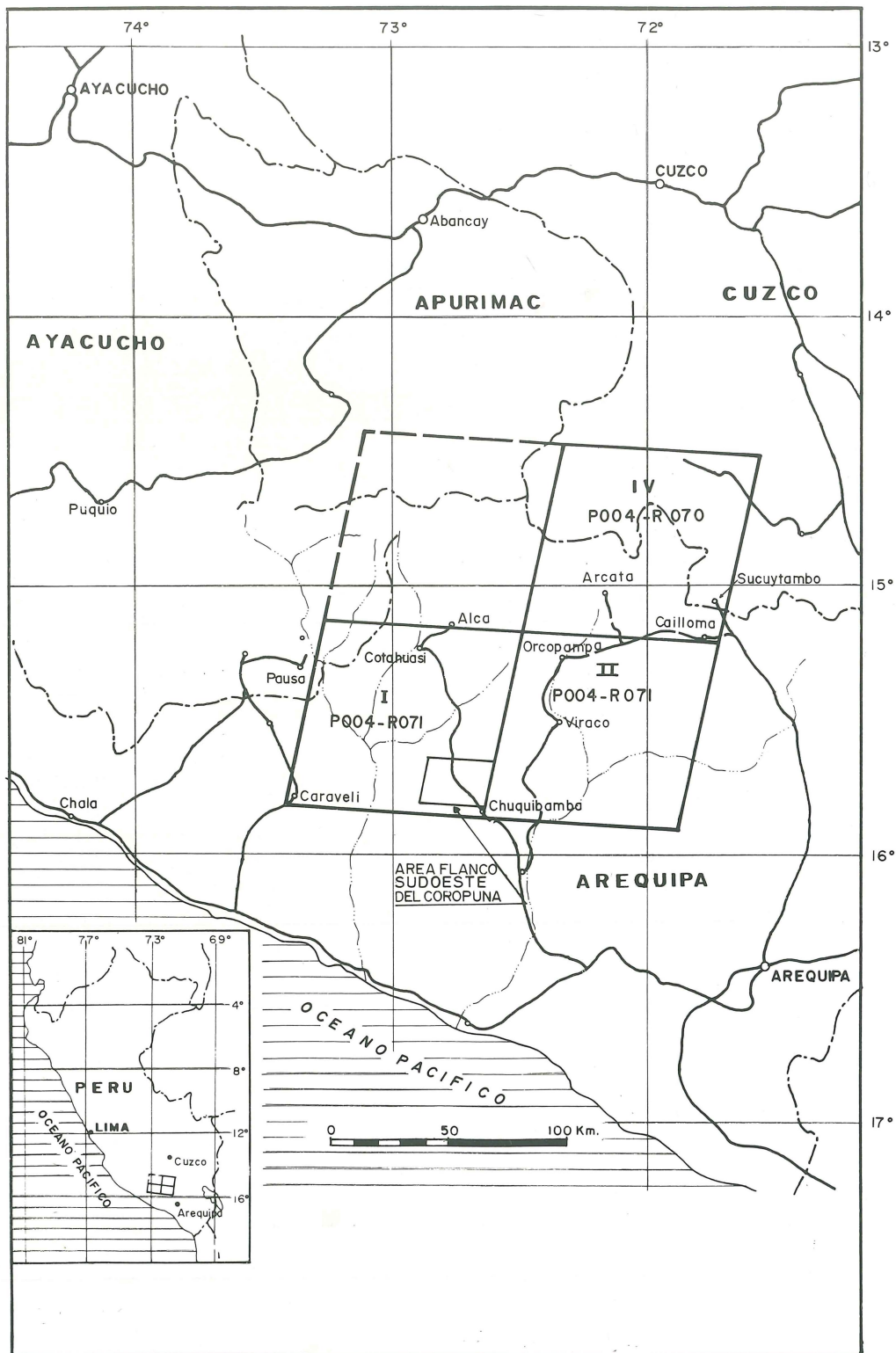


Figura 1.— Mapa de ubicación de la región Arequipa, sur del Perú, mostrando la ubicación de las imágenes TM y los cuadrantes trabajados. Escena P-004 R-071, cuadrante I, II, escena P-004 R-070 cuadrante IV.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO		Depósitos aluviales Q		
			Depósitos morrénicos Q-m		
			Depósitos glaciales Q-g		
			Volcánico Andahua Qr-va		
		----- DISC. EROS. -----			
	TERCIARIO	SUPERIOR		Grupo Barroso TQ-ba	
				----- DISC. EROS. -----	
			Volcánico Sencca Ts-se		
			----- DISC. EROS. -----		
		MEDIO		Formación Huaylillas Tm-hu	
			Volcánico. Alpbamba Tm-a		
	----- DISC. EROS. -----				
INFERIOR		Grupo Tacaza -Tim to			
		----- DISC. EROS. -----			
		Formación Caravelí Ti-cv			
		Formación Huanca Ti-hu			
	----- DISC. ? -----				
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Formación Seraj Ks-se	Pórfidos dacíticos T-da Batolito Santo Tomás KT-tdi Batolito de la Costa KTi-tgd	
			Formación Arcuquina Km-ap		
		INFERIOR	Formación Murco Kl-mu		
			Grupo Yura JK-yu		
	JURASICO	SUPERIOR	----- DISC. EROS. -----		
			Formación Socosani Jm-so		
		INFERIOR	Volcánico Chocolate Ji-ch		
			----- DISC. ANG. -----		
PALEO-ZOICO		INFERIOR	Grupo Ongoro Pl-o		
	----- DISC. ANG. -----				
PROTERO-ZOICO	PRECAMBRICO		Complejo Basal PE-gn		

Figura 2.— Columna estratigráfica de las formaciones expuestas en el área de estudio.

Rocas pre-terciarias

ativamente mayor que hacia el Sur del Perú, Norte de Chile y en la parte mas Occidental de Bolivia, y como consecuencia ninguno de los estratos volcanes del Terciario tardío muestran conos volcánicos bien preservados como muchos de ellos hacia el sur en Bolivia y Chile. No existen volcanes activos en el área estudiada, pero están presentes cerca a la ciudad de Arequipa.

Los estudios previos publicados incluyen mapas geológicos de parte de las áreas de estudio a la escala de 1:100,000 y descripciones de las minas en operación. El cuadrángulo de Arequipa fué mapeado por Jenks (1948), y los mapas geológicos de los cuadrángulos usados en la preparación del presente informe incluyen: Cuadrángulos de Huambo y Orcopampa (Caldas, 1975); Cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi; (Olchouski, 1973); Cuadrángulos de Pausa y Caravelí (Pecho, 1983); y Cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas (Marocco, 1975).

Los reportes sobre yacimientos de metales preciosos incluyen aquellos que describen a Arcata (Candiotti et al., 1990; Fornari y Vilca, 1979), y Orcopampa (Arenas, 1975). Los reportes de nivel regional que dan breves descripciones de algunos yacimientos y/o edades de mineralización y roca huésped incluyen a Silberman et al., (1985); McKee and Noble (1990), Noble et al., (1990) y Fletcher et al., (1989). Las investigaciones en las cuales se basa este informe incluyen compilaciones de mapas geológicos de los tres cuartos de la escena TM (Fig. 3 y 5), la preparación de los mapas de lineamientos (Fig. 6 y 8) y los mapas que muestran las zonas de alteración hidrotermal (Fig. 9 y 11) con la ayuda de las imágenes de satélite del Thematic Mapper. Adicionalmente, un área del flanco suroccidental del Nevado Coropuna (Fig. 13) fue mapeada geológicamente y fueron colectadas muestras geoquímicas de una de las tres mayores zonas hidrotermales en esta área. Los análisis químicos por espectrometría de absorción atómica (AAS) fueron efectuados en los laboratorios del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET), además de análisis especiales por AAS y Análisis Instrumental por Activación Neutrónica (INAA) efectuados en los Laboratorios del U.S. Geological Survey. Las secciones delgadas de las rocas para los estudios petrográficos fueron preparadas por INGGEMMET. Las determinaciones por edades radiométricas (K/Ar) para 6 muestras de rocas fueron efectuadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.

Consisten de reducidos afloramientos de rocas metamórficas precámbricas, y paleozoicas, e intrusivas y de una amplia distribución de rocas sedimentarias marinas Jurásico-cretácicas con escasas rocas volcánicas (Fig. 2). Los mapas geológicos (Figs. 3-5) están compilados de los mapas de Olchouski, 1973., Caldas, 1975., Pecho, 1983, que fueron modificados con los datos del TM con el objeto de simplificarlos para este informe. Las rocas precámbricas y paleozoicas están agrupadas en una sola unidad "P" de la misma manera que las mesozoicas en "M".

Las rocas metamórficas del basamento, "Complejo Basal" (Fig. 2) de Bellido et al., (1960), consisten en gneises, granitos potásicos, diques de composición básica a intermedia, y cuerpos de pegmatitas tabulares que afloran al noreste de Caravelí (Fig. 1) y en el Cerro Gandolfo (Fig. 4). Se tiene dataciones radiométricas Rb/Sr de tipos similares de rocas metamórficas en áreas próximas con edades entre 600 y 2,000 Ma (Cobbing et al., 1977; Shackleton et al., 1978). En la parte este y sureste de Chuquibamba (Fig. 1), en las vecindades de Choco (margen derecha del Rio Colca) las rocas metamórficas están cubiertas por el Grupo Ongoro (Fig. 2) que es una secuencia de lutitas negras débilmente metamorfizadas con intercalaciones de esquistos grises a verdes considerados como del paleozoico inferior (Olchouski, 1973). Estas dos unidades están separadas por una discordancia angular.

Seis formaciones de edad jurásica-cretácica están identificadas en el área de estudio, las que de las más antiguas a las más modernas son : Volcánico Chocolate, Formación Socosani, Grupo Yura, Formación Murco, Formación Arcurquina, y Formación Seraj (Fig. 2). El Volcánico Chocolate que aflora al sureste de Pausa (Fig. 1) consiste de rocas volcánicas andesíticas púrpura a gris rojizo con un horizonte interestratificado de areniscas verdes fosilíferas; Olchouski (1980) reportó fósiles que indican que esta formación es del Jurásico inferior. La Formación Socosani suprayacente consiste de una secuencia de calizas grises con intercalaciones de lutitas, esporádica cuarcita, y lavas andesíticas que afloran principalmente a lo largo del margen izquierdo del Rio Marán y al noreste y sureste de Pampacolca (Fig. 3 y 4). Los

fósiles de esta formación indican una edad del Jurásico medio. El Grupo Yura suprayacente, separado de la Formación Socosani por una discordancia erosional, consiste de intercalaciones de areniscas, lutitas, y cuarcitas, conteniendo fósiles que indican una edad jurásica superior (Titoniano) a cretácica inferior (Neocomiano). Este grupo aflora en farellones conspicuos a lo largo de los ríos Cotahuasi, Marán, Colca, Andahua al Oeste de Caylloma (Figs. 3-5). La Formación Murco de edad Neocomiana, a probablemente Albiana, sobreyace concordante al Grupo Yura, y consiste de intercalaciones de lutitas rojas y areniscas grises con capas de yeso. Esta formación aflora al oeste y suroeste de Cotahuasi, sureste de Pampacolca, margen derecha del río Andahua, al Sureste y Oeste de Orcopampa y en las proximidades de Huambo. Suprayacente la Formación Arcurquina, consiste de calizas debajo de la secuencia de intercalaciones de arenisca roja microconglomerados, y calizas de la Formación Seraj, ambas son de probable edad cretácica tardía. La Formación Seraj ha sido ampliamente erosionada y en algunos lugares está ausente y las rocas terciarias sobreyacen a la Formación Arcurquina. Estas formaciones afloran principalmente a lo largo de los ríos Cotahuasi, y Marán y en el área entre Andahua, Pampacolca, y Huambo (Figs. 3-4).

Rocas volcánicas y sedimentarias de edad terciaria y cuaternaria

El Terciario está caracterizado por la presencia de dos secuencias de rocas. El Terciario inferior consiste principalmente de rocas sedimentarias clásticas continentales, mientras el Terciario medio y superior consiste de rocas volcánicas. La unidad terciaria inferior, la Formación Huanca (Fig. 2) está separada de las rocas cretácicas infrayacentes, por una discordancia angular. Las rocas cretácicas consisten de intercalaciones de areniscas, lutitas, y conglomerados que afloran sólo en las vecindades de Huambo (Fig. 4), la Formación Caravelí que la sobreyace consiste de horizontes lenticulares de areniscas tobáceas y conglomerados que fueron depositados en una cuenca intra-andina durante el levantamiento y erosión intensa de áreas marginales a esta cuenca. Separado por una discordancia angular sobreyace el Grupo Tacaza del Terciario inferior a medio. Es la base de esta unidad volcánica y consiste de tufos andesíticos,

dacíticos, riolíticos, lavas, y brechas. Muchos de los depósitos de metales preciosos en el sur del Perú están en las rocas volcánicas de este grupo. Tal es el caso del distrito de Orcopampa donde Noble et al., (1972) describieron las siguientes unidades del Grupo Tacaza, de la más antigua la más reciente : (1)"Toba Pisaca" — tufo riolítico a latítico; (2)"Brecha Santa Rosa" — brecha volcánica andesítica a riolítica, verde a violeta, (3)"Toba Manto" — Tufo soldado; (4)"La Lengua" — tufo riolítico lacustrino con capas calcáreas; (5)"Dacita Manto" — lava dacítica porfirítica.

De acuerdo a Noble et al., (1974) por dataciones radiométricas (K/Ar) a la unidad basal de esta secuencia se le asigna 19.1 ± 0.3 Ma y 18.9 Ma para las unidades superiores.

Separado por una discordancia erosional sobre el Grupo Tacaza sobreyacen tufos riolíticos a dacíticos blancos y brechas tufáceas. Esta unidad volcánica puede ser correlacionada con los tufos de la parte norte de Chuquibamba (Fig. 3) que está datado (K/Ar) en 13.8 ± 0.3 Ma y la Formación Huaylillas datado en 14.8 a 16.8 Ma (Parodi, 1975; Caldas, 1975). Esta formación está ampliamente expuesta al norte de Caravelí (Fig. 3) donde consiste principalmente de tufos riolíticos a dacíticos. Sobreyace a la Formación Huaylillas una secuencia de tufos dacíticos a riolíticos denominados como Volcánicos Sencca que afloran al sur y suroeste de Caylloma y al noreste de Pausa (Fig. 3). Esta secuencia de tufos puede correlacionarse con el sillar de Arequipa, para el cual se tiene varias edades radiométricas (K/Ar) que dan un promedio de cerca de 3 Ma (Olchanski, reporte inédito, 1973). El Volcánico Barroso del Pleistoceno (Wilson y García, 1962) consiste principalmente de lavas andesíticas que están datadas radiométricamente en 1.3 ± 0.11 Ma (Misión Japonesa, reporte inédito, 1988) y 2.3 Ma (Arenas, 1974). En el área de estudio las rocas volcánicas del Barroso afloran principalmente en las proximidades de los nevados Coropuna, Solimana, Sabancaya, Ampato, y Hualca Hualca, entre el río Cayarani y Apurímac, (Figs. 3-5). Los Volcánicos Andahua son las rocas volcánicas más recientes en el área de estudio de probable edad holocena, consisten de lavas andesíticas frescas y pequeños conos volcánicos y conos de ceniza que afloran principalmente en las vecindades de Andahua al sureste de Orcopampa, además en Pausa, y los nevados Firura y Coropuna (Fig. 3 y 4).

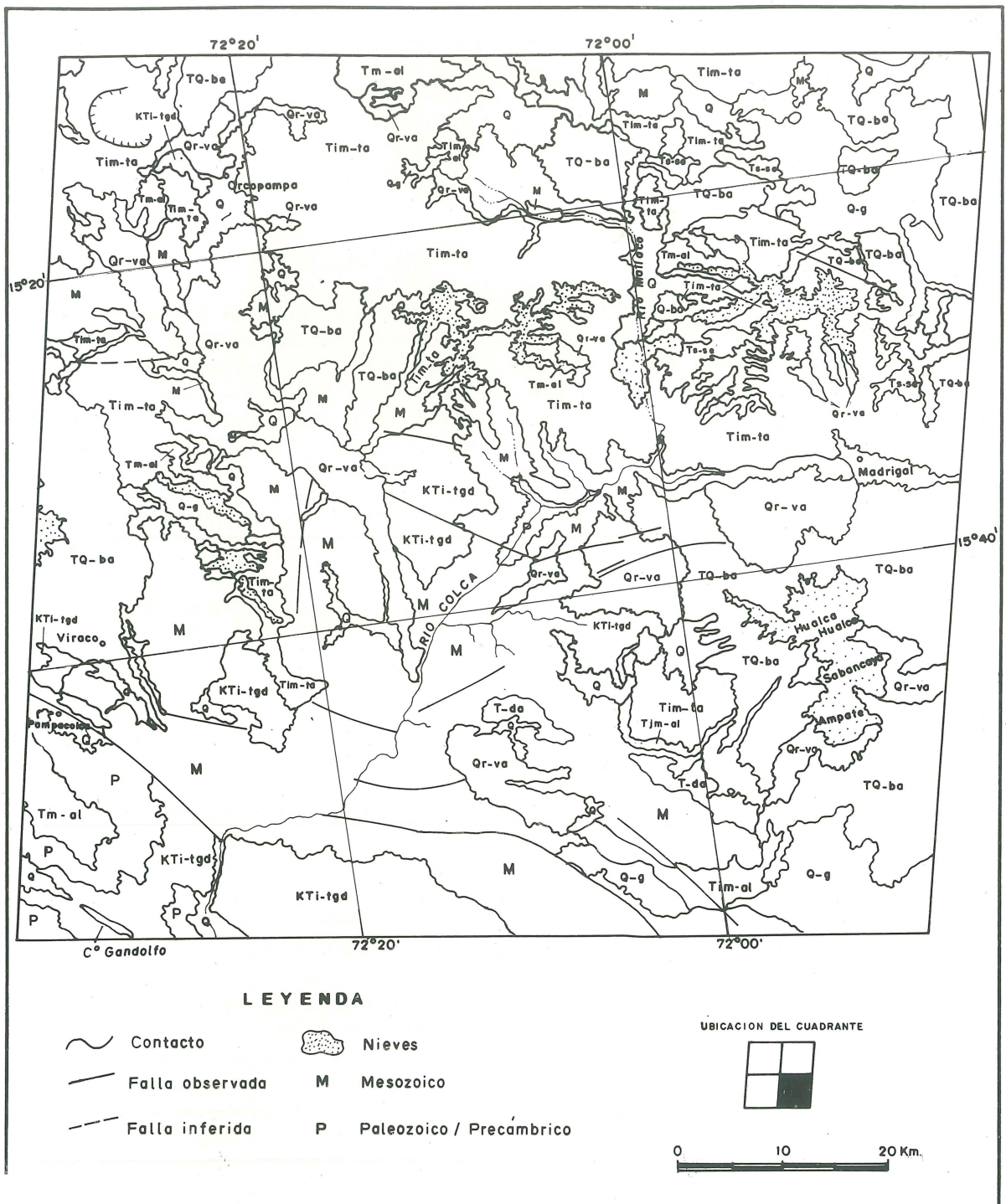


Figura 4.— Mapa geológico basado en imagen de satélite LANDSAT (TM), cuadrante II, escena P-004 R-071/(Fig. 1). (Símbolos de las formaciones están descritos en figura 2).

Rocas intrusivas de edad cretácica y terciaria

Las rocas intrusivas del área de estudio incluyen rocas batolíticas relacionadas al Batolito de la Costa del Perú y pequeños stocks y diques. Las rocas batolíticas de la unidad Incahuasi y Tiabaya están expuestas en la parte meridional del área de estudio, al sur entre Caravelí y el río Ocoña y sureste de Chuquibamba (Fig.1). Consisten de tonalitas, granodioritas, y dioritas. Por determinaciones radiométricas de una muestra de la unidad Incahuasi, esta tiene cerca de 95 Ma y para la unidad Tiabaya 80 Ma (Pitcher and Cobbing, 1977, 1978); por lo tanto ambas unidades son cretácicas. El Batolito de Santo Tomás que está expuesto al este de Cayarani (Fig. 5) en la parte septentrional del área de estudio, también consiste de granodioritas, tonalitas, y dioritas. La edad de esta intrusión no está determinada pero por intruir y alterar al Volcánico Tacaza se asume que sea del Terciario medio a superior.

En el área de estudio se encuentran stocks y diques dentro de los distritos mineros, la mayoría ocurren en el Grupo Tacaza, se asume que la mayor parte son del Terciario medio a superior y son principalmente de composición dacítica con textura porfírica. Algunos de los stocks, tales como los de Orcopampa tienen formas de conos o de hongos y pueden actualmente ser domos antes que stocks.

Rasgos estructurales

Los mapas que muestran los lineamientos (Fig. 6 y 8) fueron preparados con la ayuda de las imágenes TM, mejoradas por procesamiento. Los rasgos lineales en estos mapas son debidos a fallas regionales y contactos entre diferentes formaciones rocosas, pero en algunos casos son rasgos morfológicos que no pueden estar relacionados a las estructuras litológicas expuestas. Algunos de los rasgos concéntricos que se muestran en los mapas son calderas, otros son estrato-volcanes en diferentes grados de erosión, y existen algunos, que no fue posible visitar, por lo tanto su origen es aún desconocido. En esta región, los yacimientos minerales emplazados, están relacionados a centros eruptivos — calderas, domos, estrato-volcanes — a fallas regionales, y zonas de fracturamiento. Por consiguiente, el conocimiento de la distribución y característica de estas estructuras

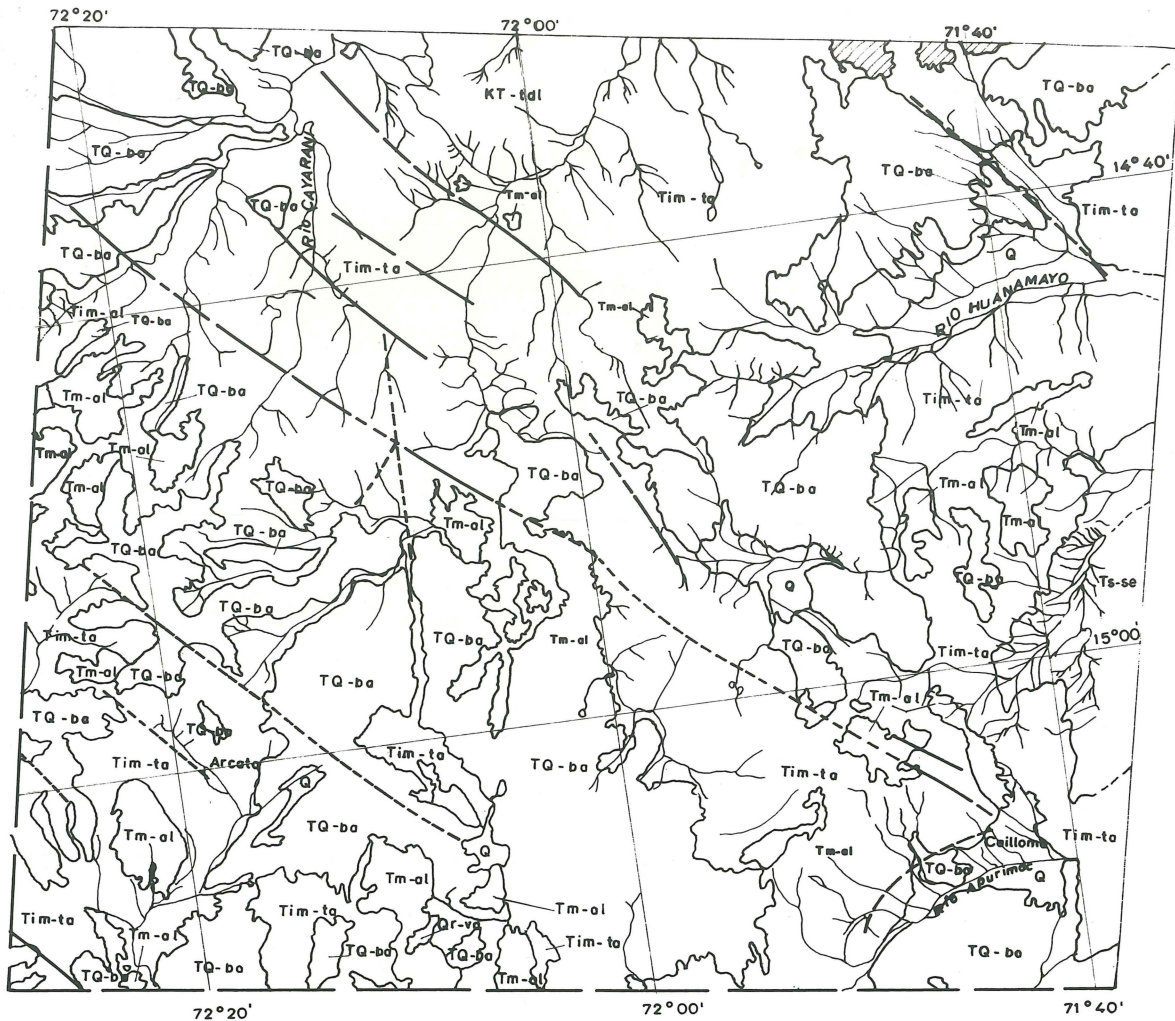
constituyen una guía especial para la exploración minera.

El tiempo disponible para el estudio de campo fue insuficiente para permitir una evaluación crítica de la relación entre todas estas estructuras y los depósitos minerales conocidos. Sin embargo, se pudo determinar los rasgos característicos de muchas de estas estructuras.

Estructuras lineales

Para los fines del presente estudio, se definieron dos sistemas de estructuras lineales, longitudinales y transversales. Se pudieron reconocer dos sistemas dominantes de lineamientos longitudinales en las imágenes TM, una con rumbo N 75°-85°W y otra de rumbo Norte a N 40°W (Figs. 6-8). De igual modo, se reconocieron dos sistemas de lineamientos transversales, uno con rumbo N 30°-75°E y otro N 80°-90°E. Muchos de estos lineamientos están relacionados a pliegues y fallas, que se desarrollaron durante el levantamiento andino y se plegaron durante la Fase Incaica (Oligoceno) de la Orogenia Andina.

Los lineamientos longitudinales señalan las trazas de varias de las fallas principalmente dentro del área de estudio, de las cuales las más importantes son Falla Pampacolca, Falla Andahua, Falla Molloco, y Falla Shila. De acuerdo a Vicente, (1978) algunas de éstas y otras fallas al sur del Perú, que actualmente muestran movimiento inverso, se originaron como fallas normales durante la fase inicial de la Orogenia Andina y luego cambiaron a fallas inversas durante la Fase Incaica. La Falla Pampacolca, de la esquina sureste del Cuadrante II TM (Fig. 7), es una falla normal, con rumbo N 30°W y buzamiento hacia el S. Esta falla puede ser seguida hacia el norte hasta las cercanías del Nevado Coropuna, donde está cubierta por lavas del Volcánico Barroso. La Falla Andahua, la cual se extiende a lo largo del Valle del mismo nombre, muestra una traza curva, teniendo en el sur un rumbo aproximado de N 10°W, cambiando hacia el norte a N45°W (Fig. 6). Los Volcánicos de Andahua del Holoceno fluyeron a lo largo de esta falla. La Falla Molloco (Fig. 7), que se extiende a lo largo del río Molloco, tiene un rumbo N 5°W y buzamiento abrupto al W. Esta falla afecta a la cobertura volcánica del Terciario (Grupo Tacaza y Volcánicos Alpbamba) presentes en esta parte del área de estudio, y se encuentra



LEYENDA

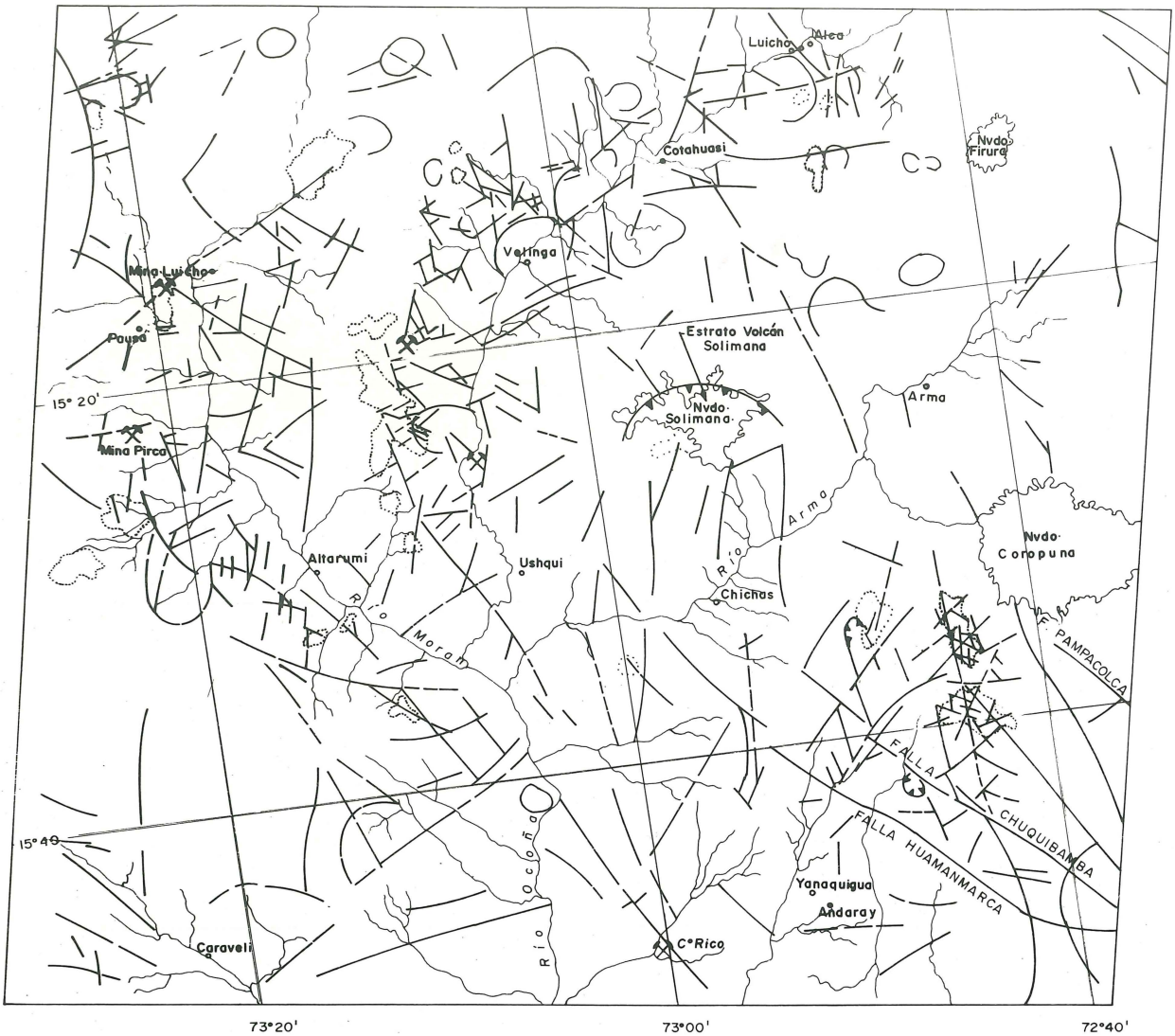
- | | | | |
|---|-----------------|---|--------|
|  | Contacto |  | Nubes |
|  | Falla observada |  | Nieves |
|  | Falla inferida | | |

UBICACION DEL CUADRANTE










0 10 20 Km.

Figura 5.— Mapa geológico basado en imagen de satélite LANDSAT (TM), cuadrante IV, escena P-004 R-070. (Símbolos de las formaciones están descritos en figura 2).



LEYENDA

- | | | | |
|---|----------------------|---|-------------------|
|  | Lineamiento |  | Estrato volcán |
|  | Lineamiento inferido |  | Conos volcánicos |
|  | Estructura circular |  | Anomalia de color |
|  | Caldera (Cld) | | |

UBICACION DEL CUADRANTE

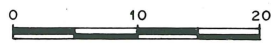


Figura 6.— Mapa de lineamientos, cuadrante I, escena P-004 R-071 (Fig. 1).

cortada por numerosas fallas transversales menores. La Falla Shila (Fig. 8), con un rumbo aproximado de N 45°W, puede ser seguida por más de 100 km. De acuerdo a información verbal de Paredes (1991), existen a lo largo de esta falla esporádicas ocurrencias de minerales metálicos.

Las fallas transversales, que tienen menor persistencia, son importantes debido a que ellas contienen las principales estructuras mineralizadas en los distritos mineros del área de estudio. Entre las fallas mineralizadas del sistema N30°-70°E están la mayoría de las vetas de rumbo NE del distrito de Caylloma; la mayoría de las vetas de rumbo N50°-70°E de los distritos mineros de Orcopampa, Sucuytambo, y San Miguel; la estructura principal de la Mina Madrigal (Veta Santa Rosa) y las vetas de rumbo N50°E de las Minas Luicho y Piccha.

Las fallas con tendencia N80°-90°E facilitaron las erupciones de algunas de las rocas volcánicas más recientes (Volcánicos Barroso y Andahua), y parecen no estar relacionados a los depósitos minerales conocidos por ser mucho más recientes.

Las fallas Huambo y Cabanaconde, en el cuadrante II de la escena TM (Fig. 7), son paralelas, con un rumbo hacia el E y buzamientos aproximados de 60°S. Estas forman escarpes prominentes con una altitud promedio de 10 m originadas por movimientos muy recientes, dichos escarpes resaltan en las imágenes TM.

Estructuras circulares

Durante los trabajos de campo se investigaron sólo algunos de los rasgos concéntricos que ocurren en el área de estudio (Fig. 6 y 8). De los reconocidos, todos parecen estar relacionados a calderas y estrato-volcanes erosionados y otros probablemente estén relacionados a estructuras volcánicas similares, pero aún existen otros que pueden estar relacionados a domos volcánicos ó tectónicos, ó a rasgos erosionales ó tectónicos, no reconocidos.

Entre las calderas que se han descrito tenemos las de Hualca Hualca, Caylloma, Chonta, y Kenko. Estas calderas, que son generalmente de configuración ovalada, tienen diámetros máximos que oscilan entre 14 a 30 km. A pesar que se formaron, evidentemente durante el Terciario medio a superior, solamente las Calderas de Chonta, y Caylloma han sido datadas

radiométricamente en 11.8 Ma y 4 Ma, respectivamente, (Petersen et al., 1983; Silberman et al., 1985). Los principales estrato-volcanes que aparecen como rasgos concéntricos en las imágenes TM son los volcanes Umachulco y Shila (Fig. 7) y el Volcán Solimana (Fig. 6). El yacimiento de oro de Shila (Fig. 7), descubierto recientemente, está asociado con el volcán Shila; zonas de alteración hidrotermal inexploradas están asociadas a los estrato-volcanes como Umachulco, y Solimana.

La Caldera de Chonta (Fig. 8); descrita primero por Noble et al., 1974, fué la primera caldera en ser reconocida en los Andes Centrales. Antes del descubrimiento de esta caldera, muchos geólogos que trabajaron en esta región consideraron que los extensos afloramientos de tufos riolíticos eran erupciones tipo fisural ó erupciones de otros tipos de centros que fueron cubiertas por sus propios materiales eruptivos (G. E. Ericksen, comunicación verbal, 1992). La Caldera de Chonta es también de particular interés debido a que está genéticamente relacionada a depósitos de minerales económicos (Sucuytambo, San Miguel), y zonas de alteración hidrotermal, tales como Paco Paco, en exploración aun no culminada, podrían probar que contienen menas de metales preciosos. En contraste, la Caldera de Caylloma no tiene ninguna relación con la mineralización en los alrededores del distrito de Caylloma, la cual Silberman et al., 1985; data con edades con rango de 15.8 ± 0.5 Ma a 17.1 ± 0.7 Ma.

Además de estas calderas, existen otras descritas solo en reportes de las compañías mineras (Cía. de Minas Buenaventura S.A., Mauricio Hochschild y Cía. Ltda. S.A.), que se observan en las cercanías de Orcopampa (Calderas Sarpane y Chinchón) y en la Cordillera de Huanzo, hacia el oeste y noreste del distrito de Arcata (Fig. 8). Entre las calderas de esta cordillera tenemos Tumiri, Tetón, San Martín, y Esquilay y (Noble et al., 1990) que están fuera del área de estudio y están asociadas a zonas de alteración hidrotermal y/o depósitos de minerales preciosos.

GEOLOGIA ECONOMICA

El mayor énfasis de las investigaciones de depósitos minerales en el área de estudio estuvo orientado a la ubicación de anomalías de color que se asumieron como zonas de alteración

hidrotermal (Figs. 9-11) con la ayuda de imágenes TM y el estudio de campo de esas zonas. Además en un área de 50 km en el lado sureste del Nevado Coropuna (Fig. 9) en la que se encuentran las principales zonas de alteración hidrotermal, se mapeó geológicamente a escala 1:50,000 y se recolectaron muestras geoquímicas en una de estas zonas de alteración (Ñahuincha). Se hicieron visitas a las principales minas que operan en el área de estudio para tener una idea de las características estructurales y mineralógicas de las vetas en explotación.

Zonas de alteración hidrotermal

Se han identificado un total de 74 anomalías de color dentro del área de estudio (Fig. 9 y 11), muchas de las cuales son zonas de alteración hidrotermal. Las alteraciones en estas zonas fluctúan de moderadas a intensas, y los tipos de alteración incluyen silicificación, argilitización, alunitización y propilitización de rocas volcánicas, y en algunos casos asociadas a rocas sedimentarias. Con el propósito de discutir sobre las zonas de alteración se las ha agrupado de acuerdo al cuadrante de la escena del TM en la que ocurren y a los nombres de las localidades en las que se muestran en cada una de esas escenas (Fig. 9 y 11).

Grandes anomalías de color fueron identificadas en tres regiones en el Cuadrante I de la escena del TM (Fig. 9) : (1) Pallacocha, (2) Huayllura, y (3) Oyolo-Colpar. De estas anomalías, las del sector Pallacocha donde se muestra intensa silicificación y alunitización, parecen ser las más importantes en términos de potencial minero. Las alteraciones de los sectores de Huayllura y Oyolo-Colpar son relativamente débiles y de menor interés como posibles objetivos de exploración. La alteración en Huayllura afectó a las cuarcitas Yura, así como a las rocas volcánicas. La anomalía de color en Colpar está caracterizada por la presencia de abundante óxido de manganeso mas no es así en el sector Oyolo. La alteración hidrotermal en Pallacocha parece estar relacionada genéticamente a un complejo estrato-volcán anterior, del cual el Nevado Coropuna es un remanente de erosión. Las dos zonas de mayor alteración, una al este de Huayllura y la otra en Oyolo (Fig. 9) están asociadas con características concéntricas que pueden o no ser remanentes de antiguas calderas. Las otras zonas de alteración mostradas en la figura

9 no están asociadas con centros eruptivos reconocibles. Su distribución puede haber sido determinada por fallas.

Muchas de las anomalías de color en los otros dos cuadrantes de las escenas del área de estudio (Fig. 10 y 11) están cerca a distritos mineros conocidos. Aquellas en el cuadrante IV de la escena del TM (Fig. 11) están en y cerca a la Caldera Chonta (sector 1), al oeste en la vecindad de la Laguna Manchucacha (sector 2), y todavía mas al oeste en el distrito de Arcata (sector 3). Las zonas de alteración cerca a la Caldera de Chonta están probablemente relacionadas genéticamente a esta caldera.

Las vetas de 11.8 Ma en el distrito de Sucuytambo, que están en un domo volcánico intensamente silicificado con adularia dentro de la caldera, son de la misma edad que la caldera y probablemente están relacionadas genéticamente a ésta. Estas vetas han sido clasificadas como del tipo cuarzo adularia (Rigoberto Soto, comentario personal, 1991), similar al cercano pero más antiguo (17 Ma) distrito de Caylloma, que está caracterizado por la presencia de abundante adularia en las vetas y en los halos de alteración de estas. Las vetas de Caylloma no están genéticamente relacionadas a la Caldera de Chonta ni a la de Caylloma. Estas vetas están clasificadas como del tipo adularia-sericita. Las vetas de Caylloma, (más de 20), son fallas de tensión mineralizadas y emplazadas entre dos fallas regionales (Fletcher et al, 1989). La zona de alteración Paco Paco, que es marginal a la zona de fracturas concéntricas de la Caldera Chonta, ha sido explorada por la empresa minera Mauricio Hochschild y Cía. Los otros distritos mayores de metales preciosos son el área de Orcopampa, Shila, Arcata (Fig. 10 y 11). También son de tipo adularia-sericita. La información es escasa acerca de las otras zonas de alteración marginal a la Caldera Chonta, así como también de aquellas cercanas a la Laguna Manchucacha y no se conoce si son del tipo sulfato-ácido ó adularia-sericita. No se ha reconocido ningún centro eruptivo en la vecindad de la Laguna Manchucacha, pero se conoce que están presentes domos volcánicos y una posible caldera en el distrito de Arcata (Candiotti, 1990).

Las zonas de alteración en el cuadrante II de la escena TM (Fig. 10) ocurren en cuatro áreas : (1) Hualca Hualca-Madrigal, (2) Chachas-Mina Shila, (3) Jalhua, y (4) Orcopampa. Las características

concéntricas pueden distinguirse en el Sector Hualca Hualca-Madrigal (Fig. 10), que pueden ser calderas, y se ha reportado la presencia de una caldera (Chinchón) al este del distrito de Orcopampa (Noble, comunicación verbal, 1991). Shila está asociada con un estrato volcán-andesítico cerca a otra caldera (Paredes y Chávez, inédito, 1991). Una zona de intensa alteración silíceo y argílica en el área de Humachulco, al noroeste de Orcopampa, está asociada con un estrato-volcán andesítico erosionado. Esta zona de alteración, identificada al inicio de nuestro estudio fue explorada posteriormente por la Cía. Minera Orcopampa; no habiéndose encontrado buenos resultados en esta exploración. Las anomalías de color en el sector Jalhua, que no están asociadas con un centro eruptivo reconocido, muestran una alteración argílica intensa.

Depósitos minerales

Las minas de metales preciosos en el complejo volcánico del Sur del Perú fueron explotadas desde los tiempos de la Colonia y han producido grandes cantidades de plata y menores de oro. Cinco grandes depósitos de metales preciosos están en el área de estudio (Figs. 9-11) cuatro de las cuales — Arcata, Caylloma, Shila, y Orcopampa — están actualmente activos y el quinto Sucuytambo, está agotado, la operación fue terminada en la década de los años 70. Las minas Arcata y Caylloma son operadas por Minas de Arcata S.A. y Cía. Minera de Caylloma S.A., respectivamente, ambas son subsidiarias de Mauricio Hochschid y Cía. Ltda. S.A., Orcopampa es operada por la Cía. Minera Orcopampa S.A., una subsidiaria de la Cía. de Minas Buenaventura S.A. y Shila es operada por CEDIMIN S.A. La mayor producción de estas minas ha sido por plata. Otras minas menos importantes fueron Coriminas y San Miguel también de plata. Además del depósito de plomo-zinc de Madrigal que fue explotado en los años recientes. Caylloma estuvo en operación casi continuamente por más de 100 años y ha producido más de 100 millones de onzas de plata; otras como Orcopampa han producido más de 50 millones de onzas de plata, principalmente desde 1965 (Silberman et al., 1985). La producción para estas minas y para Arcata para 1989 está dada en la tabla 1.

Las menas de plata en estos distritos mineros ocurren en vetas epitermales típicas alojadas en

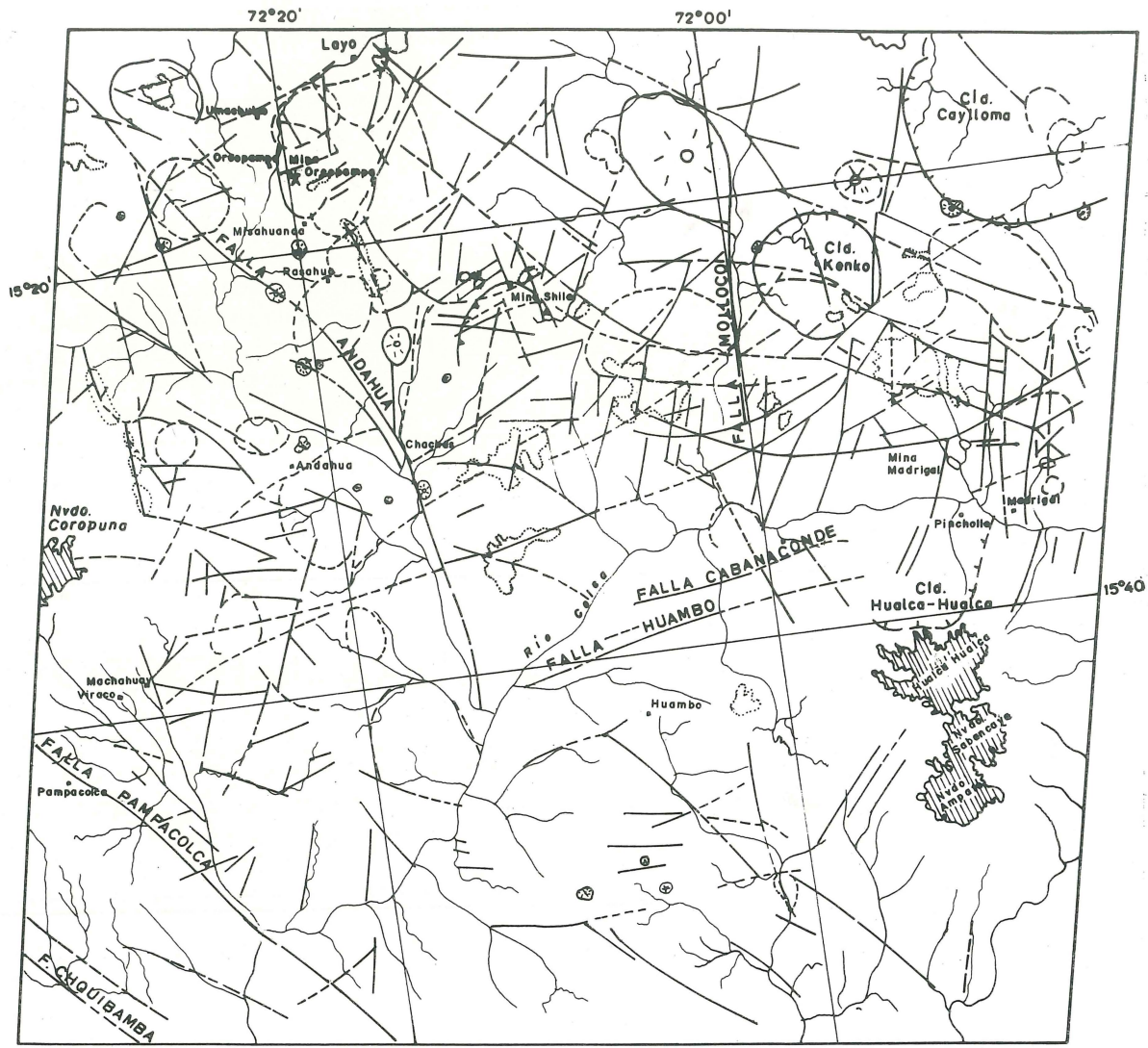
rocas volcánicas, que tienen un promedio de menos de 2 m de potencia y fluctuando desde unos pocos cientos de metros hasta cerca de 3 km en longitud. Las menas son polimetálicas, conteniendo minerales de plomo, zinc, y cobre así como también minerales de plata y oro diseminado. La galena es el mineral de plomo mas abundante, la esfalerita es el único mineral de zinc, la tetrahedrita/tenantita y calcopirita son los principales minerales de cobre. Algunas de las minas recuperan como sub-productos plomo, zinc, y cobre de las minas de plata. La plata, que comunmente presenta valores de aproximadamente 15 oz por TM en menas típicas de plata extraídas durante la década de los años 80, ocurre principalmente en tetrahedrita/tenantita y en los minerales de platas rojas, pirargirita y proustita, de las cuales la pirargirita es generalmente la más abundante. En algunas minas, Orcopampa por ejemplo, el principal mineral de plata es tetrahedrita/tenantita, mientras que en Arcata y Caylloma las platas rojas y la tetrahedrita/tenantita son minerales igualmente abundantes (Ericksen y Cunningham, 1992).

La plata también está presente en la galena, pero la cantidad relativa es generalmente mucho más pequeña que en la tetrahedrita/tenantita. En cambio el oro, que generalmente está presente en las menas de plata en cantidades de no más que unos pocos gramos por TM, ocurre como oro nativo y como piritita aurífera. Algunas vetas o clavos mineralizados localmente contienen de manera excepcional ricas menas tipo bonanza que contienen muchas decenas a pocos cientos de onzas de plata y varios gramos a varias onzas de oro por TM.

Potencial para el hallazgo de nuevos depósitos de metales preciosos

Las numerosas zonas de alteración dentro del área de estudio (Figs. 9-11) en el complejo volcánico Neógeno-Cuaternario del Sur del Perú, son objetivos atractivos para la exploración de nuevos depósitos minerales de metales preciosos. El potencial para el descubrimiento de nuevos depósitos es excelente. El yacimiento Shila ahora en operación, fue descubierto por la Cía. de Minas CEDIMIN durante la década de los años 80.

Una región potencialmente importante para la futura exploración de nuevos depósitos de metales preciosos está en la Cordillera de Huanzo, principalmente al oeste y noroeste de la Mina



LEYENDA

- | | | | | | |
|--|---------------------|--|----------------------|--|-------------------|
| | Lineamientos | | Lineamiento Inferido | | Estrato volcán |
| | Estructura circular | | Conos volcánicos | | Anomalía de color |
| | Caldera (Cld.) | | | | |

UBICACION DEL CUADRANTE



Figura 7.— Mapa de lineamientos, cuadrante II, escena P-004 R-071 (Fig. 1).

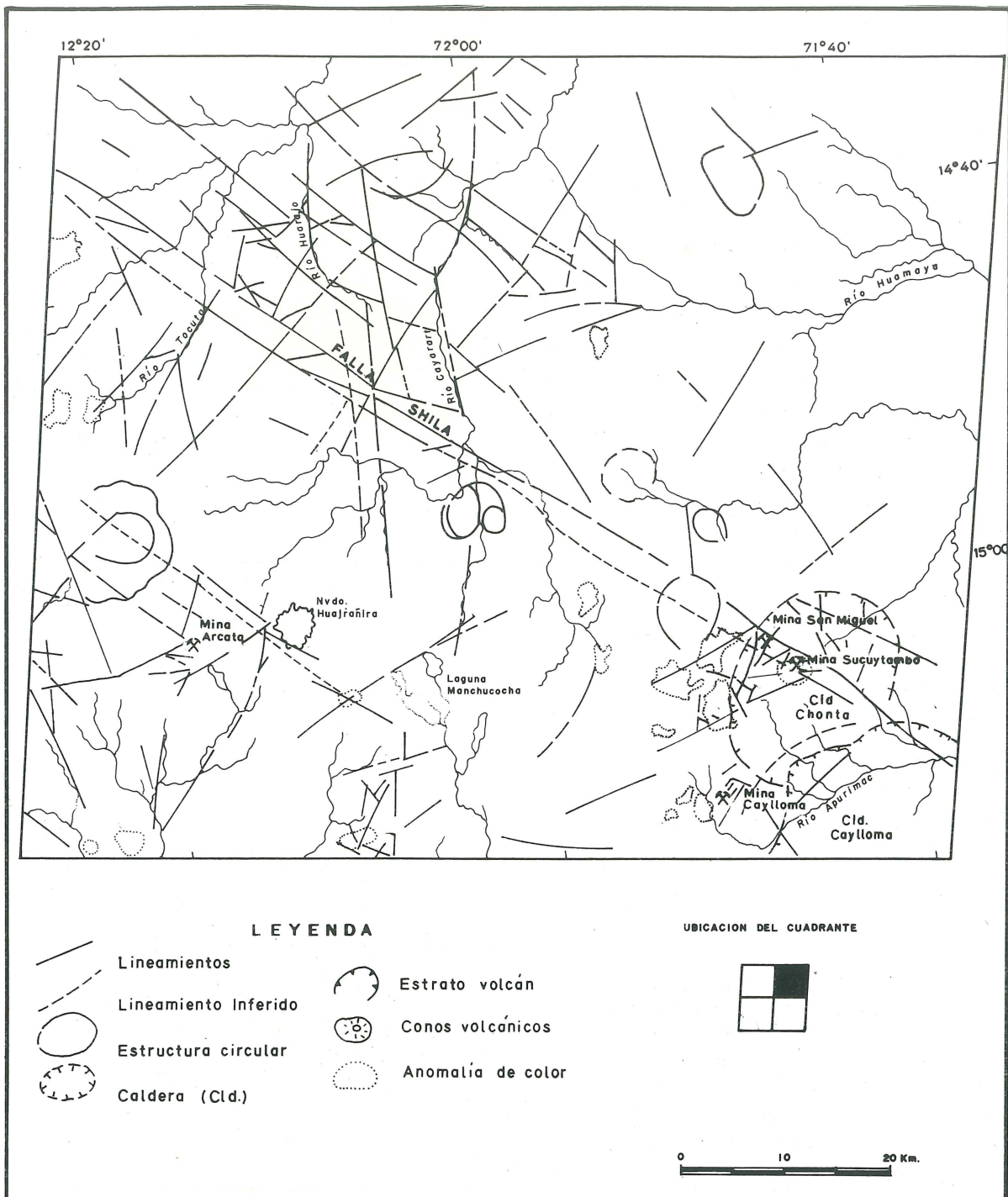


Figura 8.— Mapa de lineamientos, cuadrante IV escena P-004 R-070 (Fig. 1).

Arcata (Fig. 11), donde un reconocimiento exploratorio en la década de los años 80 por Mauricio Hochschild y Cía. localizó un número de objetivos exploratorios potencialmente importantes (Tomás Guerrero, Mauricio Hochschild y Cía. Ltda., comunicación verbal, 1991).

Aunque el potencial para el hallazgo de nuevos depósitos de metales preciosos es excelente casi en toda esta área, las exploraciones fueron interrumpidas a fines de la década del 80 por el peligro de terrorismo. Se espera que cuando esta actividad (terrorismo) esté bajo control, se iniciarán nuevos programas de exploración en el sur del Perú.

ESTUDIO ESPECIAL, FLANCO SUROESTE DEL NEVADO COROPUNA

Con el fin de comprobar la aplicación de las imágenes TM y técnicas geoquímicas para la evaluación de recursos minerales en los terrenos volcánicos del sur del Perú, se realizó un estudio especial en una interesante área alterada en el flanco suroeste del Nevado Coropuna (Fig. 1). Se incluyó la preparación de un mapa geológico del área (Fig. 13), el estudio de la estratigrafía, litología, y estructuras de las rocas volcánicas terciarias, y la determinación de la naturaleza de la alteración hidrotermal de estas rocas.

Estratigrafía

Como puede verse en la figura 12, las rocas volcánicas terciarias y cuaternarias sobreyacen al basamento de rocas metamórficas del Grupo Ongoro de probable edad paleozoica. Las rocas del Grupo Ongoro consisten de pizarras gris oscuras a negras con intercalaciones de esquistos verdes, que están expuestas en el Cerro Pucará, donde están intruidas por las rocas graníticas de la Unidad Tiabaya y cubiertas por las rocas volcánicas de la Formación Alfabamba (Fig. 12).

El Grupo Tacaza, que está ampliamente distribuido en el sur del Perú, es la roca huésped para muchos depósitos de metales preciosos. En el área de Coropuna puede ser dividido en dos unidades (Fig. 12). La unidad inferior (Unidad 1) consiste de brechas volcánicas verde violáceas, con matriz tufácea, e intercalaciones de lavas

andesíticas de grano fino a porfirítico. También se presentan delgadas capas pardo amarillentas de areniscas volcánicas pobremente consolidadas. La edad radiométrica (K/Ar) (Tabla 2) de una lava andesítica de esta unidad en el cono Pariaviri (Fig. 12) es 16.0 ± 4 Ma. La unidad superior (Unidad 2) consiste de lavas andesíticas, localmente porfiríticas de color gris a gris verdoso, que en la parte superior contienen capas de brecha tufácea y arenisca. Esta unidad también presenta domos andesíticos a dacíticos que son predominantes entre los Cerros Minasnioc, Tucapache, y Antapuna (Fig. 13). En la mayor parte del área de Coropuna, la unidad superior del Grupo Tacaza está cubierta por rocas volcánicas del Grupo Barroso, y está separada de este Grupo por una discordancia erosional. Una determinación de edad radiométrica (K/Ar) de andesita basáltica en el Cerro Antapuna dió 10.3 ± 3 Ma (Tabla 2).

La Formación Alfabamba (Fig. 12) consiste de tufos dacíticos a riódacíticos, lapilli, y brecha tufácea con cerca de 600 m de espesor. Tiene exposición distinta a manera de capas que se extienden en forma horizontal a suave inclinación de 5° - 10° SE. La exposición principal de esta formación está en el sureste del área del mapa (Fig. 13).

Los volcánicos del Grupo Barroso y Tumpullo (Fig. 12) son las rocas volcánicas más jóvenes del área. El Barroso consiste de flujos de lava andesítica afanítica a vítrea del Volcán Coropuna que localmente se extiende sobre las rocas del Tacaza y Alfabamba (Fig. 13). Kaneoka y Guevara (1984) reportan edades de K/Ar para lavas del Barroso de esta región en 1.3 ± 0.03 Ma. Los volcánicos Tumpullo consisten de ignimbritas riolíticas que muestran textura vesicular a fluidal. Estas rocas tienen sus mejores exposiciones en las vecindades de la falla Chuquibamba que está en la parte central y sur del mapa (Fig. 13).

Rocas intrusivas, que se exponen sólo en el Cerro Pucará en la esquina noroeste del área de estudio (Fig. 13), consisten de tonalitas y granodioritas de la Super Unidad Tiabaya del segmento Arequipa del Batolito de la Costa (Cobbing y Pitcher 1977, 1979). La textura es granítica y los principales minerales son feldespato, plagioclasa, cuarzo, hornblenda, y biotita. Las edades radiométricas del segmento Arequipa muestran una considerable variación, Weibelzslaf y Fejer (1977) reportan una edad de 97.4 Ma, Pitcher y Cobbing (1977, 1979) reportan una edad de 80 Ma,

**TABLA 1. PRODUCCION DE ORO Y PLATA DURANTE 1989
PARA LAS MINAS DEL AREA DE ESTUDIO**

MINA	PRODUCCION			
	TM (mena)	LEY (oz Ag/tm)	ORO (oz)	PLATA (oz)
ARCATA	271,718	15.90	12,000	3,541,000
CAYLLOMA	216,500	12.55	8,300	2,293,000
ORCOPAMPA			38,000	5,180,000

**TABLA 2. EDADES K/Ar DE ROCAS VOLCANICAS DEL COROPUNA
Y OTRAS AREAS EN EL SUR DEL PERU.
EDADES DETERMINADAS POR EL SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGIA Y MINERIA DE CHILE**

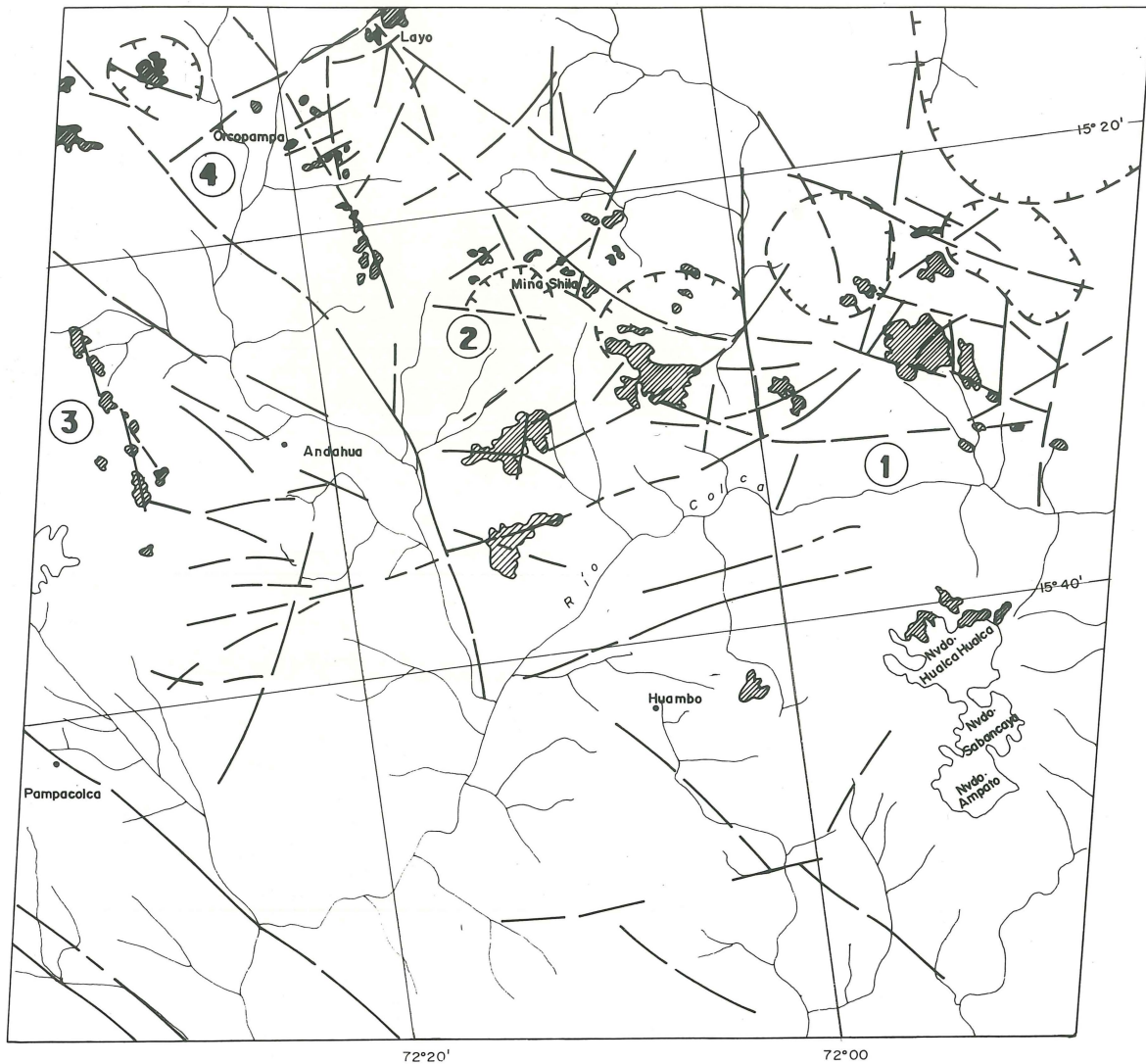
MUESTRA No.	LOCALIDAD	LONGITUD	LATITUD	FORMACION	MINERAL	EDAD
LQ-Co-8	Co. Antapuna	72°49'00"	15°35'15"	Grupo Tacaza 1	Plagioclasa	10.3 ± 3.0
LQ-Co-28	Co. Pariaviri	72°47'15"	15°41'45"	Grupo Tacaza 2	Hornblenda	16.0 ± 4.0
LQ-Co-41	Co. Pabellones	72°45'20"	15°44'45"	Grupo Barroso	Biotita	2.5 ± 0.7
LQ-ORC-45	Co. Chila Pillune	72°10'45"	15°24'00"	Grupo Tacaza	Biotita	18.7 ± 0.08




y la Misión Japonesa, inédito (1986) reporta una edad de 57.4 Ma.

Geología estructural

En el área del Coropuna, las rocas volcánicas están cortadas por numerosas fallas, de las cuales las más importantes son Huamanmarca, Chuquibamba, Accrigua, Río Blanco y Jeshja (Fig. 13). Probablemente estas fallas se formaron durante la Fase Incaica de la Orogenia Andina y fueron reactivadas varias veces durante el Terciario superior y Cuaternario. Las Fallas Huamanmarca y Chuquibamba, en el sector oeste del área mapeada (Fig. 13), son paralelas, con un rumbo N 50°W y buzamiento 60°NE. Ambas han sido desplazadas por la falla río Blanco. Esta falla tiene escarpes de 10-15 m de altura ocasionados por

movimientos de las fallas, rasgos que las hacen muy visibles en las imágenes TM. La Falla Accrigua, que se observa en el sector noroeste del mapa (Fig. 13), tiene un rumbo N40°E y buzamiento de 70°NW. Aparentemente está afectada por las Fallas Chuquibamba y Huamanmarca. Hacia el noreste la Falla Accrigua corre a lo largo del borde sur de la zona de alteración hidrotermal de Antapuna (Fig. 13). La Falla Jeshja, ubicada en la zona este del mapa (Fig. 13) es de singular importancia, por que discurre a través de 2 de las 3 zonas mayores de alteración hidrotermal. La intersección de esta falla con otras fallas y zonas de fracturas en estas zonas de alteración probablemente constituyen los canales por los cuales circularon los fluidos hidrotermales. Si éste es el caso, estas zonas también son objetivos favorables para prospectar depósitos de metales preciosos en profundidad. La falla Jeshja



- LEYENDA**
-  Alteraciones hidrotermales
 -  Estructuras circulares estrato volcanes
 -  Falla observada
 -  Falla inferida

UBICACION DEL CUADRANTE

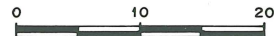
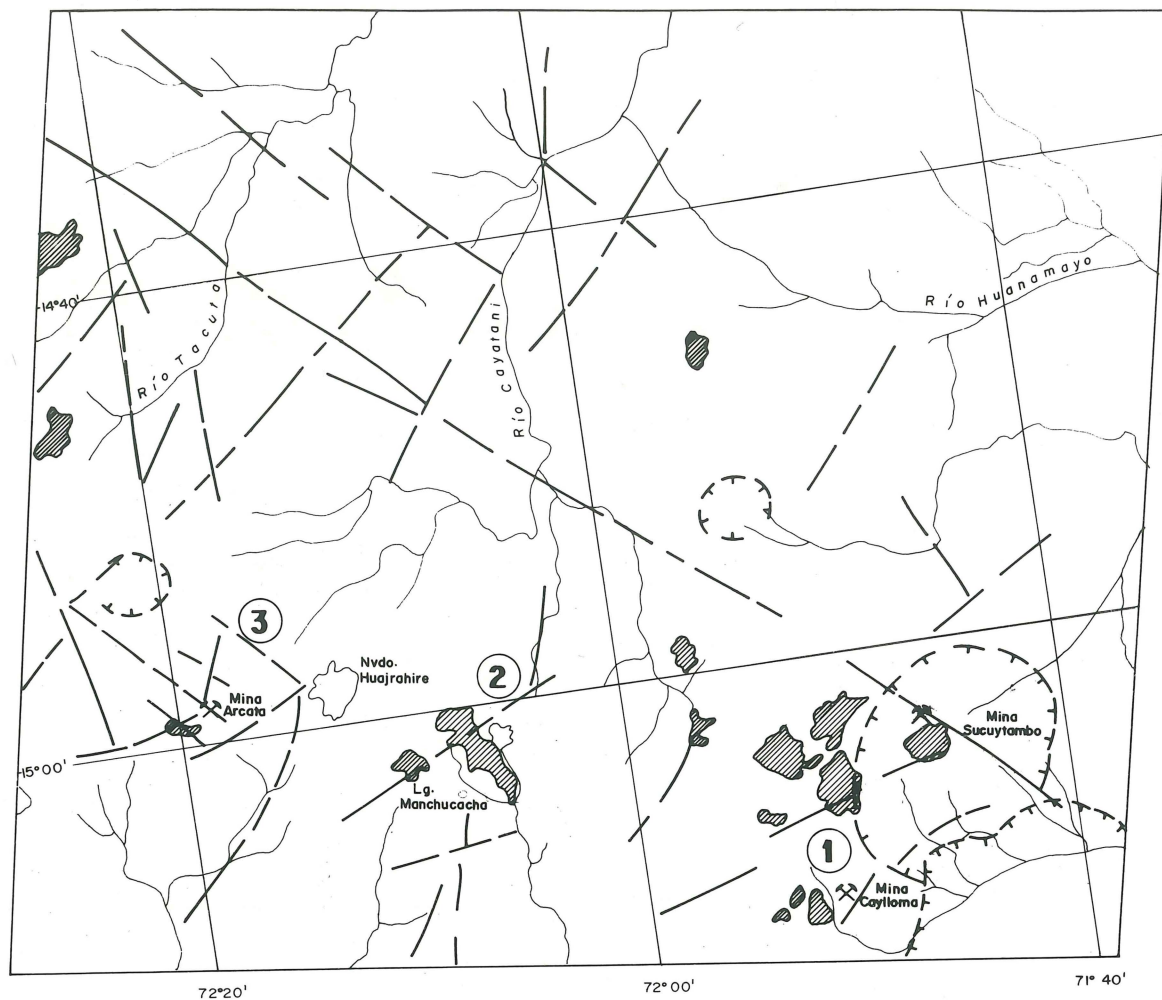






Figura 10.— Mapa de relacionamiento de estructuras circulares y alteraciones hidrotermales cuadrante II, P-004 R-071. Los números 1-4 indican los sectores descritos en el texto.



- LEYENDA**
-  Alteraciones hidrotermales
 -  Estructuras circulares calderas strato volcanes
 -  Falla observada
 -  Falla inferida

UBICACION DEL CUADRANTE



Figura 11.— Mapa de relacionamiento de estructuras circulares y alteraciones hidrotermales cuadrante IV, P-004 R-070. Los números 1-3 indican los sectores descritos en el texto.

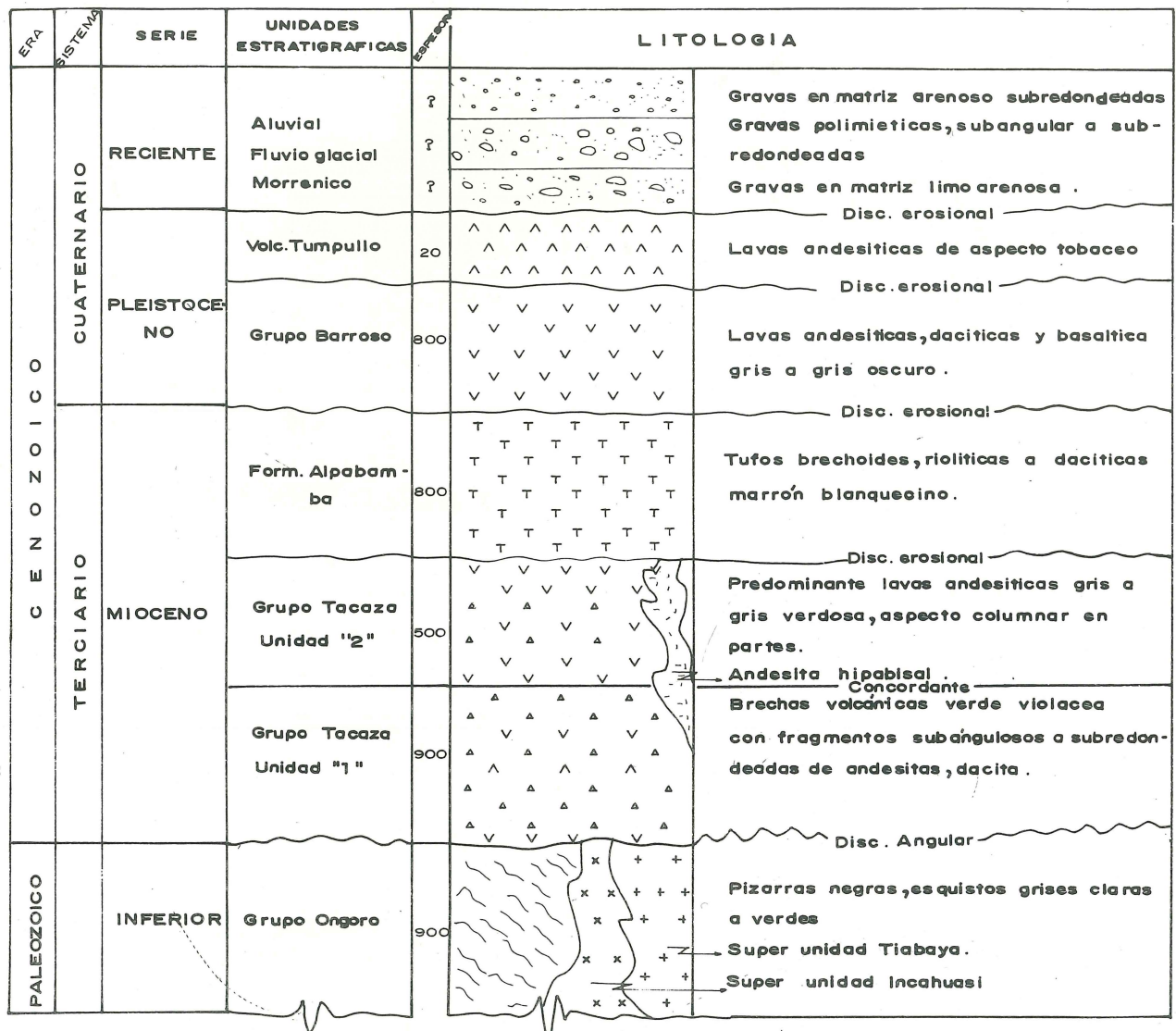


Figura 12.— Columna estratigráfica del flanco sudoeste del Nevado Coropuna.

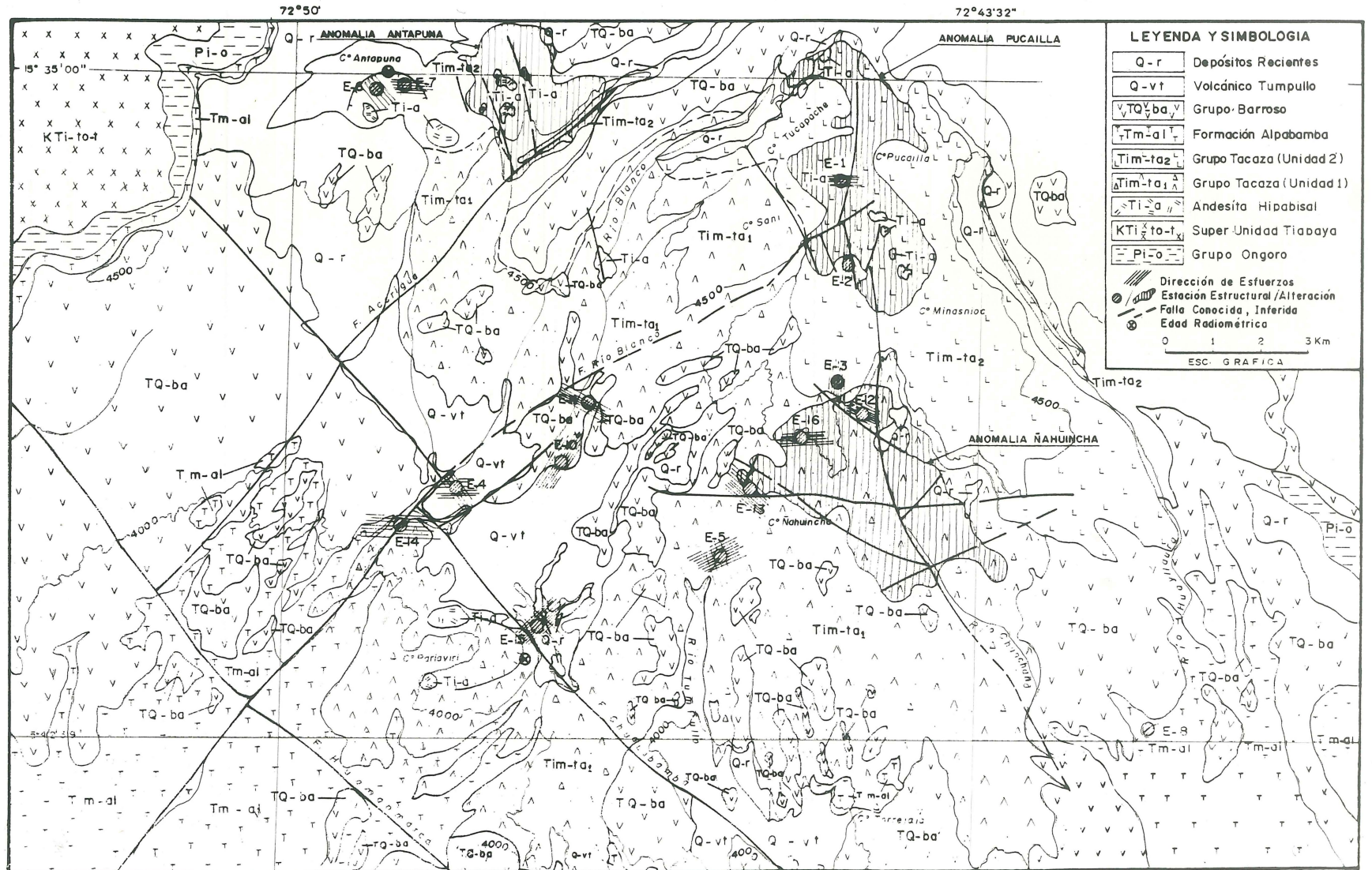
Tabla 3.— Análisis de muestras geoquímicas de rocas volcánicas con alteración hidrotermal de la zona de Nahuíncha, al suroeste del área de estudio, del Nevado Coropuna.

Análisis de absorción atómica en laboratorios de INGEMMET..

CLAVE	Au ppb	Ag ppm	As ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Sb ppm
CORO-CV- 12	<= 30	<= 0.5	<= 15		<= 5	7	10
CORO-CV- 13	<= 30	<= 0.5	<= 15	6	7	5	<= 5
CORO-CV- 14	50	0.7	127	95	7	15	20
CORO-CV- 15	50	1	<= 15	12	17	45	10
CORO-CV- 16	40	<= 0.5	<= 15	<= 5	<= 5	19	<= 5
CORO-CV- 17	<= 30	<= 0.5	<= 15	46	<= 5	5	<= 5
CORO-CV- 18	<= 30	<= 0.5	<= 15	12	16	17	16
CORO-CV- 19	<= 30	<= 0.5	<= 15	13	13	10	13
CORO-CV- 20	<= 30	1	<= 15	43	13	29	13
CORO-CV- 21	<= 30	1.5	970	60	20	20	20
CORO-CV- 22	<= 30	<= 0.5	37	34	8	24	8
CORO-CV- 23	<= 30	1	80	70	15	14	15
CORO-CV- 24	40	<= 0.5	<= 15	42	11	15	11
CORO-CV- 25	<= 30	0.5	<= 15	27	9	15	9
CORO-CV- 26	<= 30	1	<= 15	18	10	17	10
CORO-CV- 27	<= 30	1	45	68	13	19	13
CORO-CV- 28	<= 30	0.5	57	49	13	64	13
CORO-CV- 29	<= 30	0.5	<= 15	115	<= 5	12	<= 5
CORO-CV- 30	60	0.9	160	50	12	42	11
CORO-CV- 31	60	0.5	<= 15	10	<= 5	240	12
CORO-CV- 32	<= 30	1.5	<= 15	40	17	63	11
CORO-CV- 35	<= 30	1.5	<= 15	35	19	25	10
CORO-CV- 36	80	0.5	<= 15	42	9	19	12
CORO-CV- 37	<= 30	0.5	62	74	10	10	10
CORO-CV- 38	50	0.5	72	97	9	48	14
CORO-CV- 39	<= 30	0.5	<= 15	10	<= 5	15	16
CORO-CV- 40	70	<= 0.5	63	15	<= 5	8	<= 5
CORO-CV- 41	<= 30	<= 0.5	<= 15	9	<= 5	7	<= 5
CORO-CV- 42	60	0.5	43	25	<= 5	25	20
CORO-CV- 43	40	1	<= 15	25	7	64	40
CORO-CV- 44	<= 30	3.4	2188	120	30	12	293
CORO-CV- 45	<= 30	<= 0.5	<= 15	45	<= 5	14	9
CORO-CV- 46	<= 30	0.5	38	45	29	8	<= 5
CORO-CV- 47	<= 30	<= 0.5	<= 15	9	8	5	<= 5
CORO-CV- 48	<= 30	<= 0.5	<= 15	9	8	5	<= 5
CORO-CV- 49	<= 30	<= 0.5	<= 15	7	<= 5	<= 5	<= 5
CORO-CV- 50	<= 30	1	375	104	12	68	203
CORO-CV- 62	<= 30	<= 0.5	<= 15	<= 5	<= 5	<= 5	<= 5
CORO-CV- 63	<= 30	<= 0.5	<= 15	5	<= 5	<= 5	<= 5
CORO-CV- 64	<= 30	<= 0.5	<= 15	5	<= 5	<= 5	<= 5
CORO-CV- 65	40	1.5	63	34	9	25	94
CORO-CV- 66	40	0.5	117	79	10	15	63

Nota: <=, menor ó igual al valor indicado, que es límite de detección para elemento.

Figura 13.— Mapa geológico del área de estudio sudoeste del Nevado Coropuna (ver fig. 1 para ubicación), mostrando también la distribución de las zonas con mayor alteración hidrotermal.



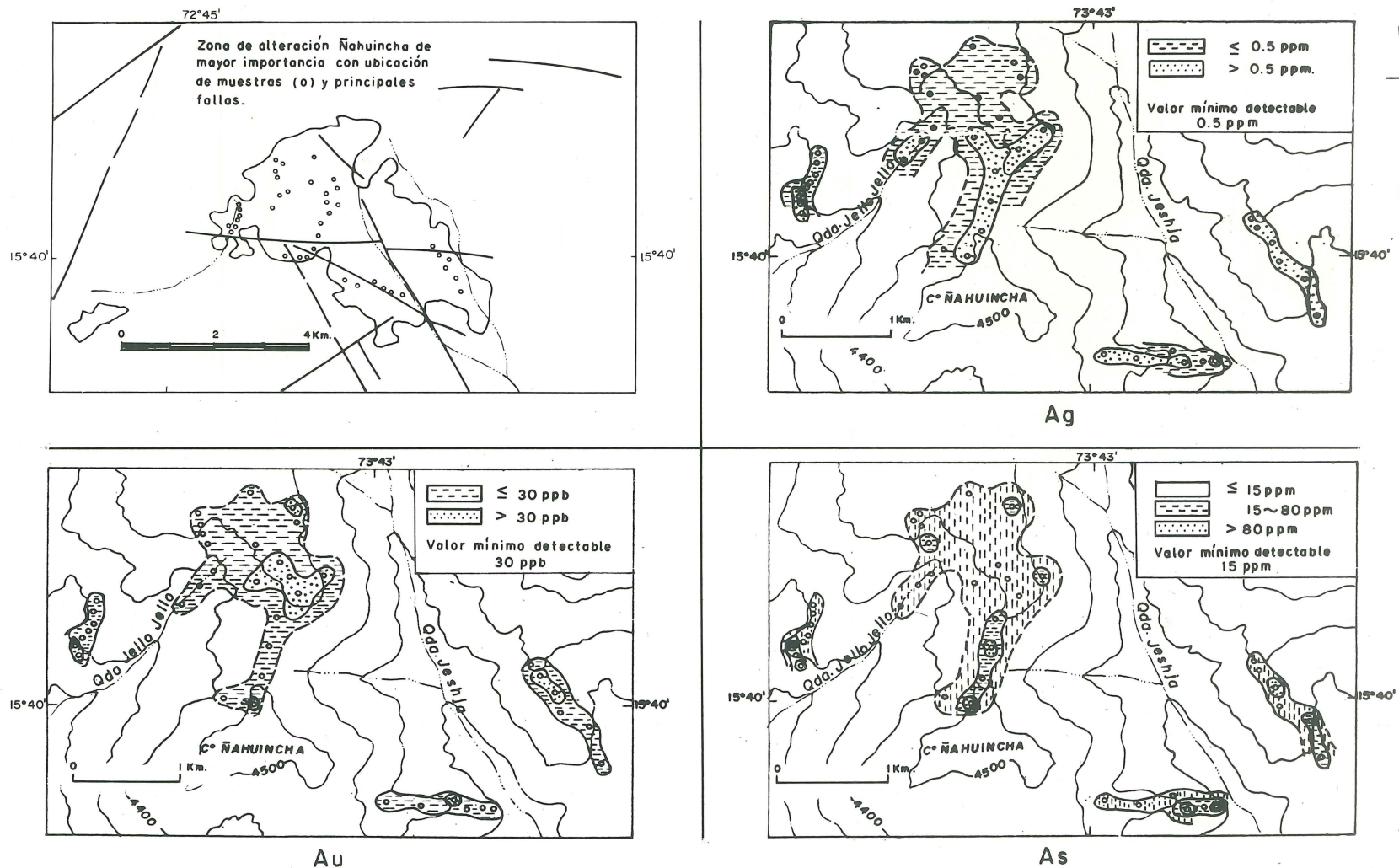


Figura 14.— Mapa geoquímico mostrando la ubicación de muestras (círculos) y la distribución de Ag, Au y As en la zona de alteración Nahuincha, área de estudio sudoeste del nevado Coropuna. (ver fig. 13).

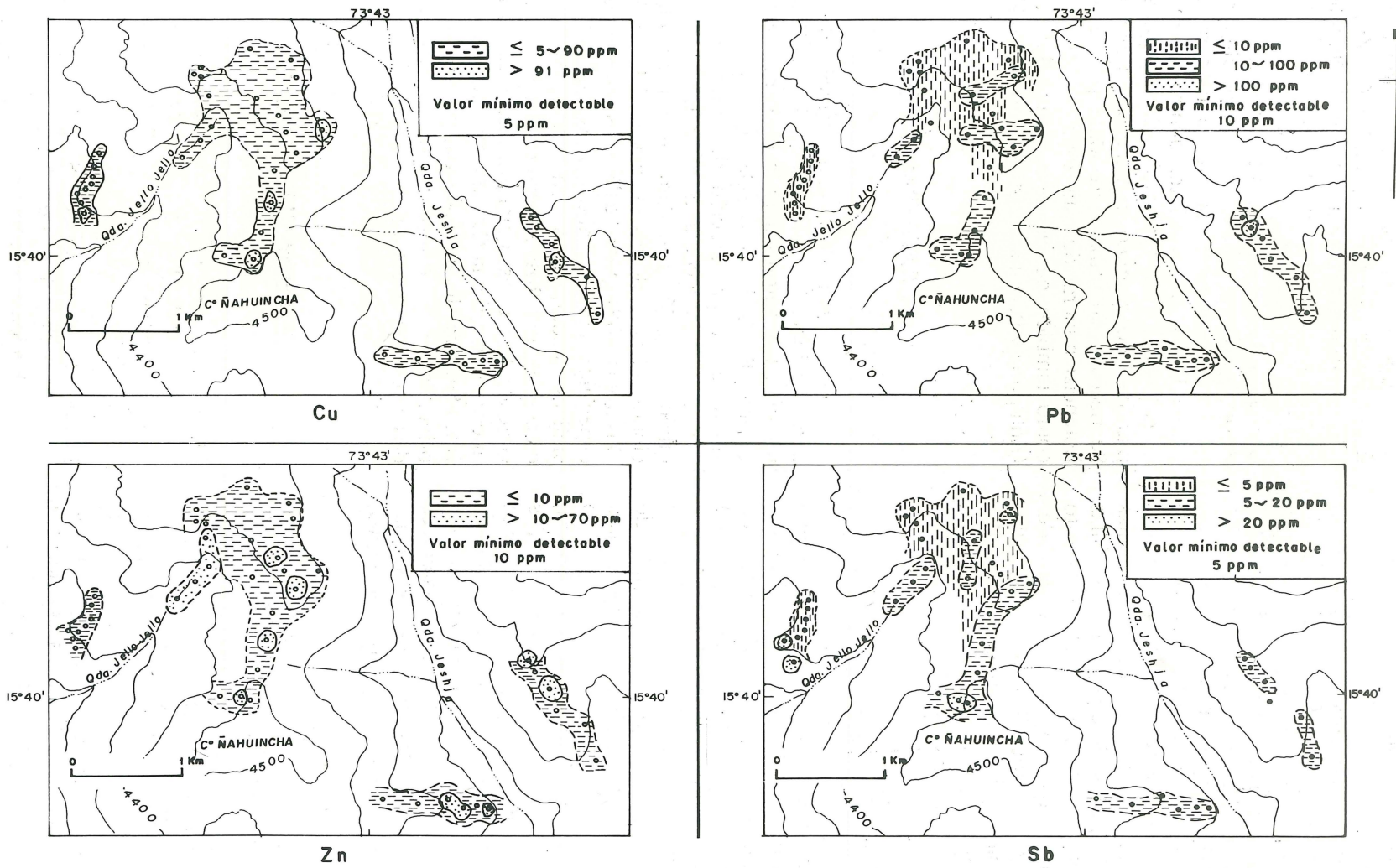


Figura 15.— Mapa geoquímico mostrando la ubicación de muestras (círculos) y la distribución de Cu, Pb, Zn, y Sb en la zona de alteración Nahuincha, área de estudio su oeste del nevado Coropuna (ver fig. 13).

es una falla inversa que muestra una traza curva, cuyo rumbo varía de N a N 40°W.

Se determinaron los diversos sistemas de fracturas y juntas en rocas volcánicas y en los pequeños cuerpos intrusivos (Fig. 13) presentes en el área mapeada. Se efectuaron 16 estaciones (E-1 a E-16) con 70 mediciones por estación y la dirección del sistema de fracturas y juntas predominantes en cada lugar están indicados en la figura 13. En algunos lugares, las principales fracturas y juntas son paralelas a las fallas vecinas (E-2, E-12), otras interceptan a las fallas con un ángulo oblicuo (E-3, E-4, E-11, E-13), esto sugiere tensión ocurrida a lo largo del rumbo de las fallas. Otras son perpendiculares a las fallas (E-4, E-10), posiblemente fracturas de tensión debidas al movimiento según el rumbo, y existen otras que no están relacionadas al fallamiento.

Geología económica

Tres grandes zonas de alteración hidrotermal se presentan en el área del flanco suroeste del Nevado Coropuna: la zona Antapuna, ubicada en el lado oriental del Cerro Antapuna; la zona Pucailla en el lado occidental del Cerro Pucailla; y la zona de Ñahuincha, en el lado oriental del Cerro Ñahuincha (Fig. 13). Las rocas volcánicas de estas zonas son principalmente lavas andesíticas a riocáciticas, aglomerados, y brechas del Grupo Tacaza, que muestran intensa alteración argílica, silíceas, y alunitica. Los stocks andesíticos en las zonas Antapuna y Pucailla (Fig. 13) no están alterados. También están presentes vetas silíceas, cuerpos irregulares, y brechas hidrotermales. Un estudio en secciones pulidas de materiales limoníticos silíceos y brechas revelan la presencia de pequeñas cantidades de pirita, marcasita, chalcopirita, galena, y trazas de oro.

La presencia de alunita, que durante los estudios petrográficos de rocas alteradas se identificó por primera vez y se encontró que está ampliamente dispersa y abundante, sugiere que esas zonas de alteración son del tipo sulfato-ácido. Sin embargo, es incierto si ésta alunita es de origen magmático hidrotermal, que es una condición esencial de sistemas tipo sulfato-ácido, o fué formada en un ambiente geotermal cercano a la superficie, en cuyo caso la alteración no indicaría necesariamente un sistema sulfato-ácido.

Un total de 42 muestras geoquímicas recolectadas en la zona de alteración Ñahuincha fueron analizadas por Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Sb y As (Tabla 3) en los laboratorios de INGEMMET. Los resultados de estos elementos fueron usados para preparar mapas geoquímicos (Fig. 14 y 15). Debido a la falta de información acerca de los valores geoquímicos en las zonas de alteración en el Sur del Perú y su relación con cuerpos mineralizados no expuestos dentro de esta zona, no es posible hacer una evaluación significativa de patrones geoquímicos mostrados en esos mapas. Se necesita un trabajo adicional para evaluar el potencial mineral de esta zona de alteración, así como también de las otras zonas de alteración (Antapuna y Pucailla) mostradas en la figura 13.

AGRADECIMIENTOS

Muchas personas han contribuido a las investigaciones en las que se basa el presente informe. Los autores agradecen particularmente a George E. Ericksen (USGS) por su invaluable apoyo en la preparación del informe. También deseamos agradecer a Barbara Eiswerth (USGS), quien nos guió acertadamente en las interpretaciones iniciales de las imágenes TM, y a Richard O'Leary (USGS) quien realizó los análisis químicos especiales en los laboratorios del USGS. Los análisis geoquímicos en INGEMMET fueron efectuados por Rosa Alonso bajo la supervisión de Graciela Barrantes. Queremos expresar asimismo nuestra gratitud a la Cía. Minera Orcopampa S.A. y Cía. Mauricio Hochschild Ltda. por la hospitalidad brindada en sus campamentos mineros, localizados en el área de estudio.

REFERENCIAS CITADAS

- Arenas, M. J., 1975, Geología de la mina Orcopampa y alrededores, Arequipa: Sociedad Geológica del Perú, Bol., 46, p. 9-24.
- Bellido, E. B. y Narváez S. 1960, Geología del Cuadrángulo de Atico: Corte Geológica Nacional N°2, 53 p.

- Caldas, V. J., 1975, Geología de los Cuadrángulos de Huambo y Orcopampa: Carta Geológica Nacional, inédito. Lima, Perú.
- Candiotti, H., 1990, Geologic setting and epithermal silver veins of the Arcata district, Southern Perú: *Economic Geology*, v. 85, p. 1473-1490.
- Erickson, G. E., Eyzaguirre, V. R., Urquidi B., F. and Salas O., R., 1987, Neogene Quaternary volcanism and mineralization in the Central Andes: in Transactions of the Fourth Circum-Pacific energy and mineral resources conference, August 17-22, 1986 : M. K. Hornied, ed.: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, p. 537-550.
- Fletcher, C. J. N., Hawkins, M. P., and Tejada, R., 1989, Structural control and genesis of polymetallic in the altiplano and Western Cordillera of southern Peru: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 2, p. 61-71.
- Fornarí, M., and Vilca N., C., 1979, Mineralización argentífera asociada al volcanismo Cenozoico en la faja Puquio-Caylloma: *Sociedad Geológica del Perú. Bol.*, v. 60, p. 101-128.
- Jenks, W. F., 1948, Geology of the Arequipa quadrangle of the Carta Nacional del Perú: *Instituto Geológico del Perú, Bol.* 9, 204 p.
- Kameoka, I., Guevara C., 1984, K- Ar age determinations of late tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks Southern Peru: *Geochemical Journal*, Vol. 18, p. 223 - 239.
- Marocco, R., 1975, Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas; *Instituto de Geología y Minería, Bol.* 27, 51 p. Lima - Perú.
- Noble, D. C., McKee, E. H., Farrar, E. and Peterson V., 1974, Episodic cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Perú: *Earth and Planetary Science Letters*, V 21, p. 213 - 220.
- Noble, D. C., Eyzaguirre, V. R., and McKee, E.H., 1990, Precious metal mineralization of Cenozoic age in the Andes of Perú, in *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*, G. E. Erickson, G. E., Cañas, M. T., and Reinemund, J. A., eds.: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series No. 11, p. 207-212.
- Olchanski, L. E., 1973, Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi: Carta Geológica Nacional, inédito. Lima, Perú.
- Pecho, G. V., 1983, Geología de los Cuadrángulos de Pausa y Caravelí: Carta Geológica Nacional, Bol. 37, Serie A, 125 p. Lima, Perú.
- Silberman, M. L., McKee, E. H., and Noble, D. C., 1985, Age of mineralization at the Caylloma and Orcopampa silver districts, southern Peru: *Isocron/West*, No.43, p. 17-18.
- Peterson, P. S., Noble D. C., McKee, E. H., and Eyzaguirre, V. R., 1983, A resurgent, mineralized caldera in southern Peru: A preliminary report (Abs.): *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, v.64, p. 884.
- Vidal, C., and Cedillo, E., 1988, Los yacimientos de enargita-alunita en el Perú: *Sociedad Geológica del Perú Bol.*, v. 78, p. 109-120.
- Vidal, C., Noble. D. C., McKee, E. H., Benavides, J. E., and Candiotti, H., 1989, Hydrothermally altered and mineralized late Pliocene-Quaternary central volcanoes in the Andes of southern Peru [Abs.]: 28th International Geological Congress, Washington, D.C., July 9-19-1989, Abstracts, v. 3, p. 3-297.
- Wilson, J. and García, W., 1962, Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca, Carta Geológica Nacional, Vol. II, Nº 4, 82 p., Lima, Perú.