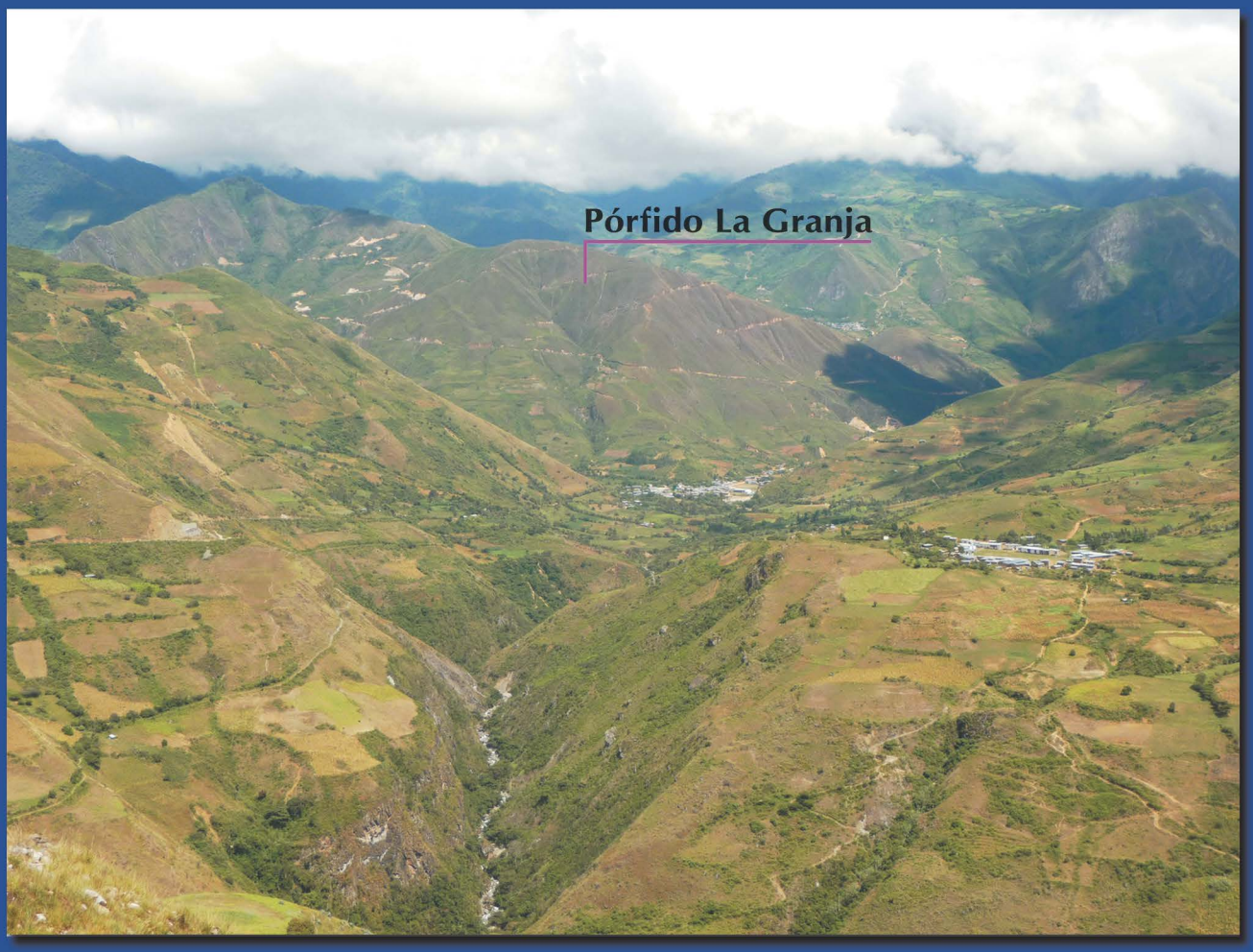
PERÚ | Ministerio de Energía y Minas | Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET

INGEMMET

Geología del cuadrángulo de Incahuasi, Hoja 13-e

Boletín Nº 148 Serie A
Carta Geológica Nacional
Escala 1:50,000



Por:

Fredy Jaimes Salcedo Alan Santos Polo

Juan Navarro Ramírez

Lima, Perú

2013

PERÚ | Ministerio de Energía y Minas | Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET

INGEMMET

Geología del cuadrángulo de Incahuasi, Hoja 13-e

Boletín N° 148 Serie A

Carta Geológica Nacional

Escala 1:50,000

Por:

Fredy Jaimes Salcedo

Alan Santos Polo

Juan Navarro Ramírez

Lima, Perú

2013

SERIE A: CARTA GEOLÓGICA NACIONAL,
N° 148, 2013.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013-19790
Razón Social: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
Primera Edición, INGEMMET 2013
Se terminó de imprimir el 20 de diciembre del año 2013 en los talleres de Imprenta Cano S.R.L., Jr. Recuay 530 - Breña

© **INGEMMET**
Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidenta del Consejo Directivo: Susana Vilca
Secretaria General: Elizabeth Ramos

Comité Editor: Susana Vilca, Víctor Carlotto, Lionel Fídel, Jorge Chira, Marden Rojas

Dirección encargada del estudio: Dirección de Geología Regional

Unidad encargada de edición: Unidad de Relaciones Institucionales.

Correción Geocientífica: Felix Bellido
Digitalización y SIG: Alan Santos
Corrección gramatical y de estilo: María del Carmen La Torre
Diagramación: Sonia Bermúdez

Portada: Pórfido La Granja

Referencia bibliográfica
Jaimes, F.; Santos, A. & Navarro, J. (2013) - Geología del cuadrángulo de Incahuasi (13-e), *INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 148, 114 p., 4 mapas.

Contenido

RESUMEN 1

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN 5

CAPÍTULO II
UNIDADES MORFOLÓGICAS 7

CAPÍTULO III
ESTRATIGRAFÍA 13

CAPÍTULO IV
PLUTONISMO 59

CAPÍTULO V
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL-TECTÓNICA Y EVOLUCIÓN GEODINÁMICA 69

CAPÍTULO VI
GEOLOGÍA ECONÓMICA 77

BIBLIOGRAFÍA 99

ANEXOS 103

RESUMEN

El cuadrángulo de Incahuasi (13-e) se localiza en el noroeste del Perú, en la zona de transición de los Andes centrales a los Andes septentrionales conocida como deflexión de Huancabamba y el límite norte de la deflexión de Cajamarca. Todo el área del cuadrángulo, geomorfológicamente, ocupa espacios de la Cordillera Occidental, que se caracteriza por presentar cumbres elevadas con altitudes que varían entre 300 a 4000 msnm, altiplanicies con altitudes que varían entre 3000 a 3500 msnm, valles con altitudes entre 700 a 900 msnm, montañas desde los 300 a 3200 msnm y diversas quebradas. Hidrográficamente, corresponde a la divisoria de la vertiente pacífica representada por el principal colector que es el río La Leche y la vertiente atlántica cuyo principal colector es el río Chotano.

Estratigráficamente presenta rocas desde las más antiguas a las más recientes, que corresponden a filitas con abundantes vetillas de cuarzo de segregación del Complejo de Olmos (Ordovícico inferior), flujos piroclásticos, lavas andesíticas y dacíticas de la Formación Oyotún (Jurásico medio-superior), flujos piroclásticos, areniscas, lutitas y grauvacas de la Formación Tinajones (Jurásico superior – Cretácico inferior), cuarcitas y areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano), calizas tipo *packstone* a *grainstone* de color amarillo rojizo bioturbadas de las formaciones Inca-Chulec (Albiano inferior-medio), calizas tipo *mudstone* color negro oscuro con fuerte olor fétido a veces fosilífero en estratos delgados de la Formación Pariatambo (Albiano medio), calizas margosas con niveles de lutitas y areniscas del Grupo Pulluicana (Albiano medio – Cenomaniano) y, cubriendo en discordancia a todas estas secuencias antiguas, se tiene a productos volcánicos, constituidos principalmente por flujos piroclásticos, lavas de composición andesítica, riolítica y dacítica correspondientes a los centros volcánicos de Tauromarca, La Granja, Cañariaco y Miracosta.

Las rocas plutónicas están distribuidas principalmente al oeste del cuadrángulo y en menor proporción en el extremo este. Corresponden a granodioritas, dioritas y granitos de la Unidad Carrizal, granodioritas, tonalitas y dioritas de la Unidad Páramo, tonalitas, cuarzo dioritas, monzogranitos y cuarzo monzogranito de la Unidad Penachi, granodioritas, granitos y sienogranitos, de la Unidad Tucto, gabros, granodioritas, granitos y sienogranitos de la Unidad LLacaden, dioritas, tonalitas y cuarzo monzonitas de la Unidad Tauromarca. Todos estos intrusivos aparentemente se encuentran frescos y presentan solamente alteración superficial; su edad probable es paleógena.

Estructuralmente, presenta tres dominios: Dominio Central que se caracteriza por presentar fallas regionales importantes de dirección NO-SE que cortan a intrusivos de las unidades Carrizal y Penachi, que habrían sido originados en una fase poscretácica. El Dominio Central se caracteriza por presentar pliegues de dirección NE-SO, que afectan a rocas volcano sedimentarias de la Formación Tinajones y a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga. El Dominio Oriental tiene como característica el ser una zona replegada con anticlinales y sinclinales de dirección NO-SE, los cuales afectan a rocas carbonatadas cretácicas.

El Complejo de Olmos (Ordovícico inferior) constituye el basamento metamórfico que fue afectado probablemente por una compresión polifásica entre el Devónico superior y el Missisipiano inferior, donde los primeros efectos de las orogenias del Paleozoico superior no son posibles de evidenciar, debido a que presentan escasos afloramientos y los datos son insuficientes, probablemente, como consecuencia de su posterior modificación durante los eventos tectónicos más recientes. Por lo tanto, es evidente que el Complejo de Olmos ha estado sujeto a un periodo complejo de plegamiento y metamorfismo continuo.

El ciclo sedimentario Triásico-Jurásico inferior termina en el Jurásico medio y se renueva los movimientos orogénicos con el retroceso del mar, época donde se inician los periodos de compresión acompañados por un vulcanismo de arco calcoalcalino producto de la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental, es así que la presencia del magmatismo de arco (Formación Oyotún) que involucra la Formación Tinajones, se instala sobre la margen continental activa confirmando la presencia de una zona de subducción para esta época (170-160 Ma).

El intervalo Neocomiano se caracteriza por el retroceso del mar y la sedimentación de una secuencia clástica de areniscas cuarzosas de ambiente eólico del Grupo Goyllarisquizga, iniciándose así una fuerte subsidencia y depositación.

El intervalo Albiano-Turoniano, está marcado por una larga transgresión marina y una importante actividad magmática a lo largo de la margen peruana, así como, el inicio de la deformación

compresional de la fase Mochica del Albiano superior, en esta época el noroeste del Perú se comportó como una cuenca extensa, donde se depositó una potente secuencia marina carbonatada de plataforma, determinada por las variaciones eustáticas del nivel del mar.

El intervalo Paleógeno-Neógeno, quizá viene a ser uno de los eventos mayores de la historia de los Andes, este evento es contemporáneo con una importante reorganización de la cinemática de placas datado de 58 a 56 Ma. En el Perú se encuentra una potente serie volcánica subaérea, datada entre 55 a 40 Ma. La actividad magmática del Eoceno es marcada por un leve desplazamiento hacia el este de la zona occidental del frente magmático. La discordancia en la base de los volcánicos paleógenos refleja la deformación durante el Cretácico superior (fase tectónica peruana) y/o Paleoceno (Inca I), la fase de deformación Inca II, podría corresponder al intervalo de edad de 44.2±1.2 Ma. La tectónica Inca II sugiere que la deformación ceso al menos 41 Ma y el tectonismo fue corto pero intenso, y alcanzó su pico máximo hace 43 Ma; esta tectónica es, además, contemporánea con el periodo de rápida convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica y, por lo tanto, puede reflejar un cambio importante en los patrones de los movimientos litosféricos.

La abundante actividad magmática producida a finales del Cretácico y durante el Paleógeno-Neógeno a lo largo de la Cordillera Occidental ocasionó el emplazamiento de numerosos centros de emisión, alguno de los cuales con importantes indicios de yacimientos metálicos de valor económico.

Las características geológicas de ocurrencias de yacimientos en el área del cuadrángulo de Incahuasi, nos permite definir tres franjas metalogenéticas. 1) Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au) relacionados a intrusiones del Mioceno, representadas por los pórfidos La Granja, Cañariaco, Pandachi y el prospecto de Chilasque. 2) Franja de pórfidos de Cu-Mo, relacionados con intrusiones del Paleógeno, representadas por el prospecto Rumichaca y en su prolongación hacia el cuadrángulo de Olmos por el Proyecto Molibdenita. 3) Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y polimetálicos con superposición epitermal del Oligoceno-Plioceno, representado por los prospectos de Peña Blanca, Peña Negra, Jehuamarca y Machaycal.

ABSTRACT

The Incahuasi Quadrangle (13-e) is located in northwestern Peru, in the transition zone of the central Andes to the northern Andes, known as Huancabamba deflection, and the northern edge of the Cajamarca deflection. Taking into account the geomorphological point of view, the whole area of the quadrangle occupies zones of the Western Cordillera, which are characterized by high peaks with altitudes ranging from 300-4000 m, plateaus with altitudes ranging from 3000-3500 m, valleys with altitudes between 700-900 meters, mountains with elevations between 300 to 3200 m and various streams. Hydrographically corresponds to the boundary of the Pacific flank which is mainly drained by the La Leche river, and the Atlantic flank whose main collector is the Chotano river.

The stratigraphic sequence from the oldest materials to the most recent ones, is represented by: phyllites with abundant quartz segregation veinlets of the Olmos Complex (Lower Ordovician), pyroclastic flows, andesitic and dacitic lava flows of the Oyotún Formation (Middle-Upper Jurassic), pyroclastic flows, sandstones, shales and greywackes of the Tinajones Formation (Upper Jurassic - Lower Cretaceous), quartzite and quartz sandstones of the Goyllarisquizga Group (Neocomian), packstone to grainstone type limestones reddish-yellow coloured and bioturbated of Inca-Chulec formations (Lower-Middle Albian), deep black and thin bedded calcareous mudstones with strong fetid smell, sometimes fossiliferous of the Pariatambo Formation (Middle Albian), marly limestones with shales and sandstones beds of the Pulluicana Group (Middle Albian - Cenomanian). Unconformably covering all these ancient sequences, there are a set of volcanic products, composed mainly of pyroclastic flows and andesitic, rhyolitic and dacitic lavas belonging to Tauromarca, La Granja, Cañariaco and Miracosta volcanic edifices.

Plutonic rocks outcrop mainly to the west of the quadrangle and to a lesser extent on the east end. They are represented by the granodiorites, diorites and granites of the Carrizal Unit, the granodiorites, tonalites and diorites of the Paramo Unit, the tonalites, quartz diorites, monzogranites and quartz monzogranites of the Penachí Unit, the granodiorites, granites and syenogranite of the Tucto Unit, the gabbros , granodiorites, granites and syenogranites of the Llacaden Unit, and the diorites, tonalites and quartz monzonites of Tauromarca Unit. All these intrusives, apparently are mildly altered and only show surface weathering. Their age is probably Paleogene.

In the studied area, there are three structural domains: The Central Domain that is characterized by important regional faults NW-SE affecting Carrizal and Penachí intrusive units that have been emplaced in a post-Cretaceous phase. The Central Domain, folds is characterized by NE-SW folds, affecting volcano sedimentary rocks of the Tinajones Formation and Goyllarisquizga Group quartzites. The Eastern Domain is characterized as an area with anticlinal and synclinal folds with NW-SE direction, which affect to the Cretaceous carbonate rocks.

Olmos Complex (Lower Ordovician) is the metamorphic basement, which was probably affected by polyphase compression between the upper Devonian and lower Missisipian, not being possible to identify the early effects of upper Paleozoic orogenies, because they exhibit scarce outcrops and the data are insufficient. It is probably due to subsequent modifications in the most recent tectonic events. Therefore, it is clear that Olmos Complex has been subject to a continuous period of folding and metamorphism.

The Triassic-lower Jurassic sedimentary cycle ends in the Middle Jurassic, due to the reactivation of orogenic movements, which produce the regression of the sea. At this stage start the compression events, accompanied by a calc-alkaline arc volcanism, which is produced by the subduction of the oceanic plate under the continental plate. This arc magmatism (Oyotún Formation) involving Tinajones Formation, is installed on the active continental margin, and evidences the presence of a subduction zone by this time (170-160 Ma).

Neocomian interval is characterized by a regression of the sea, and the sedimentation of the aeolian quartz sandstone clastic sequence of Goyllarisquizga Group, marking the beginning of a stage of strong subsidence and deposition.

The Albian-Turonian interval is marked by a long-term marine transgression, and by significant magmatic activity along the Peruvian margin, as well as the onset of the Mochica compressional deformation phase during the Upper Albian. At this time the northwestern Peru behaved like a vast basin, where a thick sequence of marine carbonate platform was deposited due to eustatic changes of sea level.

During the Paleogene-Neogene interval, occurs probably one of the major events in the history of the Andes, this event is contemporaneous with a major reorganization of plate kinematics, which is dated to 58-56 Ma. A thick subaerial volcanic series, dated between 55-40 Ma, is found in Peru. Eocene magmatic activity is characterized by a slight eastward shift of the western magmatic front. The unconformity at the base of the Paleogene volcanics, is a reflection of the deformation processes occurred during the Late Cretaceous (Peruvian tectonic phase) and / or Paleocene (Inca I phase). Inca II deformation phase, could take place during the age interval of 44.2 ± 1.2 Ma. The Inca II tectonic deformation suggests that ended at 41 Ma, and tectonism was short but intense, with its maximum peak 43 Ma ago. This tectonic event is also contemporaneous with the period of rapid convergence of Nazca and South America plates and, therefore, may reflect a major change in the lithospheric movement patterns.

The significant magmatic activity produced in the late Cretaceous and during the Paleogene-Neogene along the Western Cordillera caused the emplacement of numerous volcanic centers, some of which are associated with important evidences of metal deposits of economic value.

The geological features of the ore deposits occurrences in the Incahuasi quadrangle area, makes it possible to define three metallogenic belts. 1) A belt of Cu-Mo (Au) porphyries related to Miocene intrusions, represented by La Granja, Cañariaco and Pandachi porphyries and by the Chilasque prospect. 2) A belt of Cu-Mo porphyries, related to the Paleogene intrusions, represented by the Rumichaca prospect and its extension to the quadrangle of Olmos in the Molybdenite Project. 3) A belt of Au-Ag epithermal deposits and Oligocene-Pliocene polymetallic deposits with epithermal overprint, represented by the prospects of Peña Blanca, Peña Negra, Jehuamarca and Machaycal.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN Y ACCESO

El cuadrángulo de Incahuasi (13-e), se ubica en el noroeste del Perú, entre los 79° a 79° 30´ longitud oeste 6° 30´a 6° latitud sur, que comprende parte de los departamentos de Lambayeque y Cajamarca (Fig. 1).

El área es accesible por vía aérea Lima-Chiclayo y por la carretera asfaltada de la Panamericana Norte vía Lima-Chiclayo-Jaén. Desde la ciudad de Chiclayo, el acceso a la zona del área del cuadrángulo de Incahuasi es a través de diversas carreteras asfaltadas, entre ellas, la carretera asfaltada Chiclayo-Pucará-Jaén y Chiclayo-Chongoyape-Llama, esta misma conecta con la carretera afirmada en dirección a Querocoto y la Granja, lugar donde se encuentra el proyecto minero La Granja, también existen diversas carreteras de penetración que en parte son asfaltadas y afirmadas, como la carretera asfaltada Chiclayo-Batan Grande, de donde continua una carretera afirmada a lo largo de las márgenes del trayecto del río La Leche, en cuyo trayecto atraviesan los poblados de Mochumi Viejo, Laquipampa, Tingo, de este último parte dos ramales, uno en dirección norte que conduce a la localidad de Marayhuaca prosiguiendo hasta el proyecto minero Cañariaco, lugar donde finaliza el trayecto de esta carretera y otro que corresponde a la carretera afirmada que conduce en dirección este, hacia la localidad de Incahuasi. También existen numerosas carreteras y caminos de herradura por donde se puede ingresar al área del cuadrángulo (13-e).

OBJETIVOS

El principal objetivo de este nuevo boletín de la Serie A: Carta Geológica es la publicación del nuevo formato de los mapas a escala 1:50 000 del territorio peruano que ha adoptado el INGEMMET. Los otros objetivos están relacionados a las aplicaciones de información que van desde los aspectos científicos, técnicos hasta las exploraciones de los recursos geológicos como minerales, rocas, aguas subterráneas. Sin embargo, pensamos que el objetivo más importante es poner en conocimiento las nuevas

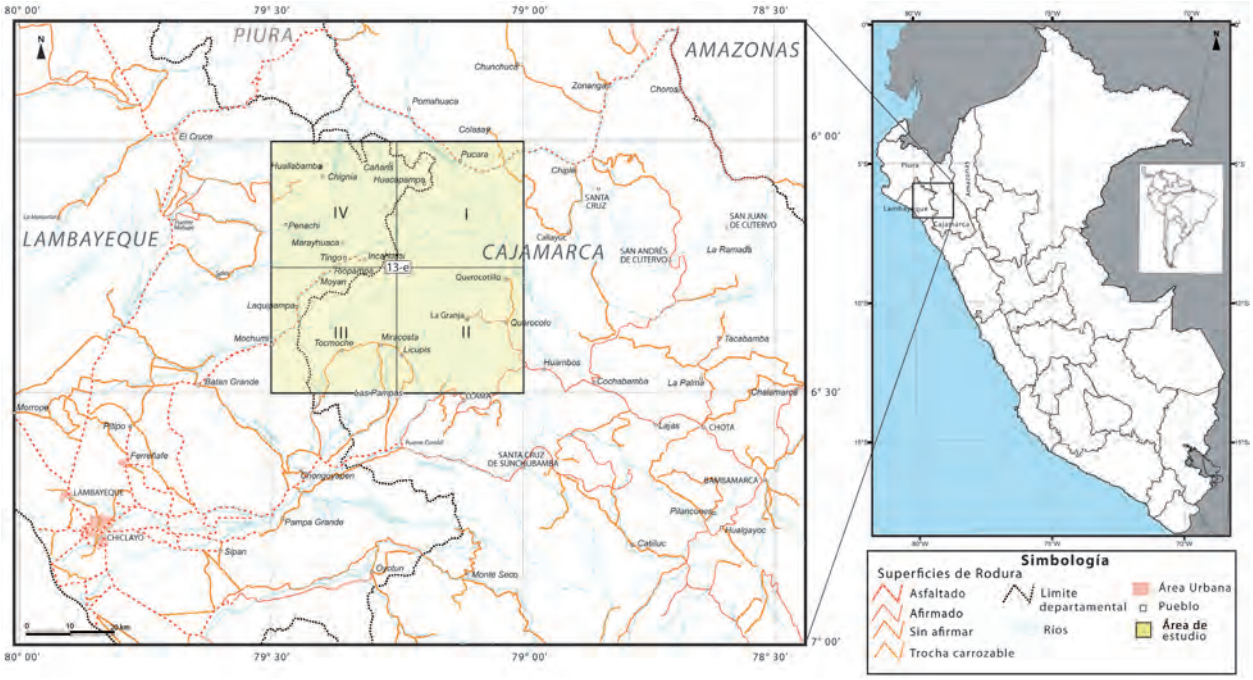


Figura 1. Mapa de ubicación del área del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

áreas potenciales para futuras exploraciones de yacimientos de minerales, esta información va a disposición de científicos, exploradores así como, de las autoridades y los pobladores para la evaluación de los recursos naturales y su aplicación en la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) y los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

PRESENTACIÓN

Se presentan cuatro mapas geológicos a escala 1:50 000 que corresponden a cuatro cuadrantes del cuadrángulo de Incahuasi (13-e). Estos mapas a escala 1:50 000 son el resultado de trabajos de campo y gabinete a escala 1:25 000 y sirvieron de base para la actualización de la carta geológica realizada por INGEMMET en el año 2010. El texto presenta un nuevo formato propuesto para los boletines de la Serie A: Carta Geológica. Este formato incluye anexos con diferentes mapas que acompañan a la carta geológica, como los mapas geomorfológicos, estructurales y de dominios tectónicos, así como, el mapa metalogenético que incluye la ubicación de prospectos y las zonas de interés para la exploración en este cuadrángulo. Tambièn, se acompaña un cuadro con las principales características geotécnicas, hidrogeológicas de las diferentes rocas del área del cuadrángulo de Incahuasi.

Todo este esfuerzo de juntar toda la información geológica es el resultado del trabajo en equipo con la cooperación internacional del Instituto Geológico Minero de España (IGME).

ESTUDIOS ANTERIORES

Son muy pocos los estudios anteriores de este cuadrángulo, entre los que resaltan El Boletín N° 38 Serie A carta Geológica Nacional (Wilson, 1984), donde describe todas las unidades en forma general, también se tiene estudios regionales como los realizados por Mourier, 1988 y uno de los pocos artículos referentes a los volcánicos paleógenos correspondientes a Noble et al.,1990 y diversos informes técnicos de diferentes compañías privadas, referentes a zonas potenciales de exploración de yacimientos minerales.

Por otro lado, se mencionan los trabajos de cooperación entre el INGEMMET y el Ministry of Overseas Development de gran Bretaña (Ministerio de Desarrollo de Ultramar), durante los años 1966 – 1970; sin embargo, uno de los trabajos más importantes sobre la estratigrafía de sistemas cretácicos en el norte del Perú, es la de Benavides (1956).

AGRADECIMIENTOS

Nuestros profundos agradecimientos a las personas que colaboraron en la realización del presente boletín y a quienes ayudaron en los trabajos. A las cooperaciones participantes como el Instituto Geológico Minero de España (IGME), al Proyecto Cañariaco en nombre del Ing. Reynaldo Vilca, quien con su apoyo posibilitó los trabajos en el área del proyecto, así mismo, los profundos agradecimientos a los practicantes Ronald Concha, Briant García, Jessica Paola Chapilliquén y Fredy Coaquira, por su apoyo en las correcciones y las ilustraciones finales.

CAPÍTULO II

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Se han reconocido cinco unidades geomorfológicas regionales o morfoestructurales: Cordillera Occidental, altiplanicies, valles, montañas de Mochumi y montañas de Pucará (Fig. 2).

CORDILLERA OCCIDENTAL

Corresponde a la zona más elevada, cuyas altitudes varían desde los 300 a 4000 msnm (Foto 1), su morfología ha sido modificada por varias etapas de levantamientos y erosión, aquí afloran rocas principalmente volcánicas de edad paleógena, que se encuentran cubriendo rocas más antiguas. La parte más elevada de la cordillera corresponde a la divisoria fluvial, de donde nacen los principales ríos y/o quebradas profundas que van incisando y formando grandes valles; así tenemos en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, al río La Leche que viene a ser el principal colector fluvial, cuyas aguas discurren hacia el Pacífico, mientras que, en el flanco este, el principal colector es el río Chotano, cuyas aguas van a dar al río Huancabamba, que en su recorrido llega a la confluencia con el río Marañón, este a su vez se juntará con el río Ucayali para formar el río Amazonas, que llevará estas aguas finalmente al océano Atlántico.

ALTIPLANICIES

Representan a superficies relativamente planas que se encuentran en las partes altas a manera de extensas pampas, con altitudes que varían entre los 3000 a 3500 msnm (Foto 2), donde afloran rocas volcánicas de edad paleógena, que cubren a rocas más antiguas, a veces rellenando paleo-relieves. Estas unidades geomorfológicas se han dividido a su vez en tres zonas denominadas como: 1) Altiplanicie de Marayhuaca, ubicada al NO del área de estudio. 2) Altiplanicie de Tucto, ubicada en la parte central del cuadrángulo, que corresponde a las partes altas de Incahuasi y 3) Altiplanicie de Miracosta, que se encuentra al SE del área y corresponde a las partes altas de la localidad de La Granja y Miracosta.

VALLES

Corresponden a valles jóvenes en proceso de desarrollo, con altitudes que varían entre los 700 a 900 msnm (Fotos 3 y 4), siendo el valle del río Huancabamba (cuadrante I), el que alcanzó mayor desarrollo. Otro valle desarrollado, es el valle del río La Leche (cuadrante III), que corresponde a un valle que se formó en la transición de la Cordillera Occidental y la zona costera. Todos estos valles en sus márgenes presentan extensas terrazas rellenos por material aluvial y fluvial, los cuales son aprovechados como terrenos de cultivo, donde se siembra principalmente arroz.

MONTAÑAS DE MOCHUMI

Se encuentra en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, con altitudes que varían entre los 300 a 700 msnm (Foto 5), donde afloran rocas volcanosedimentarias de la Formación Tinajones del Jurásico superior-Cretácico inferior, rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga del Neocomiano y las formaciones Inca-Chulec, Pariatambo de edad Cretácico inferior.

MONTAÑAS DE PUCARÁ

Esta unidad se encuentra en el flanco este de la Cordillera Occidental, donde es incisada por grandes valles y pequeñas quebradas, sus altitudes varían entre los 900 a 3200 msnm (Foto 6), la geología corresponde a rocas antiguas volcano-sedimentarias de la Formación Oyotún de edad Jurásico medio a superior, sobre las que se encuentran rocas del Grupo Goyllarisquizga del Neocomiano y las formaciones Inca-Chulec, Pariatambo del Cretácico inferior y Grupo Pulluicana del Cretácico superior.

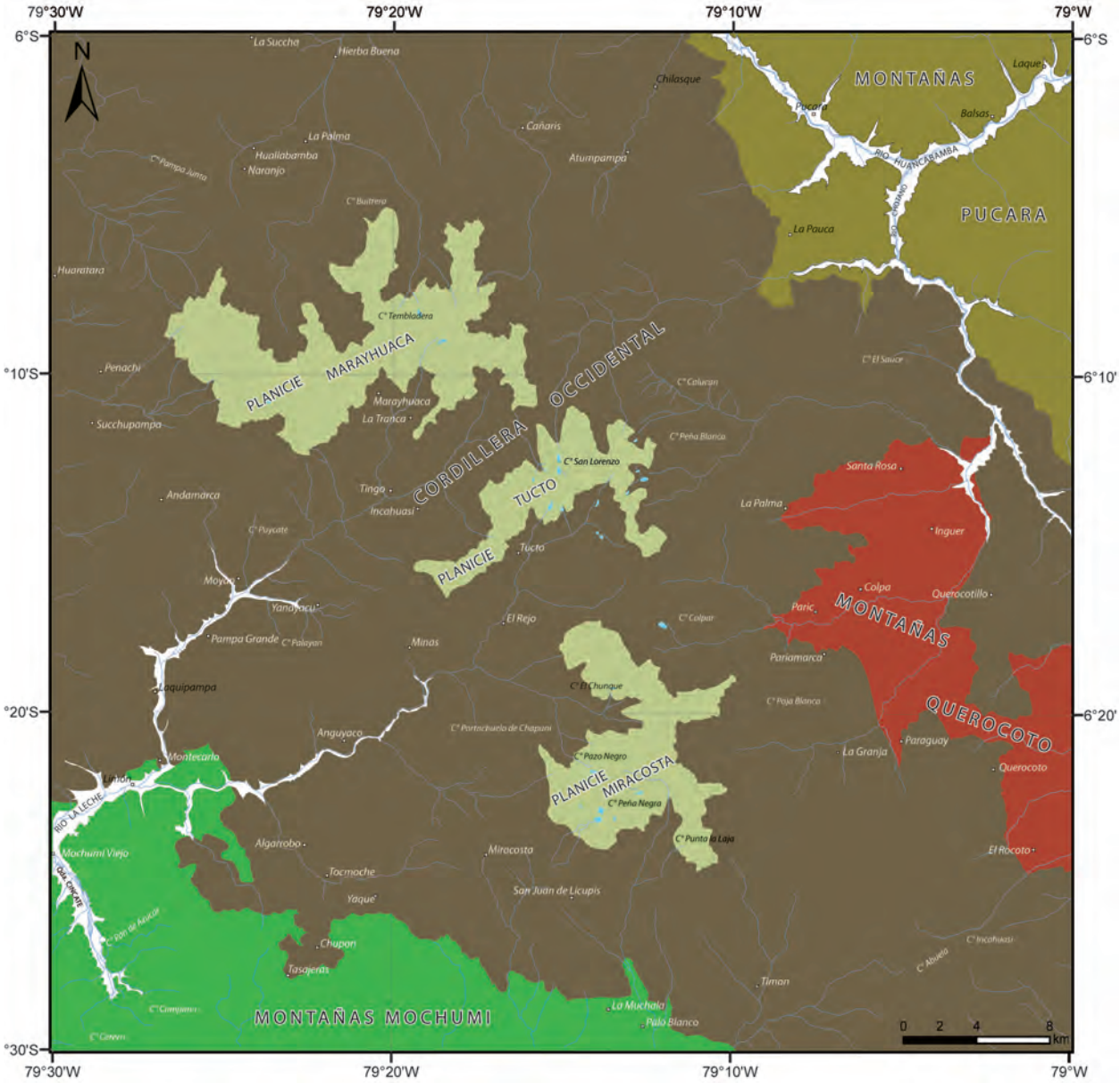


Figura 2. Mapa geomorfológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Foto 1. Al fondo el cerro Andahuayla de la cordillera occidental en el sector de Palo Verde.

Foto 2. Altiplanicies, sector alto de Marayhuaca.

Foto 3. Valle del río La Leche con zonas de cultivo, sector el Limón.

Foto 4. Valle del río Huancabamba, sector de Pucará.

Foto 5. Montañas de Mochumi, sector de Pampas.

Foto 6. Montañas de Pucará, sector del mismo nombre.

CAPÍTULO III

ESTRATIGRAFÍA

Las secuencias sedimentarias y volcanosedimentarias que afloran en el área del cuadrángulo de Incahuasi comprenden unidades que van desde el Paleozoico inferior al Cuaternario (Fig. 3), quizá la secuencia más completa se tenga en el rio Huancabamba sector de Pucará (Foto 7), a excepción del Paleozoico inferior que aflora solamente en pequeñas ventanas en los sectores Huallabamba (cuadrante IV) y entre Chilasque y Atunpampa (cuadrante I). Este trabajo ha sido complementado con el estudio de secciones delgadas de las principales unidades magmáticas y sedimentarias, además a partir de la estratigrafía se ha elaborado un cuadro con las principales características metalogenéticas, hidrogeológicas y geotécnicas del área del cuadrángulo de Incahuasi (mapa de ubicación de secciones delgadas y tabla en anexos).

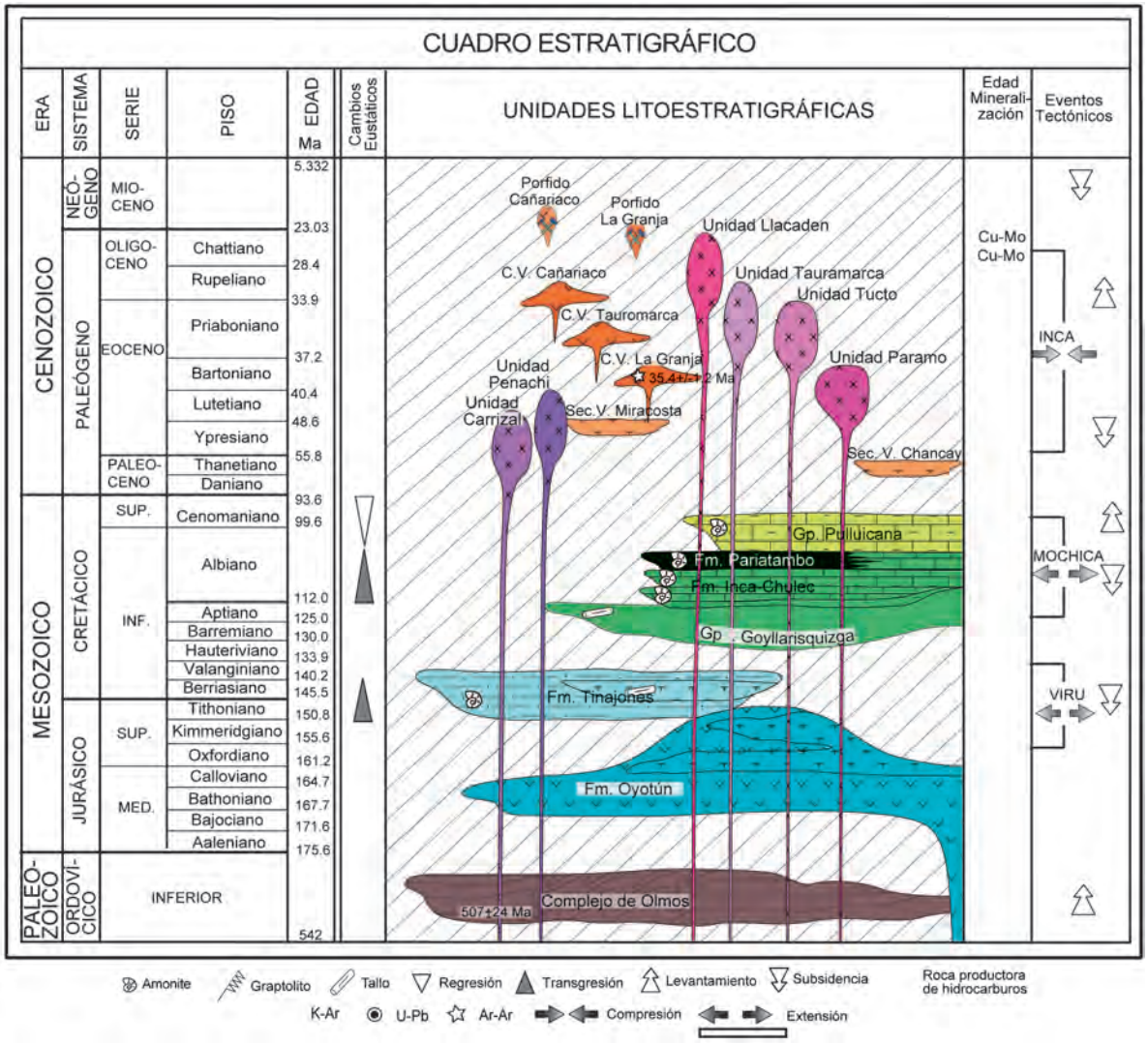


Figura 3. Cuadro de unidades litoestratigráficas del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

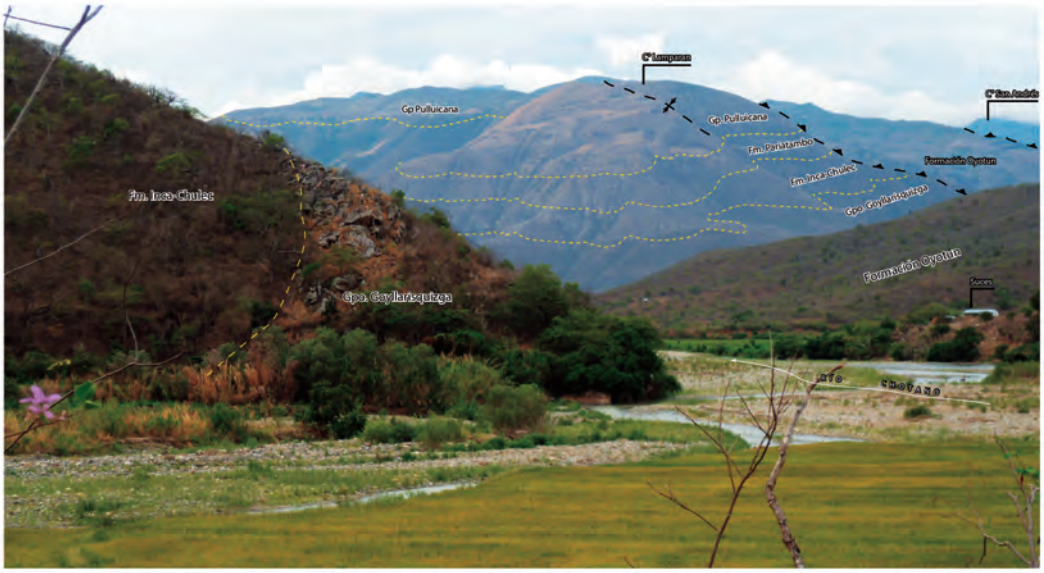


Foto 7. Secuencia estratigráfica que abarca el Jurásico medio a superior y gran parte de la secuencia del Cretácico inferior. Vista tomada desde el río Chotano, al frente (margen derecha del rio Huancabamba), se observa el cerro Lamparán.

COMPLEJO DE OLMOS (ORDOVÍCICO INFERIOR)

Definición y relaciones estratigráficas. Baldock (1977) definió esta formación como una secuencia perteneciente al Paleozoico inferior, posteriormente, Cobbing *et al*. (1981), define como Arco de Olmos a la prolongación meridional de la cordillera Real del Ecuador, que está constituida principalmente por materiales atribuidos al Paleozoico inferior. Los datos sobre el macizo son muy pocos. Pardo y Sanz (1979) utilizaron por primera vez las observaciones de Fischer et al. (1952) y los reportes de Baldock (1977), sobre las hojas de Olmos y Pomahuaca, donde las interpretaciones y observaciones son reinterpretadas por Cobbing et al. (1981); Wilson (1984); Reyes y Caldas (1987) y últimamente Jaimes et al. (2011)

No se reporta la base del Complejo de Olmos; sin embargo, en el sector de Huallabamba del cuadrante I, aflora a manera de una ventana por erosión y fallamiento, donde infrayace en discordancia angular a una potente secuencia de flujos piroclásticos del centro volcánico Tauromarca, intruido por un cuerpo monzogranítico de edad paleógena. En el sector de Chilasque (cuadrante I), infrayace en discordancia a secuencias volcanosedimentarias de la Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior), afectadas por intrusiones de dioritas, andesitas y dacitas porfiríticas.

Litología y ambiente sedimentario. En la localidad de Huallabamba y a lo largo de la quebrada Chilasque afloran principalmente filitas negras de ambiente marino con abundantes vetillas de cuarzo de segregación, con una estratificación poco definida e intensamente deformadas. En general, estas rocas están afectadas por un metamorfismo de bajo grado (Jaimes et al., 2011).

Edad. Trabajos anteriores consideraban al Complejo de Olmos como una zona muy deformada de edad precámbrica (Reyes y Caldas, 1987). Recientes trabajos Jaimes et al., 2008 - 2011 demuestran que la deformación intensa de la esquistosidad principal solo se ha producido en el núcleo de esta unidad pasándose, progresivamente a zonas poco deformadas hacia zonas externas (este y oeste del complejo), como se puede apreciar a lo largo de la carretera Olmos-Jaén. (Jaimes et al., 2011). En base a estos argumentos, además de últimas dataciones U-Pb en muestras del Complejo de Olmos, se da una edad más reciente en detritos de circón de 507+/-24 Ma confirmando que el Complejo de Olmos es Fanerozoico, por lo tanto, Paleozoico inferior (Chew et al., 2008), lo que ha sido contrastado con fósiles encontrados en la zona poco deformada; se trata de restos de graptolites de la forma dendroidea del genero *Dyctionema* sp., identificados por Rangel (en Ochoa, 1985) en la carretera Morropón-Canchaque.

FORMACIÓN OYOTÚN (JURÁSICO MEDIO - SUPERIOR)

Definición y relaciones estratigráficas. Fue definida primeramente como volcánicos Calabozo por (Fischer, 1952) quien en el río La Leche agrupa a las secuencias volcánicas y volcanosedimentarias en una sola unidad, luego esta misma columna ha sido revisada, definiendo como Formación Oyotún a la parte inferior y Formación Tinajones a la parte superior ; posteriormente (Pardo & Sanz, 1979) a estas mismas secuencias le asignan el nombre de Formación Colán, pero que no representa a la verdadera magnitud del vulcanismo ocurrido en la parte más oriental, ubicada entre el Complejo de Olmos y el Macizo del Marañón, donde se desarrolló una intensa actividad volcánica a la que (Baldock, 1977; Wilson, 1984; Reyes y Caldas, 1987) la denominan como Formación Oyotún. Posteriormente (Mourier, 1988; Romeuf et al., 1995) nuevamente retoman el nombre de Formación Colán. Ultimamente Jaimes et al. (2011), nuevamente lo nombra como Formación Oyotún, sugiriendo que la localidad tipo corresponde a la localidad de Oyotún, en donde se encuentra el mayor volumen y extensión de estos volcánicos, por lo tanto, se denominará en adelante como Formación Oyotún, a todos los afloramientos similares. En el cuadrángulo de Incahuasi, tienen su mayor extensión los afloramientos ubicados en ambas márgenes del río Huancabamba (cuadrante I), que comprende las localidades de Pucará, Balsas, Playa Azul y Huayacán. En el cuadrante IV, estos volcánicos afloran en los alrededores de Llaque y en las márgenes del río Lanchaco; además en esta parte se encuentran afectados por intrusiones de dioritas de la Unidad Penachi. En ningún lugar, se ha observado la base de estos volcánicos; sin embargo, infrayace en aparente concordancia, a secuencias volcanosedimentarias de la Formación Tinajones y algunas veces a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga, como en el sector de Pucará y el mismo lugar de Oyotún.

Litología y ambiente sedimentario. Está compuesta por lavas de composición andesítica y dacítica, junto a niveles de flujos piroclásticos (Figs. 4 y 5). Las secuencias observadas en el río Huancabamba corresponden a flujos piroclásticos, lavas andesíticas (Foto 8), cuarzo andesitas, dacitas y riolitas, ligeramente alteradas. En el sector de El Porvenir (cuadrante I), estas secuencias volcánicas de la Formación Oyotún se superponen con flujos piroclásticos del centro volcánico Tauromarca (Paleógeno), siendo en muchos casos difícil poner el límite estratigráfico. En el río Lanchaco (cuadrante IV), está constituida principalmente por lavas de composición andesítica y andesítica basáltica muy compactas, afectadas por intrusiones de cuarzo dioritas y monzogranitos de la Unidad Penachi.

El espesor puede variar entre 400 a 500 m a más, aunque es difícil precisar su verdadero espesor, puesto que no presentan una estratificación definida, debido al fuerte fracturamiento que ha sufrido durante la deformación andina. Geoquímicamente, las rocas volcánicas de la Formación Oyotún corresponden a lavas calcoalcalinas emplazadas en un modelo de arco continental. (Romeuf, 1994).

Estudio petrográfico

Andesita (GR9-10-108, UTM 667171, 9316616). La textura porfirítica (Foto 9A) está constituida por cristales de plagioclasas, subhedrales, que se alteran ligeramente a sericita, epidotas, arcillas, carbonatos y biotita, microfracturas rellenas por minerales de epidotas, carbonatos y opacos, las plagioclasas también remplazan a otros minerales. El cuarzo se presenta en cuatro variedades: el cuarzo I o cuarzo primario de 0.30 mm se encuentra en intersticios de la matriz con inclusiones de apatito; el cuarzo II de 0.15 mm, altera moldes de otros cristales; el cuarzo III de 0.07 mm, altera la matriz; el cuarzo IV de 0.02 mm se encuentra rellenando vetillas. Los minerales opacos, presentan cristales diseminados anhedrales a euhedrales, remplazando a plagioclasas, algunos de los cuales se encuentran oxidados. Los piroxenos, se presentan en cristales subhedrales de 0.10 mm, que se alteran a carbonatos y epidotas. Los carbonatos en cristales anhedrales alteran a plagioclasas y piroxenos, a veces rellenan intersticios de la matriz y microfracturas de minerales opacos. La biotita en cristales de 0.01 mm alteran a plagioclasas. Las epidotas alteran a plagioclasas, piroxenos y rellenan microfracturas e intersticios de la matriz. El apatito se presenta en cristales subhedrales a euhedrales, incluidos en cristales de cuarzo.

. Minerales principales: plagioclasas (77 %)

. Minerales secundarios: cuarzo III (4 %), arcillas (4 %), carbonatos (<1 %), biotita, epidotas, sericita, cuarzo II y cuarzo IV, carbonatos (<1 %)

. Minerales accesorios: opacos (8 %), cuarzo I (4 %), biotita (<1 %).

. Trazas: piroxenos y apatito.

. Alteración: silicificación, débil argilización, carbonatación, biotitización y epidotización incipiente.

Cuarzo andesita (GR9-09-332, UTM 718732, 9333211). La textura porfirítica con matriz micropoiquilítica (Foto 9B) presenta fenocristales y agregados de plagioclasas de formas euhedrales a subhedrales con bordes redondeados, maclados y zonados que se alteran a sericita, epidota, carbonatos y clorita. Las microfracturas están rellenas por cloritas, carbonatos, minerales opacos y óxidos de hierro. La biotita, en cristales subhedrales de 0.05 mm, alteran moldes de cristales en intersticios de la matriz y rellenan fracturas, alterándose ligeramente a cloritas. El cuarzo presenta dos variedades: el cuarzo I o cuarzo primario, se encuentra en la

matriz con inclusiones de plagioclasas; el cuarzo II, en agregados anhedrales de 0.03 mm rellena finas vetillas. Las epidotas en cristales y agregados alteran a fenocristales de plagioclasas y rellenan escasos moldes de fenocristales. Los carbonatos alteran moldes de fenocristales y rellenan microfracturas de plagioclasas e intersticios de la matriz. Las cloritas, junto a epidotas, alteran moldes de minerales máficos, posiblemente anfíboles.

- Minerales principales: plagioclasa (65 %), cuarzo I (16 %).
- Minerales secundarios: biotita (9 %), clorita (3 %), arcillas (2 %), sericita (1 %), epidotas (1 %), cuarzo II, óxidos de hierro.
- Minerales accesorios: minerales opacos 1 %, cuarzo 1 %.
- Trazas: carbonatos, óxido de hierro, esfena, apatito.

Alteración: biotitización, cloritización y débil argilización, sericitización y epidotización muy débil, carbonatación, silicificación y oxidación incipiente.

Riolita (GR9-09-334 UTM 689247, 9343247). La textura esferulítica (Foto 9C) presenta cristales de feldespato potásico en agregados esferulíticos como constituyente esencial de la roca por devitrificación, las microfracturas están rellenas por óxidos de hierro. El cuarzo, se presenta en tres variedades: El cuarzo I o cuarzo primario de 0.75 mm, presenta formas angulosas y bordes corroídos, englobados en esferulitos de feldespatos; el cuarzo II, en forma anhedral, altera moldes de cristales y esferulitos junto a feldespatos potásicos devitrificados y en intersticios; el cuarzo III, rellena vetillas. Las plagioclasas, presentan cristales euhedrales de 1.30 mm que se alteran a arcillas. Los minerales opacos ocurren como cristales euhedrales a subhedrales a veces aciculares de 0.07 mm, se encuentran diseminados y parcialmente orientados en intersticios, así como, en finas vetillas, alterándose a óxidos de hierro. La biotita en cristales de 0.42 mm son muy escasos, se presentan como inclusiones en esferulitos de feldespatos y se alteran a cloritas. La moscovita se encuentra como inclusiones en esferulitos y en vetillas. Los carbonatos, como agregados anhedrales rellenan vetillas y bordes de cavidades, localmente están impregnados por óxidos de hierro. La calcedonia ocurre en bordes de cavidades de esferulitos y rellenando vetillas. El vidrio volcánico se presenta como relictos en esferulitos. La arcilla se presenta en agregados criptocristalinos y altera a feldespatos potásicos, plagioclasas y a intersticios.

- Minerales principales: feldespato potásico (33 %).
- Minerales secundarios: arcillas (15 %), calcedonia, cuarzo III (2 %), cuarzo II (30 %), óxidos de hierro, carbonatos.
- Minerales y componentes accesorios: minerales opacos (7 %), calcedonia (5 %), cuarzo I (2 %), vidrio volcánico (2 %).
- Trazas: biotita, moscovita, óxidos de hierro.
- Alteración: intensa silicificación, débil argilización, oxidación y carbonatación incipiente.

Cuarzo andesita porfirítica (GR9-09-336, UTM 684945, 9346327). La textura porfirítica (Foto 9D) presenta fenocristales y agregados de plagioclasas con maclas, zonados con inclusiones de apatito y microfracturas rellenas por sericita y carbonatos; se alteran a sericita, arcillas, epidotas cloritas y carbonatos; algunos cristales constituyen la matriz. El cuarzo, como cristales primarios de 0.07 mm, constituye la matriz. El feldespato potásico, en microcristales conforma la matriz y se altera a arcillas. Los minerales opacos presentan formas euhedrales a subhedrales y están diseminados; algunos cristales microfracturados están rellenos por cloritas y óxidos de hierro, rodeados por carbonatos y epidotas y ligeramente oxidados. Los carbonatos, junto a cloritas, alteran a plagioclasas y a moldes de fenocristales máficos; pueden rellenar intersticios de la matriz y microfracturas de plagioclasa; algunos cristales se encuentran rodeados por cloritas y teñidos por óxidos de hierro. Las cloritas son agregados fibrosos localmente dispuestos en forma radial, que alteran moldes de fenocristales de plagioclasas. Los xenolitos son fragmentos de roca granular posiblemente diorita. Las arcillas en agregados criptocristalinos, alteran a fenocristales de plagioclasas y a la matriz. Las epidotas, presentan cristales anhedrales que junto a carbonatos alteran a fenocristales de plagioclasas y a moldes. La esfena en cristales euhedrales a subhedrales de 0.02 mm se presenta como inclusiones en carbonatos.

- Minerales principales: plagioclasas (57 %), cuarzo (13 %).
- Minerales secundarios: cloritas (7 %), carbonatos (4 %), arcillas (7 %), sericita (1 %) y epidotas.
- Minerales accesorios: feldespatos potásicos (8 %) y minerales opacos (2 %).
- Trazas: epidota, apatito y esfena.
- Alteración: cloritización, argilización, débil carbonatación, muy débil sericitización y epidotización incipiente.

Edad. Se ha encontrado fauna en niveles sedimentarios contemporáneos al vulcanismo, se trata de ammonites *(perisphinctes* sp.*, Dichotomosphinctes* sp.*)* de edad Oxfordiana (Fig. 4), además también fueron reportados bivalvos Calovianos (Mourier, 1988). Esta formación se correlaciona con sus similares del sur del Perú (Formación Río Grande y Chala) y sur del Ecuador (Formación Misahualli). En Ecuador se obtuvo una edad radiométrica $^{40}Ar/^{39}Ar$ de 172 Ma para la Formación Misahualli. En el sur del Perú nuevas edades $^{40}Ar/^{39}Ar$ confirman una edad cercana a 165 Ma para los flujos de andesitas basálticas de la Formación Chala (Romeuf, 1994), por lo tanto, según esta información la edad asignada a la Formación Oyotún es del Jurásico medio a superior.

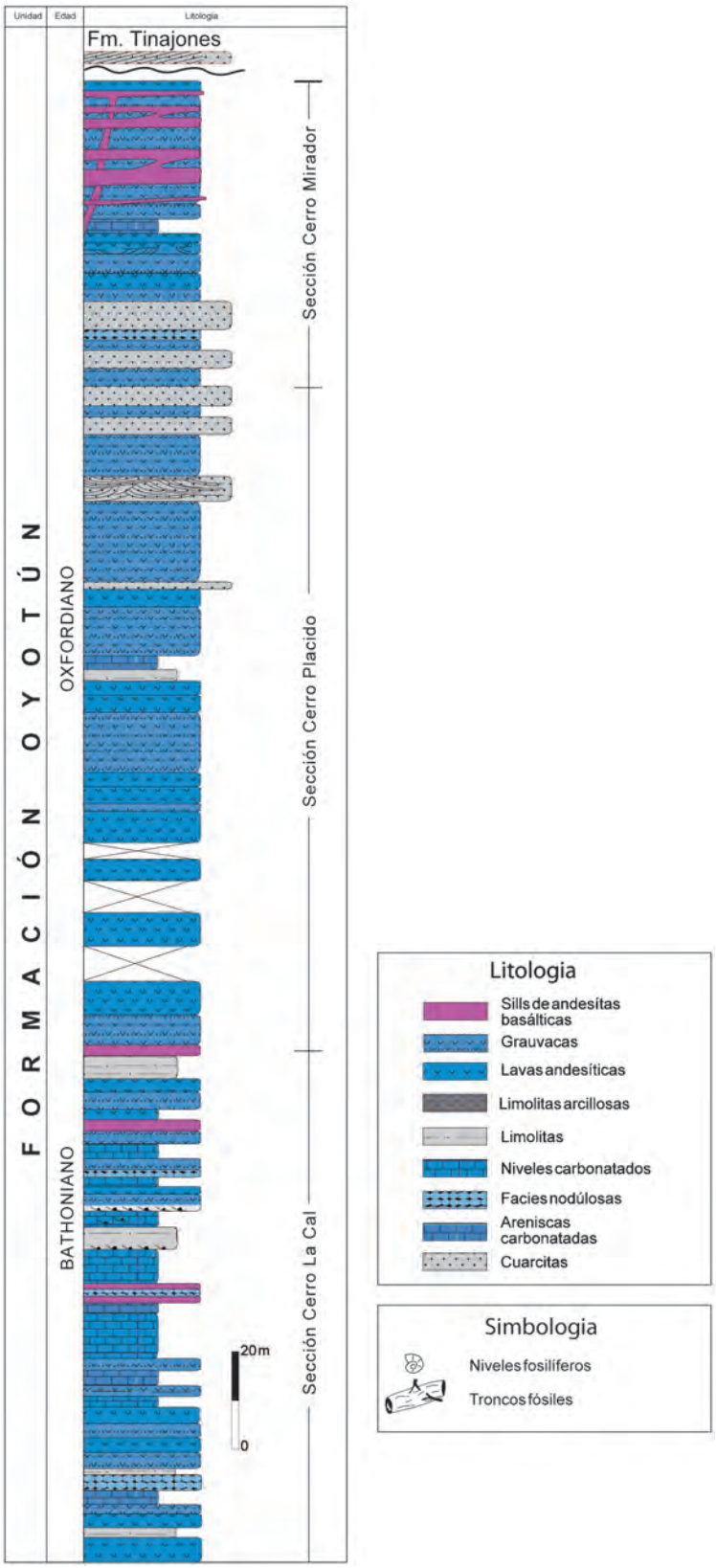


Figura 4. Columna estratigráfica de la Formación Oyotún levantada en la ruta Chiclayo - Chongoyape (Modificada de Mourier, 1988).

Foto 8. Lavas andesíticas de la Formación Oyotún intensamente fracturadas, en la margen derecha del río Huancabamba sector de Playa Azul (cuadrante I).

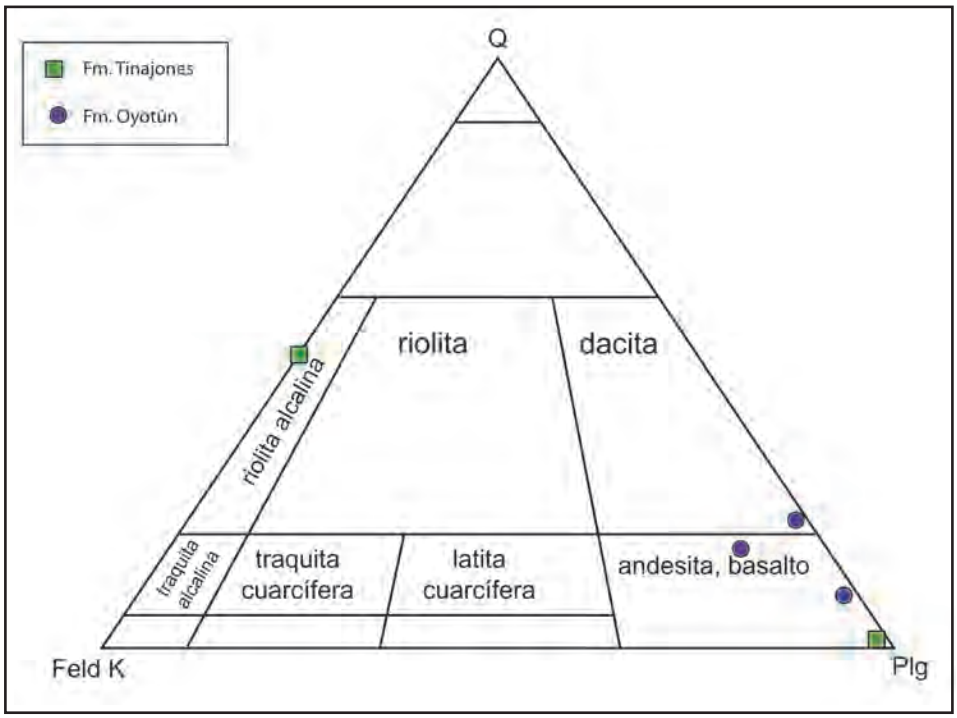


Figura 5. Clasificación de rocas volcánicas de las formaciones Oyotún y Tinajones, según Streckeisen, 1974.

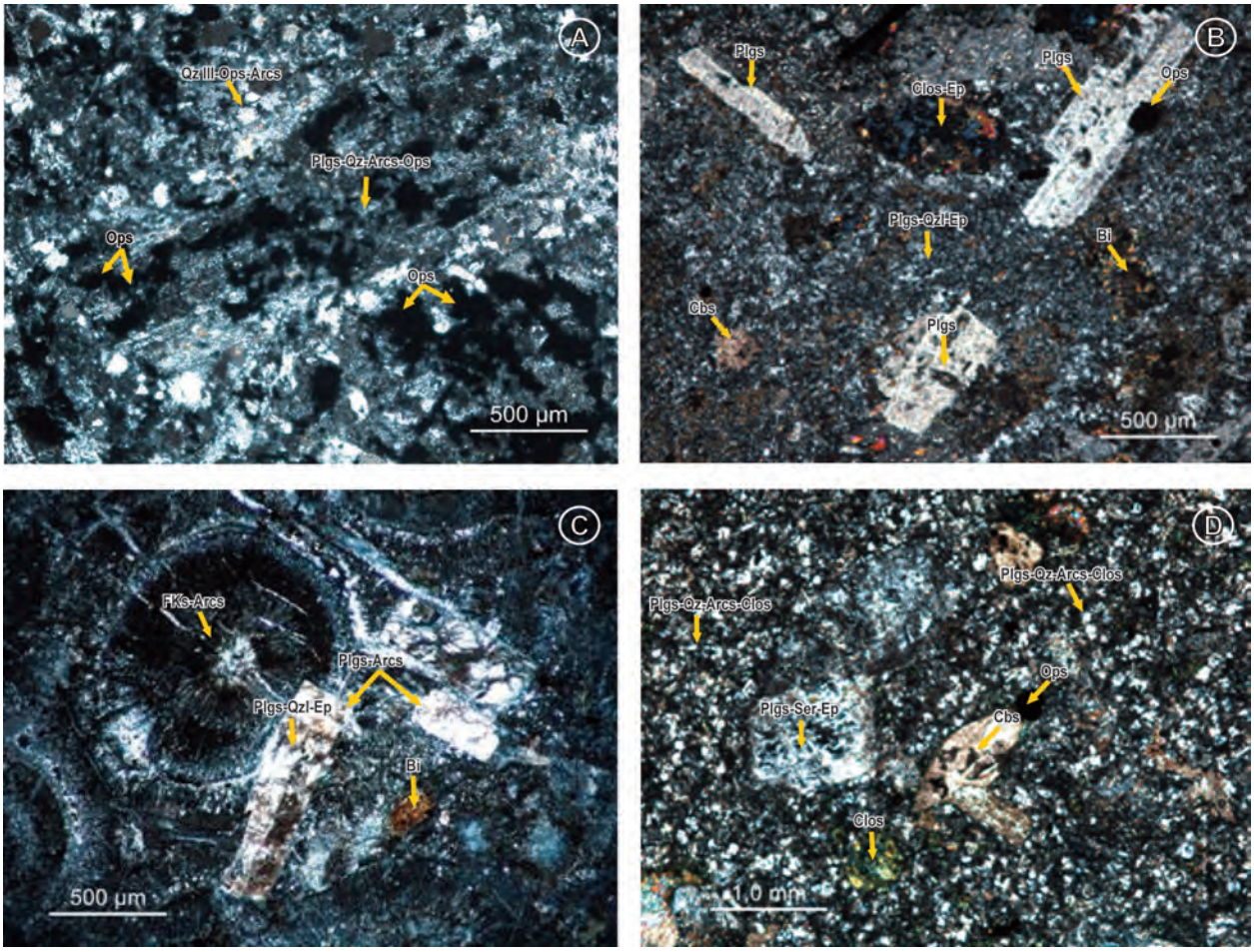


Foto 9. NX **A)** GR9-10-108 **Andesita** con cristales de plagioclasas alterados por arcillas, carbonatos y minerales opacos (Plgs-Arcs-Cbs-Ops). Matriz de plagioclasas, cuarzo y arcillas (Plgs-Qz-Arc), con inclusiones de minerales opacos (Ops) diseminados. **B)** GR9-09-332 **Cuarzo andesita** con fenocristales de plagioclasas (Plgs), moldes de fenocristales alterados por cloritas, epidotas (Clos-Ep) y biotita (Bi); molde de cristal alterado por carbonatos (Cbs) en matriz de cuarzo, plagioclasas con epidotas intersticiales (Plgs-Qz-Ep); minerales opacos diseminados (Ops). **C)** GR9-09-334 **Riolita** con cristales de plagioclasas alterándose a arcillas (FKs-Arc), biotita (Bi) y esferulitos constituidos por feldespatos alterados a arcillas (FKs-Arcs). Ocurre también vetillas de calcedonia (Ccd) que corta a cristales de plagioclasas. **D)** GR9-09-336 **Cuarzo andesita porfirítica** con fenocristales de plagioclasas alterados a sericita y epídotas (Plgs-Ser-Ep), moldes de fenocristales alterados a carbonatos (Cbs) o cloritas (Clos) en matriz de plagioclasas, cuarzo, arcillas y cloritas; minerales opacos diseminados (Ops).

FORMACIÓN TINAJONES (JURÁSICO SUPERIOR – CRETÁCICO INFERIOR)

Definición y relaciones estratigráficas. Fue descrita por Bonstarf (en Wilson, 1984); como una secuencia de rocas sedimentarias arenosas, intercaladas con tobas y grauvacas, cuya localidad tipo se encuentra en las cercanías de la represa de Tinajones, donde aparentemente yace concordante sobre la Formación Oyotún. En el cuadrángulo de Incahuasi (13-e), los afloramientos se presentan de manera discontinua; sin embargo, su mejor exposición está a lo largo del río La Leche, que comprende las localidades de Mochumi Viejo y el Algarrobito (cuadrante III), donde probablemente sea el máximo espesor registrado de esta formación. En las localidades de Algarrobo y Agua Colorada afloran como núcleos de anticlinales, cuyos flancos están cubiertos por rocas cretácicas. Estas secuencias volcánicas también afloran en sectores donde hubo fuerte erosión, como es el caso del sector de Paric, ubicado al norte del cuadrante II, donde los afloramientos se encuentran en la parte baja del río Chongoyapito, cubiertos por secuencias sedimentarias cretácicas y flujos piroclásticos del centro volcánico La Granja. Otro sector en el cual afloran estas secuencias son las localidades de Suychuco y Patipampa, ubicadas al este y sur respectivamente del cuadrante I. En la localidad de Cañaris, presenta afloramientos en cortes de carretera, gran parte cubiertos por secuencias volcánicas paleógenas (cuadrante IV).

En todo el área del cuadrángulo de Incahuasi no se ha observado el contacto inferior; sin embargo, en el cuadrángulo de Chongoyape (14-e), cerca de la represa de Tinajones, sobreyace concordante sobre la Formación Oyotún e infrayace a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano) (Foto 10); sin embargo, la litología varia lateralmente según a la correlación de la (Fig. 7), es así que en el valle de Chicama las secuencias de la Formación Tinajones están constituidas por areniscas fluvio deltaicas intercaladas con lutitas negras, mientras que, en el valle del rio Huancabamba, esta misma formación presenta principalmente grauvacas, lavas andesíticas, flujos piroclásticos, niveles calcáreos, limolitas y areniscas feldespáticas.

Litología y ambiente sedimentario. Una columna estratigráfica levantada en la margen izquierda del río La Leche, entre Mochumi Viejo y Limón (cuadrante III), reporta un espesor de 125 m (Figs. 6 y 7), el cual se ha dividido en cuatro grandes secuencias: la primera secuencia está constituida por una intercalación de flujos piroclásticos que contiene restos de troncos silicificados y flujos de cenizas muy compactas de composición riolítica, con restos de especies sin determinar. Estas características litológicas definen a esta secuencia como de ambiente de frente deltaico con influencia de un arco volcánico. La segunda secuencia está constituida por gruesos estratos de areniscas cuarzo feldespáticas de grano medio a grueso con estructuras internas de laminaciónes horizontales y canales microconglomerádicos con intraclastos, típicos de llanura deltaica. La tercera secuencia está constituida por cuarcitas grises de grano fino en estratos de 20 a 30 cm, intercaladas con delgados niveles de lutitas color verde, esquistosas, en estratos delgados de 10 cm. La parte superior de esta secuencia presenta una coloración rojiza ferruginosa, y corresponde a un ambiente de llanura deltaica con influencia marina. La cuarta secuencia consta de grauvacas colores verdosos muy esquistosas (Fotos 11, 12A, 12B, 12C, 12D y 12F).

En los sectores de Tute, San José y Gramalote de los cuadrantes I y IV, presentan secuencias de lavas de andesitas basálticas (Fotos 13A y 13B), intercalados con lutitas negras.

Estudio petrográfico

Andesita basáltica GR9-10-125 (UTM 692846, 9328348). La textura porfirítica (Foto 13B), presenta fenocristales de plagioclasas, subhedrales a euhedrales de 2 mm, maclados y zonados, con inclusiones de piroxenos y minerales opacos; en la matriz presenta microcristales tabulares parcialmente orientados de 0.12 mm. El cuarzo tiene formas redondeadas de 0.50 mm y está rodeado por piroxenos de la matriz, también forma agregados anhedrales de 0.03 mm con carbonatos alterando moldes de cristales. Los piroxenos ocurren en cristales subhedrales a euhedrales de 1mm, microfracturados con inclusiones de plagioclasas. En la matriz, se presenta en intersticios como pequeños cristales de 0.01 mm. Los minerales opacos son cristales subhedrales a euhedrales de 0.01 mm, diseminados en la matriz y ligeramente alterados por óxidos de hierro. La esfena forma cristales de 0.13 mm que se encuentran en moldes silicificados y en plagioclasas de la matriz.

- Minerales principales: plagioclasas (83 %).
- Minerales secundarios: cuarzo (<1 %).
- Minerales accesorios: piroxenos (8 %), minerales opacos (7%).
- Trazas: carbonatos, esfena.
- Alteraciones: silicificación y carbonatación incipiente.

Lutitas silicificadas GR9-10-93 (UTM 692369, 9327106). La textura bandeada (Foto 13C), presenta cristales de arcillas en agregados criptocristalinos o en moldes lenticulares, orientados a lo largo de las bandas claras y oscuras, también se presentan en la matriz. Las plagioclasas son cristales subhedrales maclados de 0.10 mm. El cuarzo se presenta en varias generaciones: el cuarzo I ocurre en cristales de 0.15 mm; el cuarzo II son agregados anhedrales de 0.02 mm que alteran a moldes de cristales; el cuarzo III se presentan en agregados de 0.005 mm dentro de la matriz de bandas claras; el cuarzo IV forma agregados de 0.3 mm

Foto 10. Secuencia estratigráfica de la Formación Tinajones debajo de cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga en el sector del Cerro El Cerezo (cuadrante III).

Foto 11. Secuencias de arenas cuarzo feldespáticas de la Formación Tinajones, a lo largo de la carretera Olmos-Jaén (cuadrángulo de Pomahuaca 12-e).

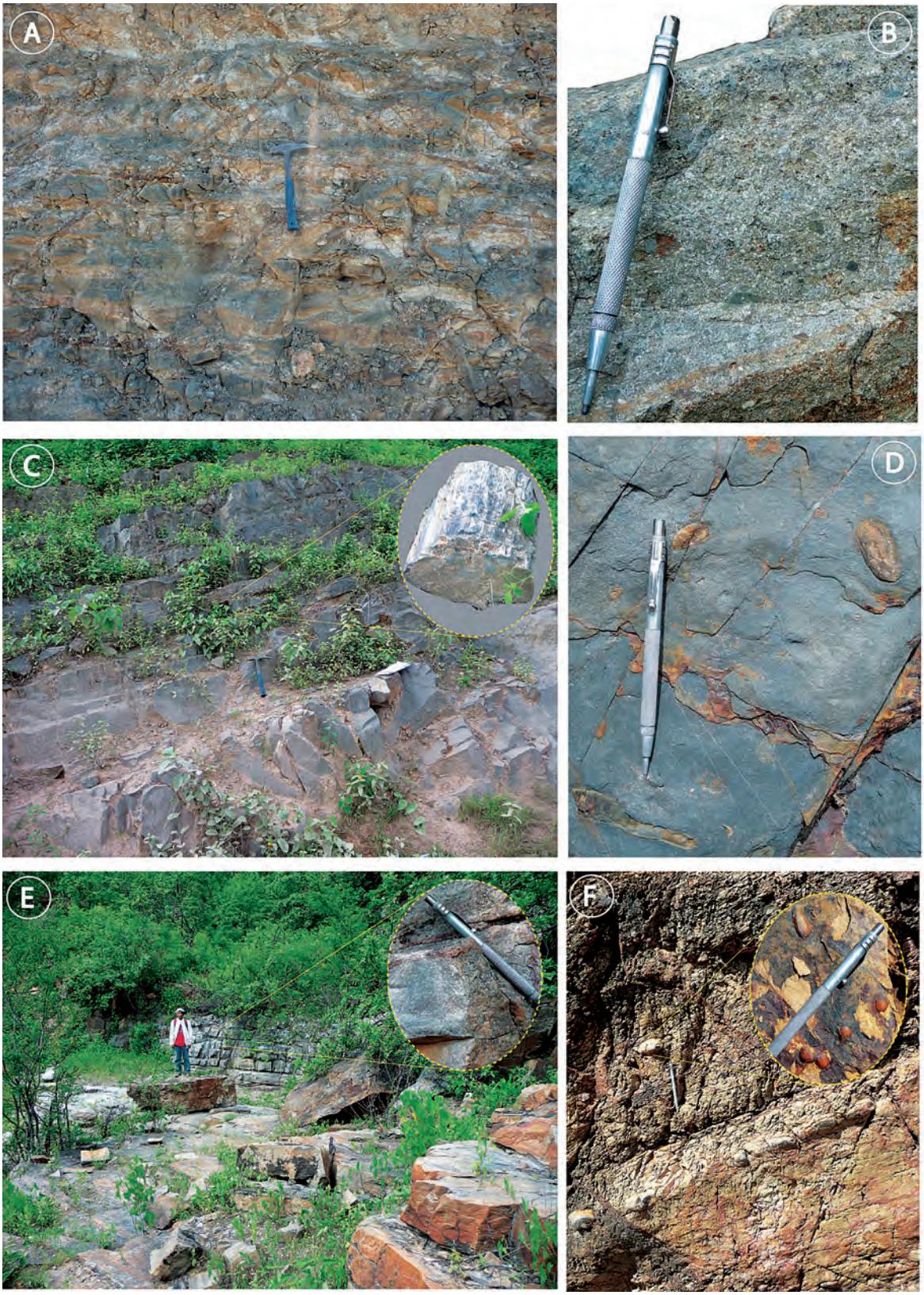


Foto 12. A) Lutitas negras. B) Flujos piroclásticos C) Flujos piroclásticos con troncos fósiles. D) Lutitas con restos de icnofósiles E) cuarcitas blancas con laminaciones paralelas. F) volcánicos retrabajados con restos de especies sin determinar.

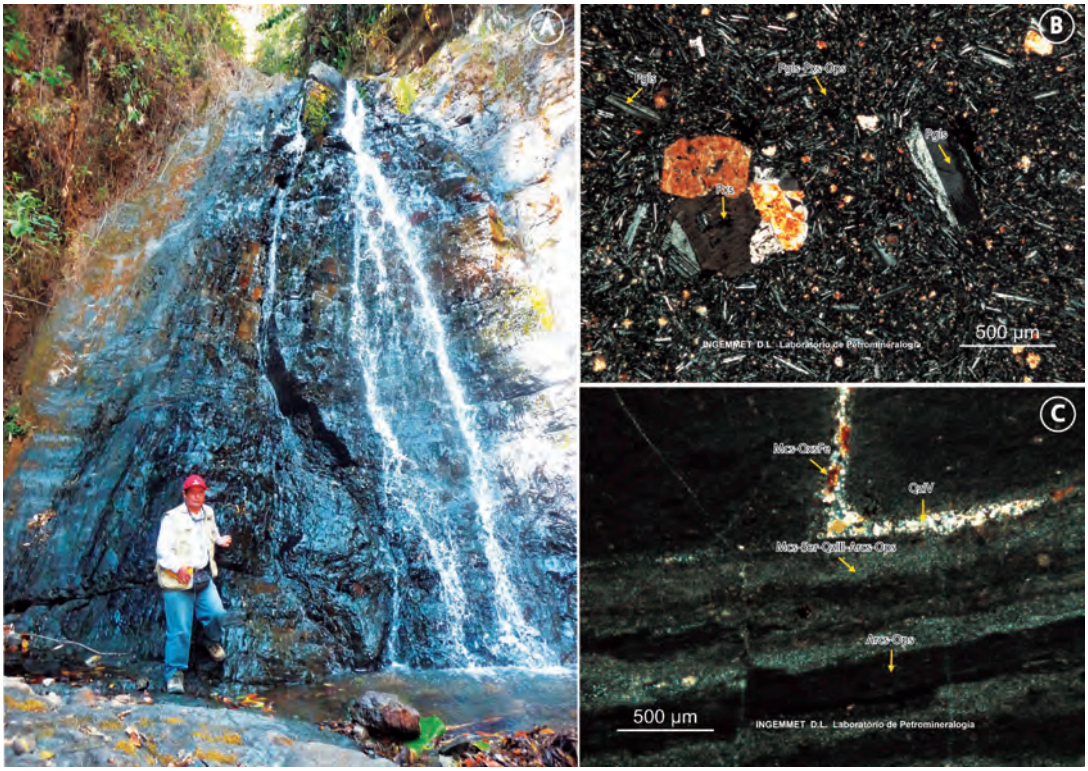


Foto 13. **A)** Andesitas basálticas de la Formación Tinajones (sector de Gramalote). **B)** GR9-10-125 **andesita basáltica**, ocurren fenocristales de plagioclasas (Plgs), piroxenos (Pxs) en matriz compuesta por plagioclasas con piroxenos y pequeños minerales opacos diseminados (Pgls-Pxs-Ops). **C)** GR9-10-93 **lutitas silicificadas** con bandas claras de sericita, cuarzo, arcillas y minerales opacos diseminados (Ser-QzIII-Arcs-Ops), intercaladas con bandas oscuras en las que se observa, arcillas y minerales opacos diseminados (Arcs-Ops), vetillas rellenas por cuarzo (Qz IV), en la que se pueden apreciar moldes alterados por micas y óxidos de hierro (Mcs-OxsFe).

que rellenan vetillas, los cuales presentan microfallamiento en sus paredes, cortando el bandeamiento. La sericita ocurre alterando moldes de cristales y en matriz de bandas claras rellenan vetillas transversales al bandeamiento; están parcialmente impregnadas por óxidos de hierro. Los minerales opacos, presentan cristales subhedrales a euhedrales de 0.2 mm, que se encuentran diseminados y alterados por óxidos de hierro.

- Minerales principales: arcillas.
- Minerales secundarios: sericita (8 %)
- Minerales accesorios: cuarzo III (7 %), óxidos de hierro (2%), cuarzo IV (1 %), minerales opacos (1 %).
- Trazas: cuarzo II, cuarzo I y plagioclasas.
- Alteraciones: alteración micácea-sericitización y débil oxidación.

Edad. Pardo y Sanz (1979), entre las localidades de la «U» y el cerro Lajas de Tongon del río La Leche (cuadrante III), reportan la presencia de lutitas negras con contenidos de restos de lamelibranquios *Trigonia Lorenti DANA*, del Valanginiano inferior y *Berriasellidae?* del Titoniano y Berriasiano del área de Yaypon (cuadrángulo de Chongoyape), restos *Otozamites* del Neocomiano son muy comunes en estos afloramientos (Wilson, 1984). De acuerdo a estos datos paleontológicos disponibles, se ubica la base de la Formación Tinajones provisionalmente en el Berriasiano, aunque es posible que baje hasta el Titoniano.

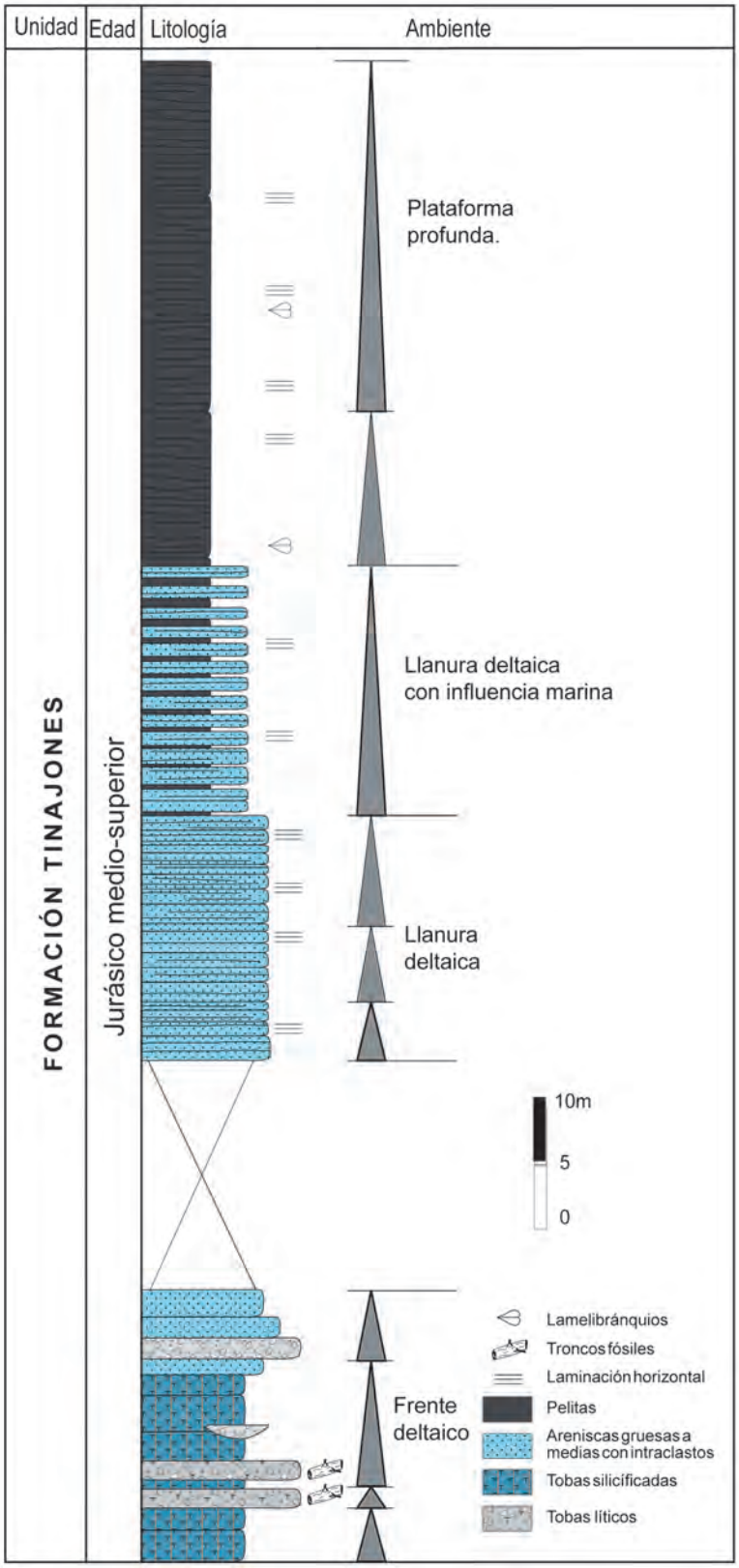


Figura 6. Columna estratigráfica de la Formación Tinajones, levantada en el río La Leche.

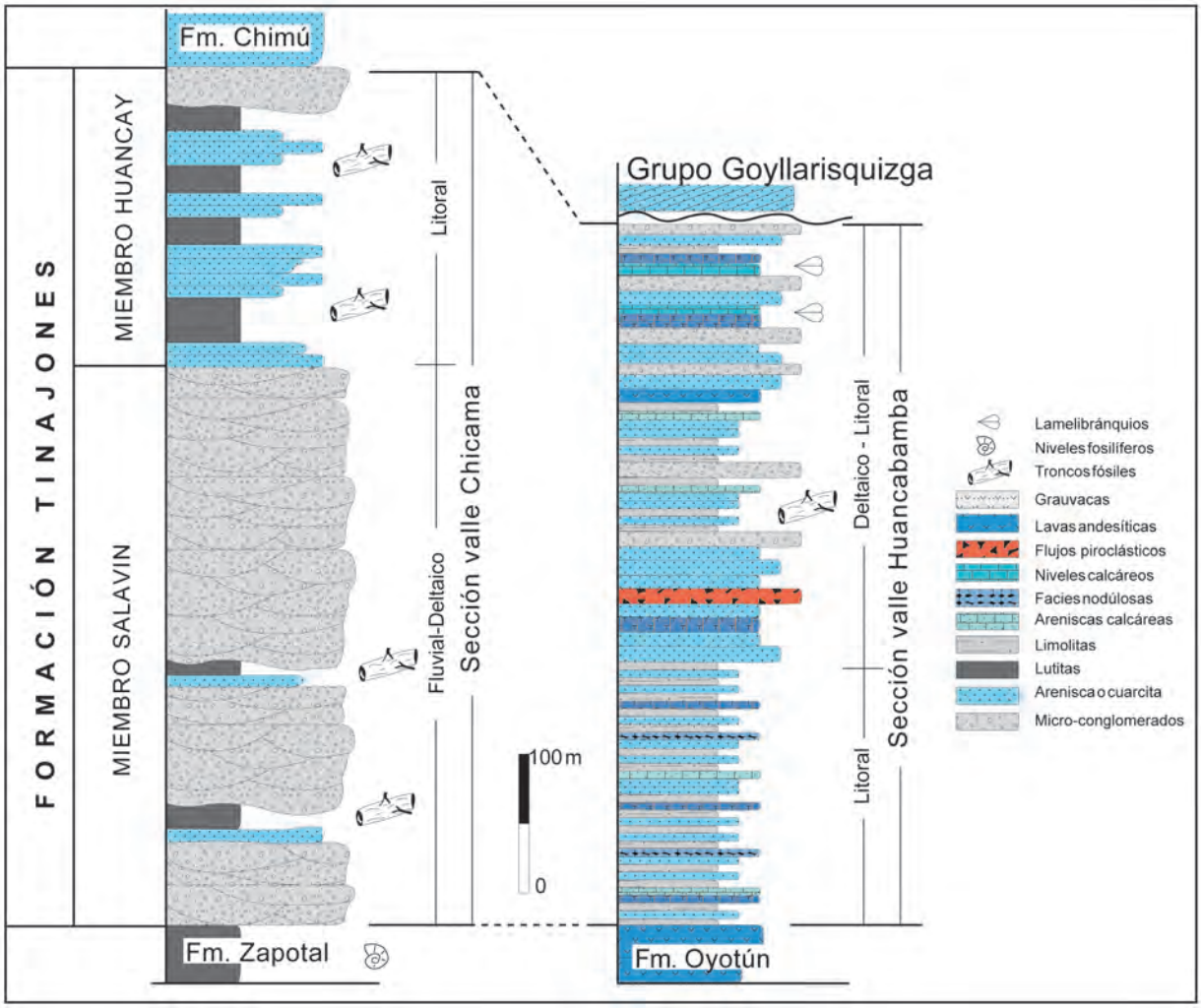


Figura 7. Correlación de la Formación Tinajones de los sectores del valle del río Chicama y el valle del río Huancabamba (Modificada de Mourier, 1988).

GRUPO GOYLLARISQUIZGA (NEOCOMIANO)

Definición y relaciones estratigráficas. McLaughlin (1924) define a esta unidad como una secuencia de areniscas y lutitas y, posteriormente, Jenks (1951) propone denominarla como Formación Goyllarisquizga, que luego es usado con este término por Benavides (1956) en la región de Cajamarca. En el área tipo de Cajamarca (Benavides, 1956), describe esta formación como una secuencia de areniscas rojas esquistosas y areniscas cuarzosas asociadas con conglomerados que es discordante sobre las calizas del Grupo Pucará.

El Grupo Goyllarisquizga, en el cuadrante de Incahuasi, presenta dos dominios estratigráficos:

1) el dominio occidental, donde se reporta una potente secuencia de cuarcitas en estratos gruesos, que puede alcanzar espesores de 500 m a más, encontrándose los afloramientos más representativos de este dominio, en los sectores del Limón y el Cerro Lajas de Tongón del valle del río La Leche (Foto 14) este último se prolonga en dirección sureste hacia los cerros Tasajeras y Calabozo (cuadrante III) y al cuadrángulo de Chongoyape (14-e). 2) El dominio occidental presenta afloramientos continuos de cuarcitas blanquesinas en estratos delgados que no sobrepasan los 70 m de espesor, que están distribuidos en forma continua a lo largo del río Huancabamba (cuadrante I) y como núcleos de anticlinales (anticlinal del río Paltic), cerca de la localidad de la Granja y el anticlinal de la quebrada El Palto (Foto 15). En el sector de Loja, muy cerca al pórfido La Granja, las cuarcitas presentan un fuerte metamorfismo e intenso fracturamiento (cuadrante II).

En el sector del río La Leche, el Grupo Goyllarisquizga suprayace aparentemente concordante a secuencias volcanosedimentarias

de la Formación Tinajones e infrayace algunas veces a los volcánicos paleógenos (cuadrante III), mientras que, en el sector de Pucará del valle del río Huancabamba (cuadrante I), se encuentra directamente y en aparente concordancia sobre los volcánicos de la Formación Oyotún (Jurásico medio a superior, Foto 16), e infrayace a secuencias carbonatadas de las formaciones Inca-Chulec del Cretácico inferior.

Litología y ambiente sedimentario. Está constituida principalmente por cuarcitas de grano grueso a medio, colores gris blanquecino en estratos gruesos de 2 a 3 m de espesor que presentan grandes laminaciones oblicuas y horizontales (Foto 17), típicos de ambiente eólico. En zonas intemperizadas presentan patinas de colores amarillo rojizos. En contacto con intrusivos presentan fuerte fracturamiento a veces con relleno de mineralización, como se observa cerca al pórfido de La Granja.

Edad. El Grupo Goyllarisquizga en el área del cuadrángulo de Incahuasi (13-e) no ha mostrado fósiles diagnósticos, por lo tanto, la edad es atribuida en correlación con unidades similares de la región de Cajamarca, donde se le asigna una edad neocomiana y hasta probable aptiana.

Foto 14. Cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga en el valle del río La Leche que muestra paredes verticales en ambas márgenes del valle, al fondo presenta ligero plegamiento.

Foto 15. Anticlinal del sector El Palto, donde se observa en el núcleo afloramientos de cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga, cubiertos en su flanco izquierdo por secuencias carbonatadas de las formaciones Inca-Chulec y Pariatambo.

Foto 16. Contacto concordante de la Formación Oyotún y el Grupo Goyllarisquizga, noreste de Pucara.

Foto 17. Cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga, mostrando grandes laminaciones oblicuas (sector de Cabuyas).

FORMACIÓN INCA-CHULEC (ALBIANO INFERIOR-MEDIO)

Definición y relaciones estratigráficas

Las formaciones Inca-Chulec han sido descritas en Cajamarca por Benavides (1956), donde se mencionan individualmente como Formación Inca y Formación Chulec. La Formación Inca tiene como localidad tipo el sector de los Baños del Inca a 6 km al este de la ciudad de Cajamarca. En este sector, se describe una secuencia de 90 metros de espesor de arenas oolíticas gris pardas intercalada con calizas ferruginosas y lutitas amarillentas a verdosas fosilíferas, y subordinadamente con areniscas cuarzosas y limolitas. La Formación Chulec definida por Steinmann (en Schlagintweit, 1912, p.48) a lo largo de la carreta de la Oroya y Pariatambo en el Perú central (Steinmann, 1930), está constituida principalmente por niveles calcáreos y lutitas; sin embargo, en el cuadrángulo de Incahuasi, estas dos formaciones son imposibles de separar debido a que los afloramientos presentan una monotonía en su litología, por lo tanto, en este boletín describiremos a estas formaciones como una sola unidad. Los afloramientos más representativos se encuentran a lo largo del valle del río Huancabamba entre Pucará y el cerro Lamparán, que se extienden de manera discontinua a la quebrada Paltic y las localidades de Huangapampa y Rocoto (cuadrante I).

La Formación Inca-Chulec, en todos los afloramientos del área del cuadrángulo de Incahuasi, sobreyace concordante a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano) e infrayace también concordante a calizas de la Formación Pariatambo del Albiano medio (Fotos 18 y 19).

Litología y ambiente sedimentario. Una columna estratigráfica levantada en el valle del río Huancabamba registra un espesor de 250 m; en ella se describen a la base niveles de caliza tipo *packstone* a *grainstone* de color amarillo rojizo, con laminación horizontal, en estratos de 20 a 80 cm que presentan perforaciones orgánicas (bioturbaciones); estos niveles pasan progresivamente a calizas tipo *mudstone* de color gris rosado, en estratos de 2 a 5 cm (Fig. 8). Las características litológicas de esta unidad sugieren un ambiente de plataforma somera de alta movilidad, evidenciados por la fauna de bivalvos y bioturbaciones.

Edad. En la región de Cajamarca, la Formación Inca-Chulec presenta *ammonites* como *Parahoplites*, *Knemiceras, Douvilleiceras*, y *Prolyelliceras* (Benavides, 1956), también se reporta la presencia de *Ostrea syphax, Protanisoceras* sp. *y Knemiceras Raimondi* en la localidad de Sallique (Reyes y Caldas, 1987). Últimamente, en una sección levantada en la misma localidad de Sallique, se han encontrado las siguientes especies:

- *Liophista* (Psilomya) *gigantea* SOWERBY
- *Caridium* cf. C. *Pulchrum* BRUGGEN
- *Veniellia* sp.
- *Trigonia crenulata* LAMARCK
- *Tylostoma* sp.
- *Liophista* (Psilomya) *ligerensis* (D´ORBIGNY)
- *Liophista (Psilomya)* sp.
- *Nicaisolopha* sp.
- *Anisocardia* sp.

Basados en la existencia de estos restos paleontológicos y en estudios anteriores, a las formaciones Inca-Chulec, se le asigna una edad comprendida entre el Albiano inferior a medio.

FORMACIÓN PARIATAMBO (ALBIANO MEDIO)

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Pariatambo fue definida por McLaughlin (1924) como miembro «Pariatambo», en una zona cerca a la Oroya, posteriormente, Benavides (1956) la elevó a la categoría de Formación Pariatambo en la región de Cajamarca. Litológicamente, se presenta en estratos delgados de margas y calizas negras bituminosas, con algunas intercalaciones de chert y concreciones discoidales con abundante fauna fosilífera. En la sección tipo de la Oroya, presenta un espesor de 120 m.

Similares secciones fueron estudiadas en el cuadrángulo de Incahuasi (13-e), en los alrededores de Pucará (cuadrante I), que además es el sector, donde la sección es considerada como la más completa del Cretácico inferior; esta misma sección se prolonga discontinuamente, a las localidades de Querocoto y alrededores de La Granja (cuadrante II), todos estos afloramientos descritos están ubicados en el flanco este de la Cordillera Occidental, también se presentan afloramientos en la localidad de Shunsho (Foto 20, cuadrante III), lugar que viene a formar parte del flanco oeste de la Cordillera Oriental.

La Formación Pariatambo (Foto 7 y 15), suprayace concordante a la Formación Inca-Chúlec, contrario a lo que Benavides (1956), que menciona una discordancia en la región de Cajamarca. El contacto con las unidades inferiores en todos los afloramientos de los lugares antes mencionados, muestra un carácter concordante muy marcado con la unidad inferior, evidenciado por las características anóxicas y fétidas que presentan los niveles calcáreos de la Formación Pariatambo, y que pasan aparentemente progresivos a secuencias superiores del Grupo Pulluicana. Regionalmente, la Formación Pariatambo es correlacionable con las calizas de la Formación Muerto (Albiano medio) de la cuenca Lancones (Mourier, 1988), y las características anóxicas que presentan ambas unidades son correlacionables con los grandes eventos globales oceánicos de carácter anóxico que sucedieron en el Albiano medio.

Foto 18. Margen derecha del río Huancabamba, frente al poblado de Pucará que muestra afloramientos de rocas de la Formación Oyotún (Jurásico medio a superior), cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano), secuencias carbonatadas de las formaciones Inca-Chulec, Pariatambo y el Grupo Pulluicana (Cretácico inferior a superior).

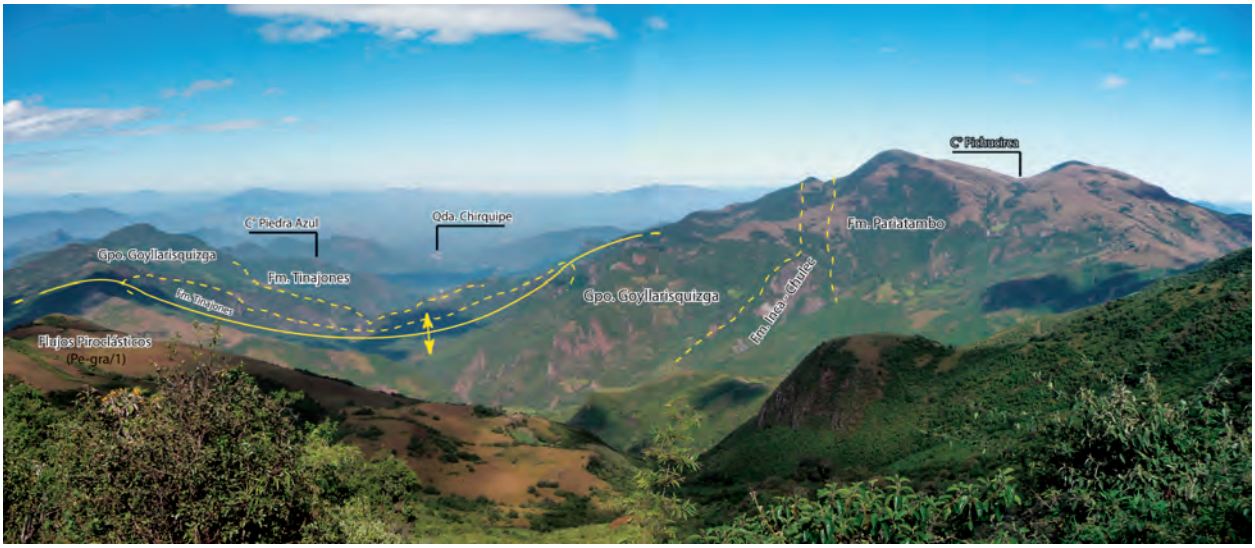


Foto 19. Secuencias estratigráficas de las formaciones Inca-Chulec, mostrado en uno de los flancos del anticlinal del sector de Agua Colorada (cuadrante III), el núcleo corresponde a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga.

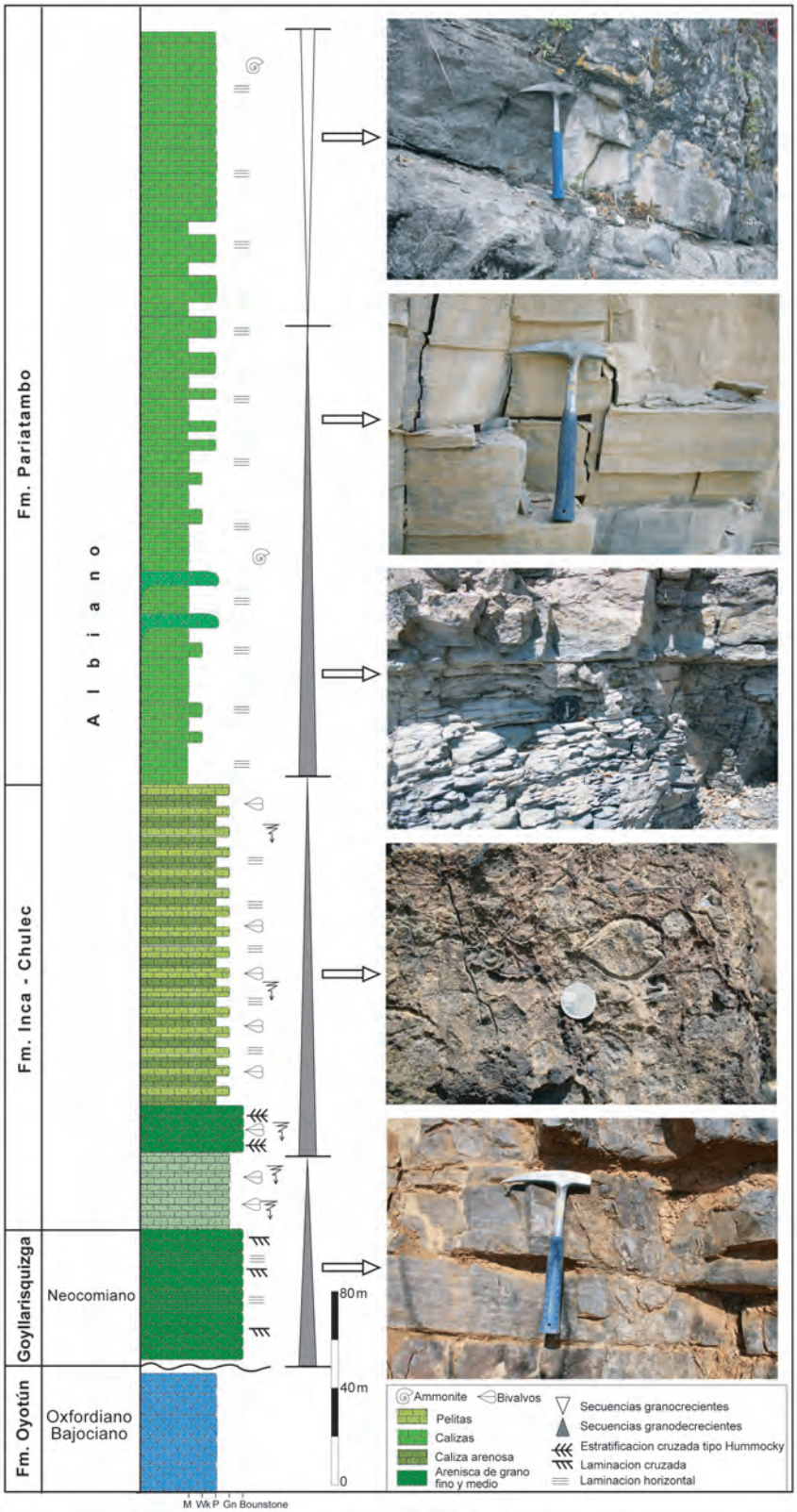


Figura 8. Columna estratigráfica levantada en la margen izquierda del rio Huancabamba, sector de Pucara.

Litología y ambiente sedimentario. Una sección estratigráfica levantada en el valle del río Huancabamba del sector de Pucará (cuadrante I), describe la presencia de calizas tipo *mudstone* de color negro oscuro con olores fétidos, a veces fosilíferos, en estratos delgados de 5 a 10 cm, intercaladas con niveles de margas nodulares exfoliables; sin embargo, Quispesivana (1986), describe una sección cercana a la sección anterior donde divide a la Formación Pariatambo en dos miembros (Fig. 9): 1) El primer miembro (inferior) está constituido por calizas gris azulinas oscuras sin presencia de fósiles, y se caracteriza por presentarse en afloramientos prominentes debido a su dureza. 2) El segundo miembro (superior) consiste de bancos gruesos de calizas negras bituminosas y olor fétido intercalados con margas nodulosas y lutitas muy finas con presencia de fragmentos fosilíferos.

Las características anóxicas de estas calizas evidencian un ambiente de plataforma profunda, donde la cuenca sufre una profundización, por lo tanto, poca movilidad de agua y como consecuencia la ausencia de oxígeno. El espesor de estas calizas en todos los casos no supera los 100 m de espesor.

Edad. La Formación Pariatambo, en el área del cuadrángulo de Incahuasi, es muy fosilífera, sobre todo, en los niveles con nódulos, donde se han encontrado ammonites de 20 cm de diámetro (Fotos 20B y 20C), del tipo *Oxytropidoceras* (*Oxytropidoceras*) cf. O. (O.) *carbunarium* (GABB); sin embargo, en Cajamarca en esta unidad se reportan especies similares de *Oxytropidoceras carbonarium* (Benavides, 1956), así mismo, en el cuadrángulo de Pomahuaca (12-e) se han encontrado varias especies entre las que se tiene:

- Ostrea (lopha) scyphax COQUAND
- *Tellina* sp.
- Mortoniceras (Deiradoceras) cf. M.(D) prerostratum (SPATH)
- *Mortoniceras (Deiradoceras)* sp.
- *Inoceramus (Mytiloides)* sp.
- *Ostrea (lopha)* sp.
- Ostrea (lopha) cf. O. (L.) scyphax COQUAND
- *Freiastarte* sp.
- *Astarte* sp.
- Inoceramus cf. L. concentricus PARKINS
- Torquesia aff. T. vibrayeana (D´ORBIGNY)
- *Oxytropidoceras (Venesoliceras)* sp.
- *Anomia* sp.
- Oxytropidoceras (Mirapelia) douglasi KNECHTEL
- Oxytropidoceras (O) cf. O. manuanense (SPATH)

Estas evidencias paleontológicas y la posición de esta unidad sobre la Formación Chulec, así como, las correlaciones fosilíferas con la región de Cajamarca indican para esta unidad el Albiano medio.

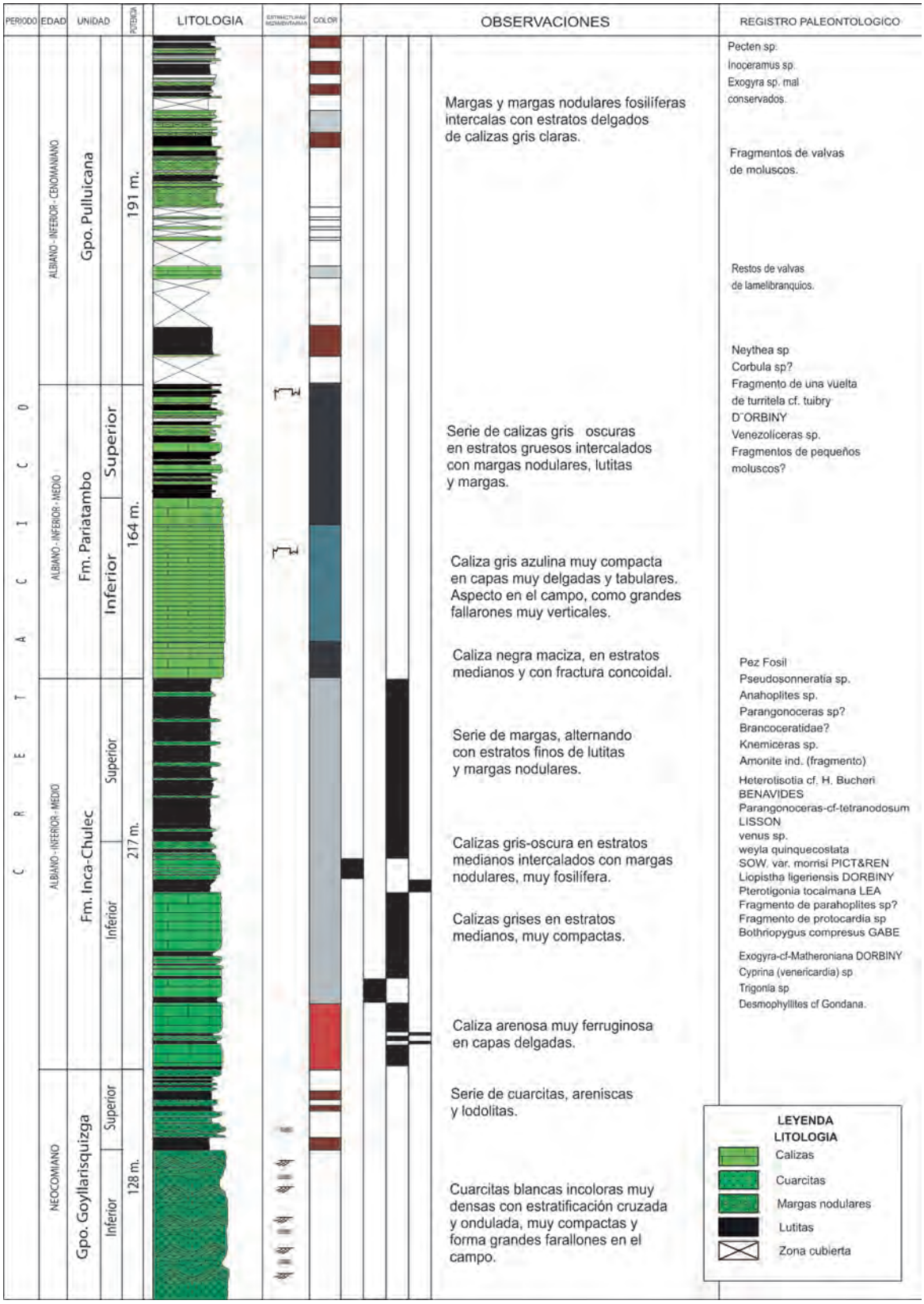


Figura 9. Columna estratigráfica del Cretácico, levantada en la localidad de Pucará (modificada de Quispesivana, 1986).

Foto 20. **A)** Secuencia rítmica de calizas bituminosas en estratos delgados de la Formación Pariatambo, sector Sunsho - Tayal (cuadrante III). **B)** Cara frontal de ammonite dentro de nódulos esferoidales. **C)** Cara lateral del mismo ammonite *Oxytropidoceras* (*Oxytropidoceras*) cf. O. (O.) *carbunarium* (GABB).

GRUPO PULLUICANA (ALBIANO MEDIO-CENOMANIANO)

Definición y relaciones estratigráficas. El término de Grupo Pulluicana fue dado por Tafur (1950), y la agrupación de tres formaciones. 1) Formación Yacu Ushco (actual Formación Pariatambo), corresponde a una secuencia de calizas negras bituminosas, intercalada con capas siliceas y dolomias amarillentas. 2) Formación Yumagual compuesta de calizas gris azulinas con grandes concreciones de sílice, margas y arcillas fosilíferas. 3) Formación Mujarrun, constituida por arcillas conchíferas y calizas gris azulinas; sin embargo, Benavides (1956) excluye a la Formación Pariatambo de este grupo, tomando como localidad tipo una sección en el paraje de Pulluicana a 7 km al norte de Cajamarca, indicando que el grupo Pulluicana se inicia con una secuencia inferior de calizas y margas gris claras nodulosas, a la que denomina como Formación Yumagual. La parte superior más arcillosa y limosa correspondería a la Formación Mujarrun, que incluye capas de areniscas cuarzosas.

En el cuadrángulo de Incahuasi, el Grupo Pulluicana aflora en las partes altas de ambas márgenes del rio Huancabamba (cuadrante I), que corresponden a las localidades de La Pauca, cerro Huamachuco y cerro Sura, así como, en el cerro Lamparan. Estos afloramientos se extienden al cuadrante II en forma discontinua hasta el cerro Chaque y similares afloramientos se tiene al SE del cuadrante III, que comprende parte del cerro Muchal.

Las secuencias del Grupo Pulluicana sobreyacen en aparente concordancia sobre la Formación Pariatambo (Albiano medio) e infrayacen en algunos sectores discordantes a secuencias volcánicas de los centros volcánicos paleógenos y en muchos casos están descubiertas; sin embargo, en el área del cuadrángulo de Incahuasi las secuencias son muy monótonas y difíciles de separar en formaciones, por lo tanto, en forma general se le denomina como Grupo Pulluicana.

Litología y ambiente sedimentario. La litología del Grupo Pulluicana, a diferencia de lo que ocurre en la región de Cajamarca, está constituida por calizas margosas con niveles de lutitas y areniscas con presencia de exogiras, que indican que estos se depositaron en ambiente de mar somero (Wilson, 1984).

Edad. No se han encontrado fósiles en esta región; sin embargo, en horizontes similares de la región de Cajamarca muestra las siguientes especies: *Ostrea scyphax; Oxytropidoceras carbonarium, Exogyra marmetli y ammonites Paraturrilites lewesiensis, Sharpeiceras occidentale*, que indican una edad del albiano medio. Otras especies encontradas son: *Exogyra africana* Lamarck, *Exogira poligona* von Buch, *Neithea lenouklensis* Coquand, *Orthopsis titicacana* Cooke del Cenomaniano. Todas estas especies están comprendidas en el intervalo Albiano medio al Cenomaniano.

VOLCÁNICOS PALEÓGENOS

Cossio (1964) describe los volcánicos cenozoicos de la Cordillera Occidental del norte del Perú, como Formación Calipuy, posteriormente, Wilson (1984), la eleva al rango de Grupo y la subdivide en las formaciones Llama y Porculla. La Formación Llama consiste de una secuencia de base conglomerádica con clastos de cuarcitas que sobreyacen discordantes a rocas cretácicas en discordancia angular. Existe un contacto en discordancia angular entre las formaciones Llama y Porculla (Wilson, 1984); sin embargo, el contacto de estos afloramientos varía de un lado a otro, observándose también en algunos lugares conglomerados en la base de la Formación Porculla, esta última además infrayace a la Formación Huambos descrita por Cobbing et al. (1981) como una secuencia volcánica de edad Mio-Pliocena. En estos términos son asumidos en el cuadrángulo de Incahuasi por Wilson (1984), Mourier (1988), Noble et al., 1990. Sin embargo, recientemente, el mapeo a la escala 1:50 000 ha permitido diferenciar diferentes centros volcánicos, cuyas unidades descritas anteriormente como formaciones Llama, Porculla y Huambos, están asociadas a estos centros volcánicos. En adelante, todas estas secuencias, serán conocidas como productos de los centros volcánicos (Figs. 10 y 14).

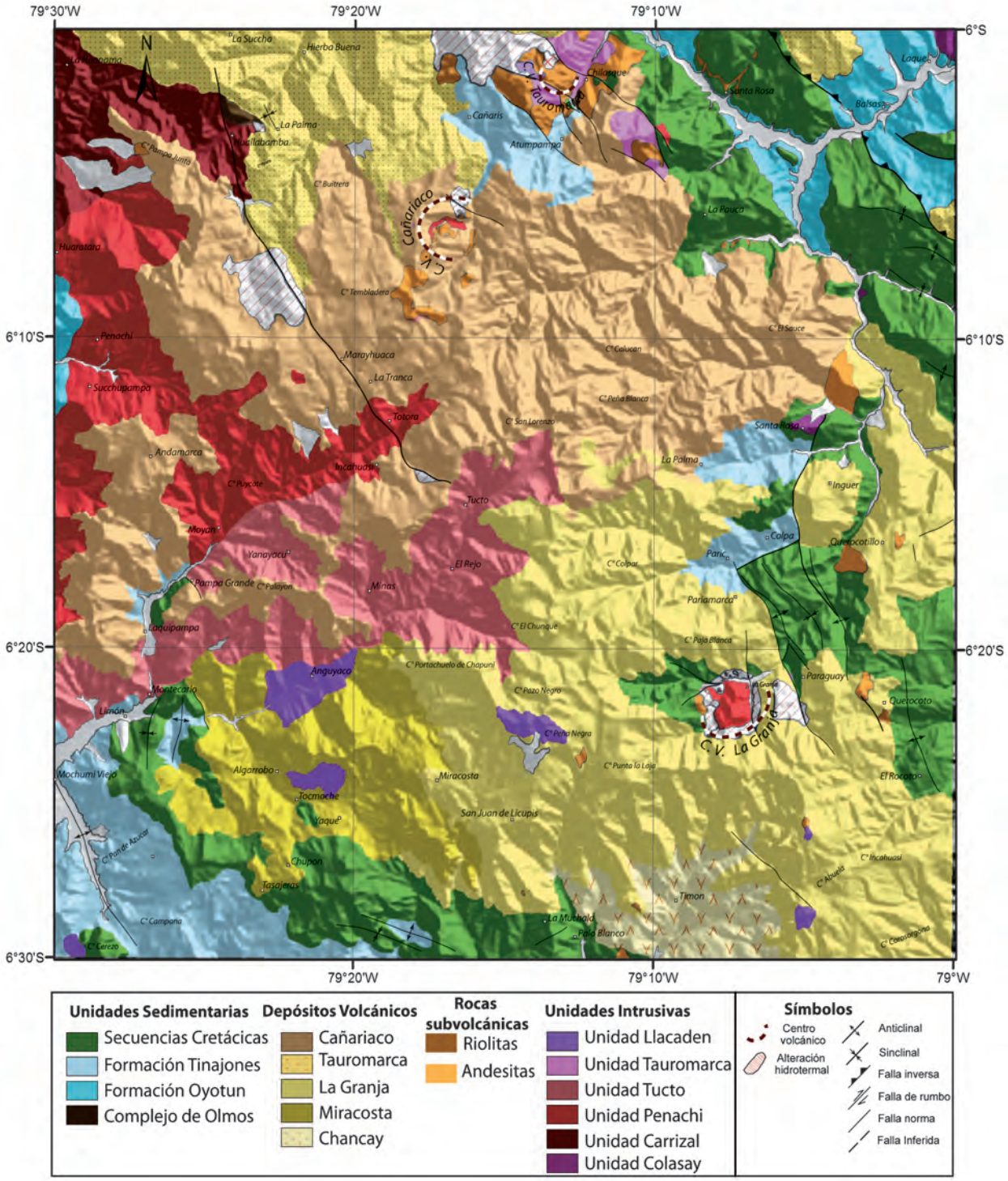


Figura 10. Mapa geológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e), donde muestran los centros volcánicos y sus productos.

CENTRO VOLCÁNICO TAUROMARCA

Definición y relaciones estratigráficas. El centro volcánico Tauromarca se ubica al NO del cuadrante I, que comprende las localidades Chilasque y Atunpampa (Fig. 11), y los productos de este centro volcánico se extienden al sur del cuadrángulo de Pomahuaca (12-e) y llegan cerca al abra de Porculla en el cuadrángulo de Olmos (12-d). En el cuadrante IV, quizá los potentes afloramientos de la quebrada Tocra, representen la secuencia más completa de los productos del centro volcánico Tauromarca (Fig. 11 y Foto 21).

Gran parte de estos productos se encuentran cubriendo en discordancia angular, indistintamente a rocas antiguas del Complejo de Olmos (Ordovícico inferior), Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior) y, probablemente, también a rocas cretácicas. En algunos lugares presentan una superposición con los volcánicos jurásicos (río Huancabamba en el cuadrángulo de Pomahuaca 12-e), siendo difícil, a veces, la determinación del límite estratigráfico, ya que, estas secuencias volcánicas antiguas (Jurásico) y las secuencias volcánicas recientes (Paleógeno) presentan una similitud en su litología y composición.

Litología y ambiente sedimentario. El núcleo del centro volcánico se encuentra ubicado en el cuadrante I y está constituido por un complejo intrusivo de dioritas, cuarzo monzonitas, dacitas y andesitas porfiríticas, latitas, siendo las dacitas, las que presentan mayor alteración. Los productos de este centro volcánico están constituidos, principalmente, por una secuencia de flujos piroclásticos (Foto 21), intercalados con niveles de cenizas y flujos de escombros. El espesor de estas secuencias piroclásticas puede sobrepasar los 1000 m a más.

Estudio petrográfico

Pórfido andesítico (GR9-10-126 UTM 690506, 9331227). Presenta textura porfirítica (Foto 22A) constituido por fenocristales de plagioclasas, subhedrales de 0.30 mm, maclados, zonados y microfracturados rellenos por cloritas; algunos cristales se alteran a arcillas. El cuarzo presenta dos generaciones: el cuarzo I aparece como fenocristales anhedrales de 0.07 mm de bordes redondeados a subredondeados y microfracturados, rellenos por cloritas; en la matriz se presentan en intersticios. El cuarzo II, rellena finas vetillas de 0.15 mm. Los minerales opacos, son cristales subhedrales a euhedrales de 0.05 a 0.2 mm, en forma diseminada y parcialmente alterados a óxidos de hierro. El anfíbol, forma agregados aciculares, que remplazan junto a cloritas a moldes de cristales; también se le encuentra en vetillas de cuarzo. Las cloritas, tienen formas anhedrales de aspectos fibrosos y radiales, que alteran a fenocristales de plagioclasas y cuarzo.

- Minerales principales: plagioclasa (68 %).
- Minerales secundarios: clorita (15 %), cuarzo II (2 %), arcillas (2 %), óxidos de hierro.
- Minerales y componentes accesorios: cuarzo I (4 %), minerales opacos (4 %), vidrio volcánico (3 %).
- Trazas: anfíboles.
- Alteraciones: cloritización moderada, débil argilización y oxidación incipiente.

Toba cristalolítica (GR9-10-127 UTM 689932, 9331786). Presenta textura tufácea (Foto 22B) y está constituida por cristales de plagioclasas subhedrales de 2.5 mm, con maclas, zonamiento y microfracturas rellenas por cloritas y óxidos de hierro. Los fragmentos líticos, corresponden a rocas volcánicas con formas angulosas a subangulosas. El cuarzo presenta tres generaciones secundarias: el cuarzo I, en agregados anhedrales de 0.10 mm que alteran moldes de cristales; El cuarzo II, en agregados anhedrales de 0.01 mm, alterando a la matriz de la roca; el cuarzo III, rellena vetillas que atraviesan la muestra y cortan longitudinalmente a vetillas de feldespatos. Los minerales opacos se encuentran como cristales diseminados subhedrales a euhedrales que se alteran a óxidos de hierro. Las cloritas, rellenan intersticios en moldes silicificados, alterando a plagioclasas y a fragmentos líticos. Los óxidos de hierro alteran a plagioclasas rellenando fracturas, a minerales opacos y a la matriz de los fragmentos líticos. El rutilo, en agregados subhedrales se presenta como inclusiones de vetillas de cuarzo.

- Minerales y componentes principales: plagioclasas (52 %), fragmentos líticos (15 %).
- Minerales secundarios: cuarzo II (12 %), cloritas (6 %), cuarzo I (3 %), cuarzo III (3 %), arcillas (2 %), óxidos de hierro (2 %).
- Minerales accesorios: minerales opacos (4 %).
- Trazas: rutilo.
- Alteración: silicificación moderada, cloritización, argilización y oxidación débil.

Dacita (GR9-10-128, UTM 689770, 9333530). Tiene textura porfirítica (Foto 22C) y está constituida por cristales de cuarzo anhedrales a subhedrales, con bordes corroídos o de resorción, que presentan microfracturas rellenas por feldespatos, minerales opacos, biotita y rutilo. Las plagioclasas, corresponden a fenocristales subhedrales de 4 mm, con maclas y microfracturados, rellenos de minerales opacos y óxidos de hierro. Los feldespatos, en agregados de 0.15 mm, rellenan vetillas que atraviesan toda la muestra y se encuentran alterados por arcillas. Los minerales opacos se presentan como cristales diseminados subhedrales a anhedrales de 0.4 mm, que rellenan microfracturas de plagioclasas

y cuarzo, alterados por óxidos de hierro. La biotita ocurre en cristales euhedrales de 0.09 mm, como inclusiones en fenocristales de cuarzo. Las cloritas alteran a moldes de cristales con epidotas e impregnaciones de óxidos de hierro. El óxido de hierro altera minerales opacos, moldes de cristales e impregna a cloritas. El rutilo forma agregados que siguen la dirección cristalográfica de minerales opacos que se encuentran dentro de cristales de cuarzo.

- Minerales principales: cuarzo (52 %), plagioclasas (44 %).
- Minerales secundarios: arcillas (2 %), óxidos de hierro, cloritas, epidota, sericita.
- Minerales accesorios: feldespatos (3 %), minerales opacos <1 %.
- Trazas: biotita y rutilo.
- Alteraciones: débil argilización, oxidación, cloritización, epidotización y sericitización incipiente.

Latita (GR9-10-129A, UTM 689765, 9334980). Tiene textura porfirítica (Foto 22D) y está constituida por cristales de plagioclasas subhedrales a anhedrales de 3.4 mm, con maclas, zoneamiento y microfracturas rellenas por cloritas, que se alteran a sericita, arcillas, cloritas, carbonatos y conforman parte de la matriz. Los minerales opacos ocurren como cristales anhedrales a subhedrales de 0.09 a 0.2 mm diseminados y rellenando vetillas discontinuas, que cortan a otra generación de vetillas de cuarzo. El cuarzo presenta cuatro generaciones: el cuarzo I, constituido por cristales primarios de 0.7 mm, que forma rellenos en intersticios de la matriz; el cuarzo II aparece como cristales secundarios de 0.15 mm, que alteran moldes de fenocristales. El cuarzo III ocurre como agregados anhedrales de 0.08 mm alterando a la matriz. El cuarzo IV corresponde a agregados anhedrales que rellenan finas vetillas atravesando toda la muestra; estos a la vez son cortados por minerales opacos. Las cloritas ocurren como agregados fibrosos que alteran a fenocristales de plagioclasas y a moldes de fenocristales junto a cuarzo, y en la matriz rellenan cavidades e intersticios. El carbonato ocurre en cristales anhedrales a subhedrales que alteran ligeramente a fenocristales de plagioclasas. Las arcillas forman agregados criptocristalinos que alteran ligeramente a fenocristales de plagioclasas. El rutilo se encuentra en agregados anhedrales dispersos en la matriz y como inclusiones en fenocristales de plagioclasas.

- Minerales principales: plagioclasa (40 %), feldespato potásico (25 %).
- Minerales secundarios: clorita (12 %), cuarzo III (5 %), cuarzo II (4 %), arcillas (1 %).
- Minerales y componentes accesorios: vidrio volcánico (8 %), minerales opacos (2 %), cuarzo I (2 %).
- Trazas: cuarzo IV, carbonatos, rutilo.
- Alteraciones: cloritización moderada, silicificación débil y argilización muy débil.

Andesita (GR9-10-165 UTM 698784, 9332915). Presenta textura porfirítica (Foto 22E), y está constituida por fenocristales de plagioclasas de 2.60 mm, que se presentan como cristales subhedrales a euhedrales, totalmente alterados por sericita y arcillas; a veces tienen rastros de maclas y bordes subredondeados ligeramente corroídos por la matriz. En la matriz, la plagioclasa forma microlitos parcialmente orientados en cristales de 0.06 mm, maclados y alterados por anfíboles. El cuarzo corresponde a cristales primarios (cuarzo I) que generalmente se encuentran en la matriz, en tamaños de 0.07 mm; el cuarzo II, se presenta en vetillas junto a feldespatos potásicos y epidotas. Los feldespatos potásicos, se presentan en agregados subhedrales con bordes suturados que rellenan fracturas y son alterados por epidotas y arcillas. El piroxeno ocurre en agregados subhedrales a euhedrales de 0.15 mm, remplazados por minerales opacos. El anfíbol ocurre en cristales tabulares y aciculares de 0.05 mm, parcialmente orientados dentro de la matriz; a veces se encuentran remplazando a moldes de cristales, que están alterados por epidotas y cloritas. Los minerales opacos son cristales diseminados subhedrales a euhedrales de 0.30 mm, y se encuentran remplazando a los agregados de minerales máficos. La sericita corresponde a cristales anhedrales, que alteran intensamente a fenocristales y moldes de plagioclasas. La epidota aparece como agregados anhedrales a subhedrales, que alteran a minerales máficos y a moldes de cristales.

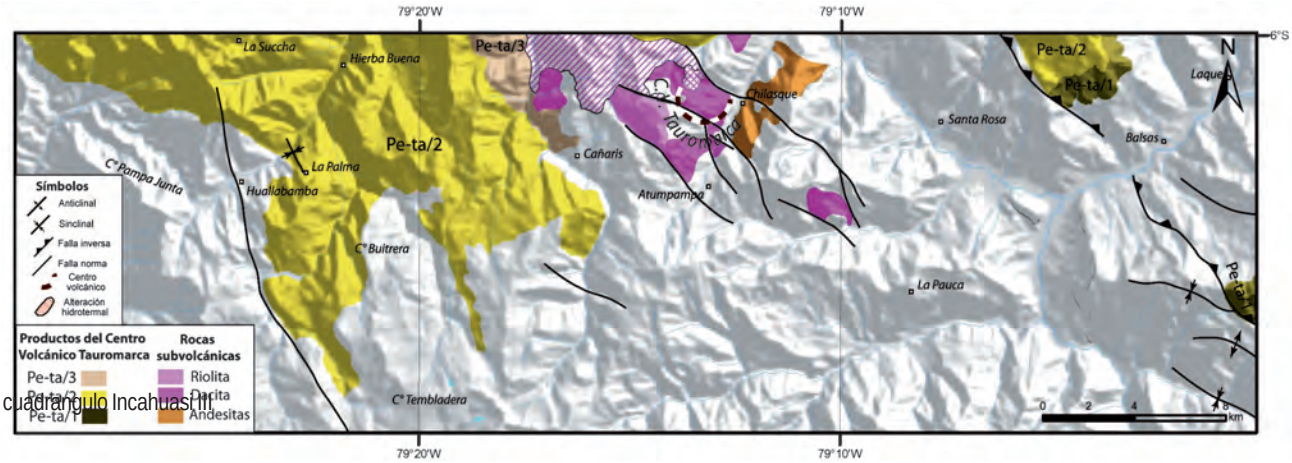
- Minerales y componentes principales: plagioclasas (49 %), vidrio volcánico (15 %), minerales opacos (12 %).
- Minerales secundarios: sericita (15 %), epidota (2 %), cloritas, arcillas.
- Minerales accesorios: feldespato potásico (3 %), piroxenos (2%), cuarzo I (1 %).
- Trazas: cuarzo II, cloritas, arcillas.
- Alteraciones: sericitización moderada, débil epidotización, cloritización y argilización incipiente.

Pórfido andesítico (GR9-10-166, UTM 698265, 9331821). Presenta textura porfirítica (Foto 22F), y está constituido por fenocristales de plagioclasas de 4.80 mm, subhedrales a euhedrales, con bordes subredondeados a redondeados, con inclusiones de anfíboles; algunos cristales presentan microfracturas, y están rellenos por cloritas y alterados por sericita, epidotas y arcillas; se presentan también como inclusiones en anfíboles. Los cristales de plagioclasas se presentan como microcristales de 0.20 mm en la matriz. El cuarzo ocurre en dos generaciones: el cuarzo

I, son cristales primarios subhedrales de 0.12 mm que se encuentran en intersticios de la matriz, con inclusiones de apatito; el cuarzo II ocurre en agregados anhedrales de 0.10 mm, que alteran moldes de cristales. En la matriz se les encuentra dentro de intersticios. El anfibol corresponde a fenocristales de 3.30 mm subhedrales a euhedrales, con bordes subredondeados a redondeados que presentan inclusiones de plagioclasas y microfracturas rellenas por minerales opacos. En general, el anfíbol es alterado ligeramente por cloritas y epidotas y está rodeado por minerales opacos. Los minerales opacos son cristales subhedrales a euhedrales que se encuentran diseminados en bordes de cristales. El feldespato potásico ocurre rellenando finas vetillas junto a epidotas, e intersticios de la matriz.

- Minerales principales: plagioclasas (70 %), anfíboles (18 %).
- Minerales secundarios: sericita (3 %), clorita (2 %), epidota, esfena.
- Minerales y componentes accesorios: minerales opacos (4%), vidrio volcánico (1 %), cuarzo I (1 %).
- Trazas: cuarzo II, apatito, arcillas.
- Alteraciones: sericitización, débil cloritización, epidotización y argilización incipiente.

Edad. No se tiene reportes con dataciones radiométricas; sin embargo, se le atribuye como edad al Paleógeno, basados en las características litológicas de centro volcánicos vecinos.



cuadrángulo Incahuasi III

Figura 11. Mapa del centro volcánico Tauromarca y la distribución de sus productos (área del cuadrángulo de Incahuasi 13-e).

Foto 21. Flujos piroclásticos del centro volcánico Tauromarca, sector de la quebrada Tocras. Vista tomada hacia el NE, desde la localidad del Sauce.

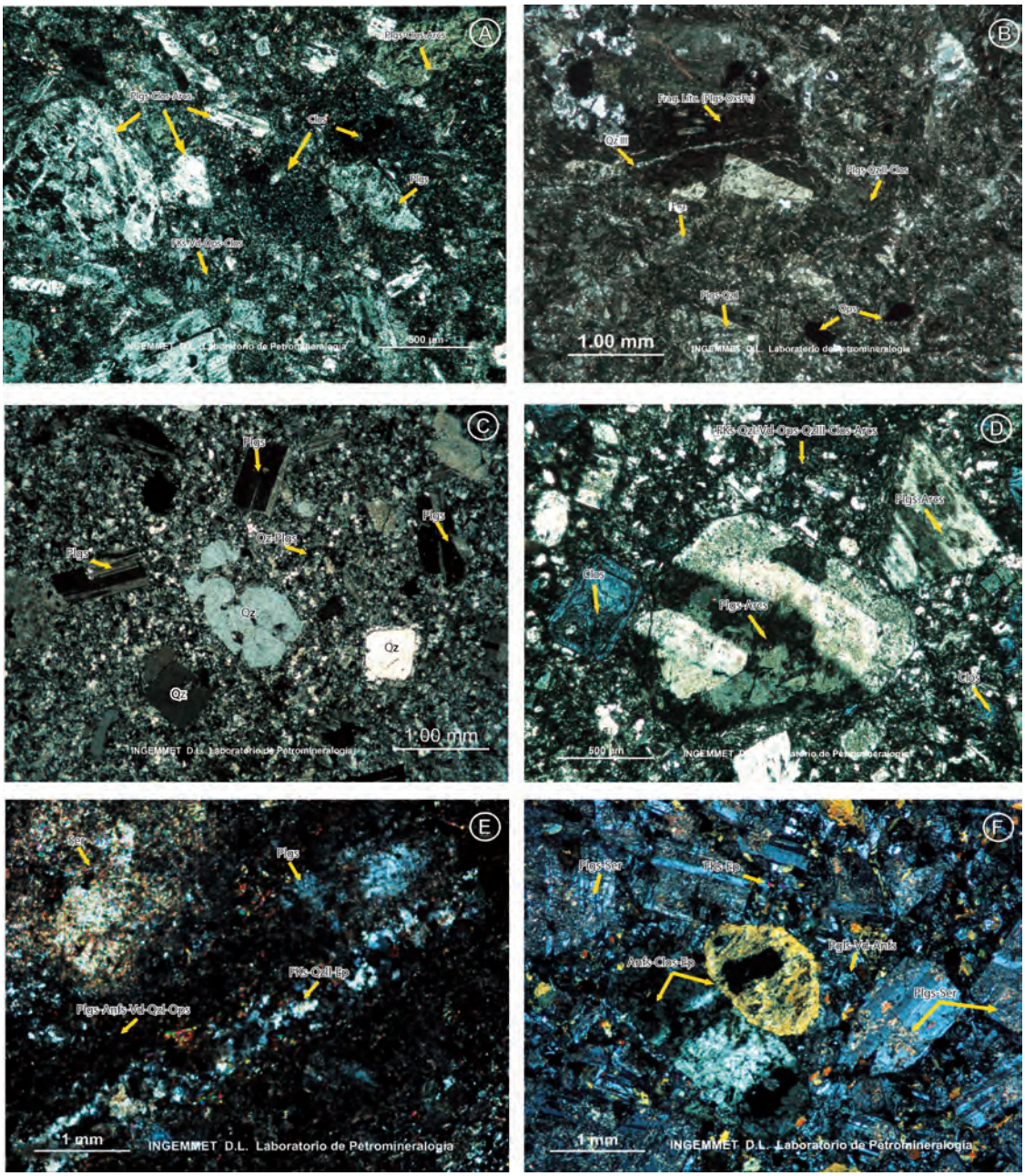


Foto 22. Secciones delgadas con luz polarizada. **A) Porfido andesítico** (GR9-10-126), con fenocristales de plagioclasas alterados por cloritas y arcillas (Plgs-Clos-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas (Clos) en matriz de feldespatos, vidrio volcánico, minerales opacos y cloritas (FKs-Vd-Ops-Clos). **B) Toba cristalolítica** (GR9-10-126), con fragmento de roca volcánica, fenocristales de plagioclasas en matriz también de plagioclasas con óxidos de fierro (Frag. Lítc.(Plgs-OxsFe)), cristales de plagioclasas silicificadas (Plgs-QzI) y minerales opacos (Ops) diseminados en matriz de plagioclasas, cuarzo y cloritas (Plg-QzII-Clos), finas venillas de cuarzo (QzIII). **C) Dacita** (GR9-10-128) con fenocristales de plagioclasas (Plgs) y cuarzo (Qz) en matriz constituida por cuarzo y plagioclasas (Qz-Plgs). **D) Latita** (GR-10-129A), con fenocristales de plagioclasas alterados por arcillas (Plgs- Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas (Clos) en matriz de feldespatos, cuarzo, vidrio volcánico y minerales opacos alterados por cuarzo, cloritas y arcillas (FKs-QzI-Vd-Ops-QzIII-Clos-Arcs). **E) Andesita** (GR9-10-165), con fenocristal de plagioclasas (Plgs) y molde de fenocristales alterado por sericita (Ser) en matriz de plagioclasas, anfíboles, vidrio volcánico, cuarzo y minerales opacos (Plgs-Anfs-Vd-QzI-Ops). Se observan vetillas rellenas por feldespatos potásicos, cuarzo y epídotas (FKs-QzII-Ep). **F) Porfido andesítico** (GR9-10-166), con fenocristales de plagioclasas alterados por sericita (Plgs-Ser) y de anfíboles alterados por cloritas y epídotas (Anfs-Clos-Ep) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico, cuarzo y anfíboles (Plgs-Vd-QzI-Anfs). Se observan vetillas de feldespatos potásicos con escasas epídotas (FKs-Ep).

CENTRO VOLCÁNICO LA GRANJA

Definición y relaciones estratigráficas. El centro volcánico La Granja está definido en la misma localidad de la Granja (Fig. 12), del distrito de Querocoto, provincia de Chota, corresponde al área del cuadrante II, donde se encuentra emplazado uno de los más importantes pórfidos de cobre, conocido como el Pórfido La Granja. Los productos de este centro volcánico se encuentran cubriendo discordantes o en paleorelieves a rocas sedimentarias del Cretácico inferior y a los productos del centro volcánico Chancay. La parte superior de esta unidad volcánica se encuentra descubierta.

Litología y ambiente sedimentario. Los productos del centro volcánico La Granja, corresponden a seis eventos eruptivos cuyos productos están distribuidos en los alrededores del Pórfido La Granja (Fotos 27A a 27H):

Primer evento: Depósitos de lavas andesíticas que pasan progresivamente a depósitos de flujos piroclásticos de cenizas color blanquecino, ricos en cristales.

Segundo evento: Depósitos de flujos piroclásticos de ceniza color verdoso, ricos en cristales de plagioclasa y cuarzo (Foto 23).

Tercer evento: Conglomerados a la base (Fotos 24 y 25), intercalados con depósitos de flujos piroclásticos de cenizas y secuencias volcanoclásticas; en la parte superior está constituido por lutitas verdes, limolitas y areniscas feldespáticas.

Cuarto evento: A) Depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas color blanquecino con líticos, cristales de cuarzo y biotita, los clastos de pómez tienen un color rosado y aspecto fibroso; este mismo evento presenta secuencias de flujos piroclásticos color verdoso y pardusco que presentan líticos angulosos bien soldados en matriz muy compactada.

B) Depósitos de flujos de lavas andesíticas porfiríticas color gris oscuro a verdoso en coladas delgadas; están ubicados en la parte central del volcán y en algunas zonas están cortados por diques andesíticos afaníticos.

Quinto evento: Depósitos de flujos piroclásticos de cenizas con cristales de cuarzo y plagioclasa; presentan líticos de lavas andesíticas, color gris oscuro de aspecto afanítico.

Sexto evento: Depósitos de flujos de cenizas ricos en cristales de biotita, cuarzo y plagioclasa, con matriz silícea gris amarillenta; estos productos son intruidos por cuerpos subvolcánicos de andesitas porfiríticas (Foto 26).

Estudio petrográfico

Andesita (GR9-10-60; UTM 693923, 9293848). Presenta textura porfirítica (Foto 28A). Está constituida por cristales de plagioclasas, en fenos euhedrales a subhedrales de 1.4 mm, maclados y microfracturados, rellenos por cloritas, epidotas parcialmente albitizados; en la matriz se encuentran plagioclasas como microlitos orientados. Los piroxenos se presentan en fenocristales de 0.75 mm euhedrales a subhedrales, con microfracturas rellenas por cloritas y epidotas; contienen inclusiones de apatito. Las cloritas se presentan en agregados fibrosos, alterando a plagioclasas, piroxenos, moldes de fenocristales y como rellenos de fracturas e intersticios de fenocristales de plagioclasas. La epidota se encuentra alterando a plagioclasas, piroxenos y moldes de fenocristales junto a cloritas. Los anfíboles se encuentran remplazando a piroxenos. El apatito corresponde a cristales de 0.90 mm subhedrales que se encuentran como inclusiones en piroxenos.

- Minerales principales: plagioclasa (80 %).
- Minerales secundarios: cloritas (4 %), epidotas (4 %), óxidos de hierro y arcillas.
- Minerales y componentes accesorios: piroxenos (5 %), vidrio volcánico (4 %) y minerales opacos (3 %).
- Traza: anfíboles, apatito.
- Alteración: débil cloritización y epidotización, oxidación y argilización incipiente.

Pórfido andesita (GR9-10-162; UTM 712194, 9289258). Tiene textura porfirítica (Foto 28B). Presenta cristales de plagioclasas, en cristales 2.70 mm subhedrales a euhedrales, maclados, zonados y microfracturados con inclusiones de piroxenos y apatitos, ligeramente alterados por arcillas. En la matriz se presenta como microlitos orientados de 0.3 mm. El piroxeno se presenta en fenocristales de 2.60 mm subhedrales, con bordes e inclusiones de plagioclasas y microfracturas rellenas por minerales opacos; a veces, se le encuentra como inclusiones en plagioclasas, remplazado por minerales opacos y anfíboles. El anfíbol corresponde a fenocristales de 7.20 mm subhedrales, microfracturados, con rellenos de óxidos de hierro; algunos de estos cristales remplazan a piroxenos y a su vez son remplazados por cloritas y están rodeados por minerales opacos a manera de corona. La biotita se presenta en fenocristales tabulares de 1.15 mm, remplazando a los anfíboles y remplazados por cloritas y minerales opacos. El cuarzo se presenta en agregados de 0.05 mm, con bordes suturados; en la matriz alteran moldes de cristales. Los minerales opacos son cristales de 0.76 mm, anhedrales a euhedrales, diseminados, que remplazan a fenocristales de anfíboles, piroxenos y a moldes de fenocristales de anfíbol. El apatito ocurre como cristales anhedrales a euhedrales y como inclusiones en plagioclasas.

- Minerales y componentes principales: plagioclasas (60 %), piroxenos (15 %), vidrio volcánico (10 %).
- Minerales secundarios: biotita (<1 %).

- Minerales accesorios: anfíboles (7 %), minerales opacos (4 %), cuarzo (3 %).
- Trazas: arcillas, apatito.
- Alteraciones: biotización, cloritización y argilización incipiente.

Andesita porfirítica (GR9-10-54-2; UTM 712369, 9297639). Textura porfirítica con matriz fluidal (Foto 28C). Constituido por cristales de plagioclasas, se presentan como fenocristales de 0.08 a 5.80 mm, subhedrales a euhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados, microfracturados, rellenados por cloritas, sericita y minerales opacos, presentan una alteración a epidotas, sericitas y arcillas, en la matriz se presentan como microlitos ligeramente orientados junto a vidrio volcánico. Los minerales opacos se presentan como cristales de 1.25 mm subhedrales a euhedrales, diseminados en microfracturas de plagioclasas e intersticios de la matriz. Las cloritas ocurren en agregados fibrosos, rellenando microfracturas de plagioclasas y moldes de cristales. La epidota, en agregados anhedrales a subhedrales, altera a fenocristales de plagioclasa y a moldes de fenocristales ferromagnesianos. El apatito, en cristales subhedrales de 0.15 mm, se presenta como inclusiones en la matriz.

- Minerales y componentes principales: plagioclasas (67 %), vidrio volcánico (10 %), cloritas (10 %).
- Minerales secundarios: arcillas (4 %), epidotas (3 %), óxidos de hierro
- Minerales accesorios: minerales opacos (6 %)
- Trazas: óxidos de hierro, apatito.
- Alteraciones: cloritización moderada, argilización y débil epidotización, oxidación incipiente.

Dacita (GR9-10-41 UTM 717136, 9295542). Tiene textura porfirítica con matriz micropoiquilítica, (Foto 28D). Está constituida por cristales de plagioclasas, que se presentan como fenocristales de 4.80 mm subhedrales a euhedrales, maclados zonados y con inclusiones de moldes de cristales alterados por cloritas y epidotas; en la matriz ocurren como microlitos, y en general se alteran a sericita, epidota, arcillas y óxidos de hierro. El cuarzo se presenta en dos generaciones: El cuarzo I ocurre en fenocristales de cuarzo primario de 2.40 mm, subhedrales con microfracturas y bordes corroídos por la matriz; algunos cristales se encuentran rodeados por material de la matriz, junto a minerales opacos limonitizados. El cuarzo II forma agregados de 0.10 mm anhedrales, que junto a epidotas alteran moldes de cristales. El feldespato potásico se presenta en fenocristales de 0.35 mm, que constituyen la matriz junto a plagioclasas y cuarzo; se altera a epidotas y arcillas. Los minerales opacos corresponden a cristales diseminados subhedrales a euhedrales y se presentan como inclusiones en microfracturas de moldes cloritizados; presentan alteración a óxido de hierro. La sericita se encuentra en agregados anhedrales que alteran a fenocristales de plagioclasas y están ligeramente teñidos por óxidos de hierro. La epidota forma agregados anhedrales a subhedrales que alteran a plagioclasas y a moldes de fenocristales, a veces junto a cloritas y cuarzo II. La clorita se presenta en agregados fibrosos alterando a plagioclasas, moldes de fenocristales máficos y matriz; algunos cristales se encuentran impregnadas por óxidos de hierro. Los óxidos de hierro alteran a minerales opacos, plagioclasas, cloritas y tiñen a sericitas.

- Minerales principales: plagioclasas (32 %), cuarzo I (30 %), feldespato potásico (20 %).
- Minerales secundarios: cloritas (7 %), sericita (3 %), epidotas (2%), arcillas (1 %), cuarzo II (1 %), óxidos de hierro (1 %).
- Minerales accesorios: óxidos de hierro.
- Alteraciones: cloritización, sericitización, débil epidotización, argilización, silicificación y oxidación muy débil.

Pórfido riolítico (GR9-10-39; UTM 705766, 9296422). Presenta textura porfirítica (Foto 28E), y está constituido por cristales de cuarzo primario de 3.8 mm, subangulosos a subredondeados, fracturados y con inclusiones de feldespatos; sus bordes se encuentran ligeramente corroídos por la matriz y algunos cristales están rodeados por una fina capa de sericita. Los feldespatos se presentan en cristales menores a 0.4 mm y constituyendo la matriz; se alteran a sericitas y arcillas. La sericita ocurre en agregados anhedrales que alteran intensamente a moldes de fenocristales, posiblemente, de feldespatos y anfíboles y débilmente a la matriz. Se encuentran impregnados por óxidos de hierro. La muscovita se presenta en fenocristales tabulares junto a minerales opacos y en su clivaje se encuentran cristales de rutilo; algunos cristales se encuentran alterados en sus bordes por sericita y óxidos de hierro, siguiendo su clivaje. Los minerales opacos presentan cristales anhedrales, con fracturas y algunos cristales se presentan como inclusiones en moldes de feldespatos y anfíboles. Los óxidos de hierro se encuentran impregnando a sericita y alterando moldes de minerales opacos. El rutilo forma agregados anhedrales que se encuentran como inclusiones en moldes de opacos limonitizados y de fenocristales sericitizados. El circón ocurre como cristales de 0.02 mm, euhedrales, que se presentan como inclusiones en moldes sericitizados.

- Minerales principales: feldespatos (35 %), cuarzo (20 %).
- Minerales secundarios: sericita (40 %), arcillas (6 %), óxidos de hierro (2 %).
- Minerales accesorios: muscovita (4 %), minerales opacos (2 %).
- Trazas: rutilo, circón.

. Alteraciones: sericitización intensa, argilización y débil oxidación.

Toba cristalolítica (GR9-10-37; UTM 708900, 9301060). Está constituida por cristales de plagioclasa, fragmentos líticos, moldes de cristales alterados por epidotas, piroxenos, cuarzo y minerales opacos en la matriz (Foto 28F).

. Minerales y componentes principales: plagioclasas (32 %), cuarzo (30 %), fragmentos líticos (20 %).

. Minerales secundarios: epidotas (6 %), arcillas (4 %), cloritas (1 %), sericita (1 %).

. Minerales y componentes accesorios: vidrio volcánico (3 %) y minerales opacos (3 %).

. Trazas: piroxenos, apatito, carbonatos.

. Alteraciones: intensa silicificación, epidotización, débil argilización, débil cloritización, oxidación y carbonatación incipiente.

Toba Lapilli (GR9-10-51-2; UTM 714241, 928319). Textura tufácea (Foto 28G), constituida por fragmentos líticos, cristales de plagioclasas y moldes alterados por cloritas y epidotas, en matriz parcialmente fluidal de plagioclasas y vidrio volcánico.

. Minerales y componentes principales: fragmentos líticos (43%), plagioclasas (35 %).

. Minerales secundarios: epidotas (5 %), cloritas (5 %), arcillas (arcillas 2 %).

. Minerales accesorios: piroxenos (4 %), minerales opacos (4%), cuarzo (1 %).

. Trazas: cuarzo II, óxidos de hierro.

. Alteraciones: epidotización, cloritización, débil argilización, sericitización, silicificación y oxidación incipiente.

Toba cristalo vítrica (GR9-10-29; UTM 715419, 9282536). Tiene textura tufácea con matriz parcialmente fluidal (Foto 28H), presenta una coloración blanca a ligeramente rosada con manchas verdosas (cloritas); ocurren cristales de cuarzo, plagioclasas, biotitas y cloritas en matriz afanitica de cenizas y vidrio. Los anfíboles son muy escasos y se presentan con inclusiones de biotita.

. Minerales y componentes principales: plagioclasas (25 %), cuarzo (25 %), vidrio volcánico (17 %).

. Minerales secundarios: arcillas (7 %), sericita (7 %), óxidos de hierro (1%), cloritas (<1 %).

. Minerales y componentes accesorios: fragmentos líticos (8 %), biotita (5 %), minerales opacos (2 %), anfíboles (<1 %).

. Trazas: apatito.

. Alteraciones: argilización, débil sericitización, muy débil oxidación y cloritización incipiente.

Toba litocristalina (GR-10-52-2; UTM 713126, 9299694). Tiene textura tufácea (Foto 28I), y está constituido por fragmentos líticos de color gris claro, algunos con tonalidades rojizas por óxidos de hierro, y cristales de plagioclasas, en matriz color gris verdosa, con ocurrencias de finas vetillas de cuarzo.

. Minerales y componentes principales: fragmentos líticos (60 %), plagioclasa (17 %).

. Minerales secundarios: epidotas, cloritas, arcillas, carbonatos, óxidos de hierro, cuarzo.

. Minerales accesorios: epidotas (8 %), cloritas (7 %), arcillas (7 %), minerales opacos (<1%)

. Trazas: carbonatos, óxidos de hierro, cuarzo, apatito.

Alteraciones. Epidotización, cloritización, débil argilización, carbonatación y oxidación e incipiente silicificación.

Edad. Una datación realizada en cristales de pómez del cuarto evento eruptivo por K/Ar sobre plagioclasa arroja una edad de 35.4 ± 1.2 Ma (Noble et al., 1990), por lo tanto es ubicado en el Eoceno.

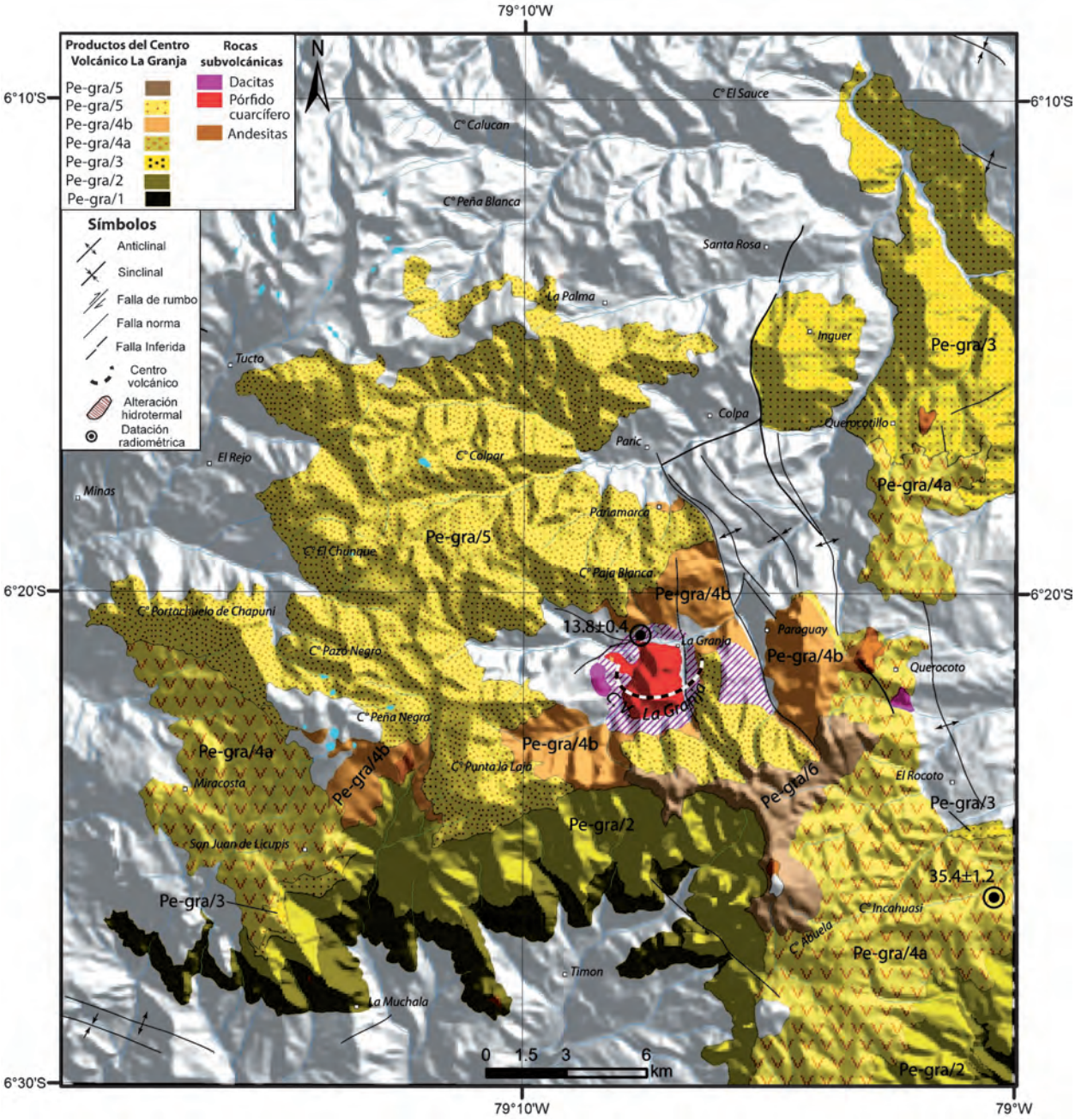


Figura 12. Mapa geológico del centro volcánico La Granja con sus principales productos.

Foto 23. Flujos piroclásticos con pómez y líticos del segundo evento, cerca al poblado de Huambos.

Foto 24. Flujos piroclásticos del tercer evento, correspondientes al centro volcánico La Granja, donde se encuentran cubriendo a secuencias sedimentarias cretácicas y cortados por cuerpos subvolcánicos andesíticos, al fondo el río Chotano y el sector de las Juntas.

Foto 25. Secuencias volcánosedimentarias del tercer evento, tomada de la parte alta de San Juan de Licupis.

Foto 26. Secuencia de flujos piroclásticos del quinto evento. Vista tomada desde el sector de Miracosta en dirección al NO hacia el cerro Portachuelo de Chapuni.

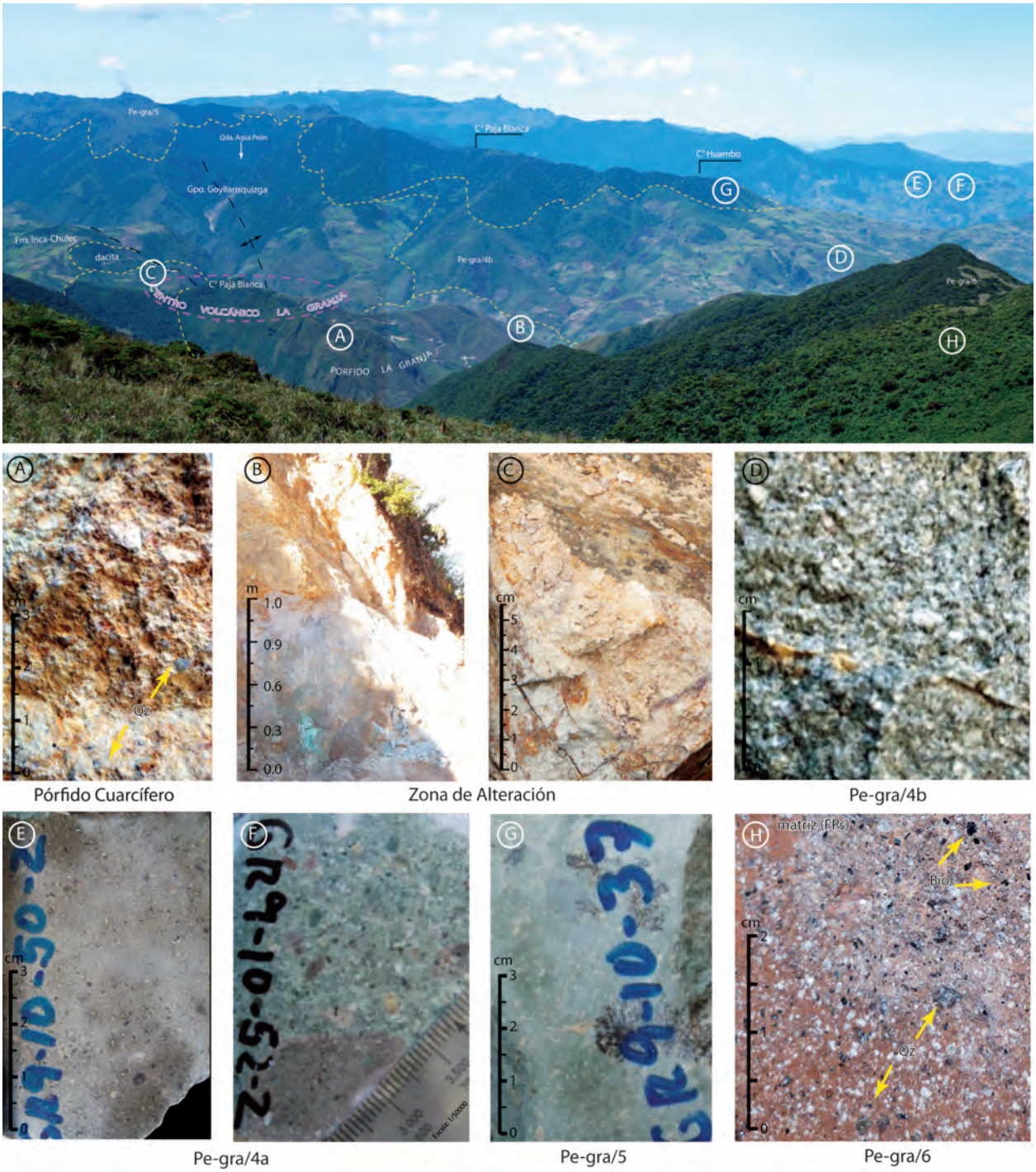


Foto 27. Centro volcánico La Granja y la ubicación de los principales productos: **A)** Pórfido cuarcífero, **B y C)** Zonas de alteración coronando las márgenes del pórfido, **D)** Flujos piroclásticos ricos en cristales de cuarzo, E) Roca intensamente alterada por cloritas y epidotas, **F)** Flujo litocristalino, donde se observa fragmentos líticos con óxidos de hierro, **G)** Tufo cristalolítico, **H)** Flujos piroclásticos ricos en cristales de cuarzo y biotita.

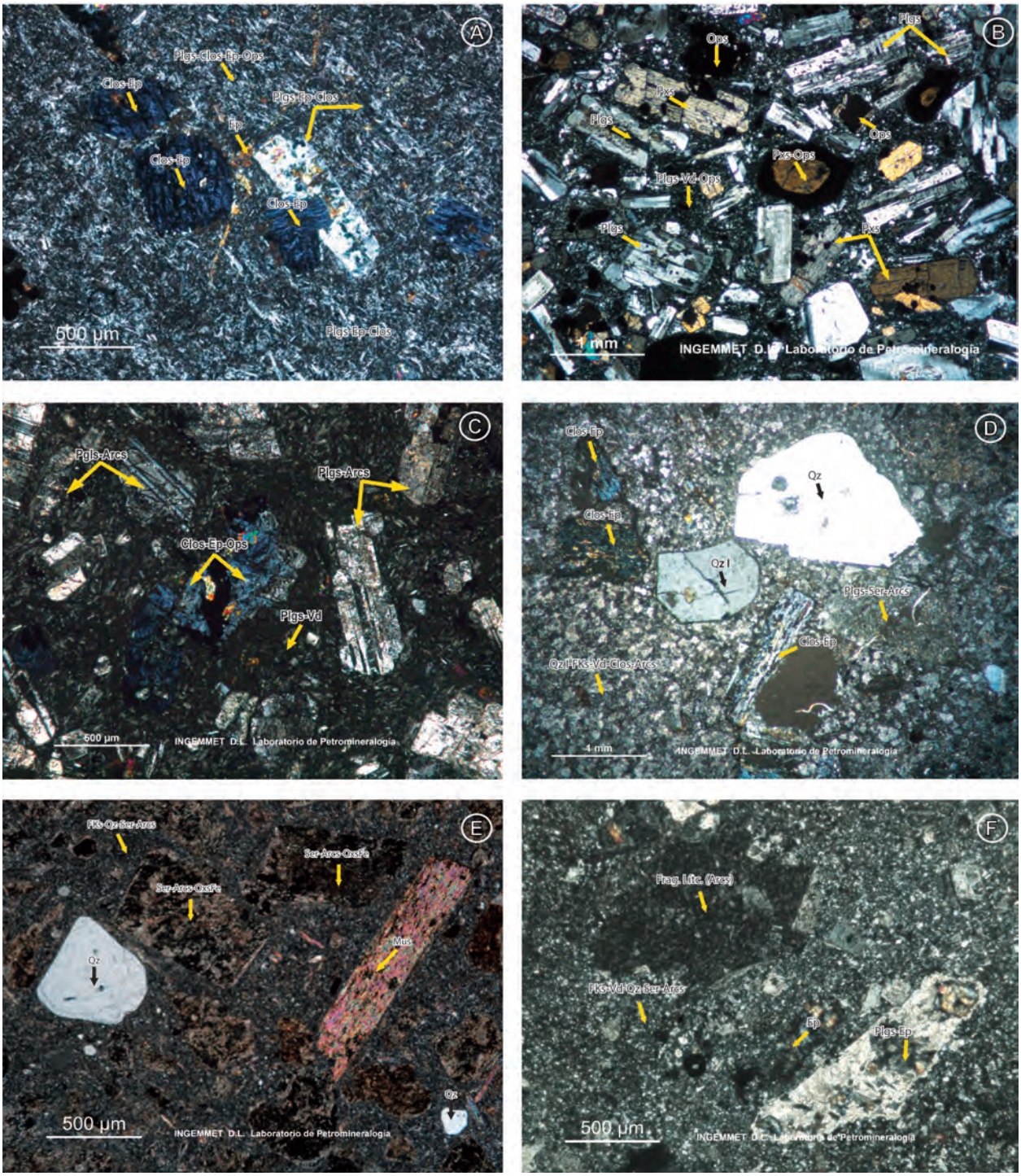


Foto 28. Continuación.

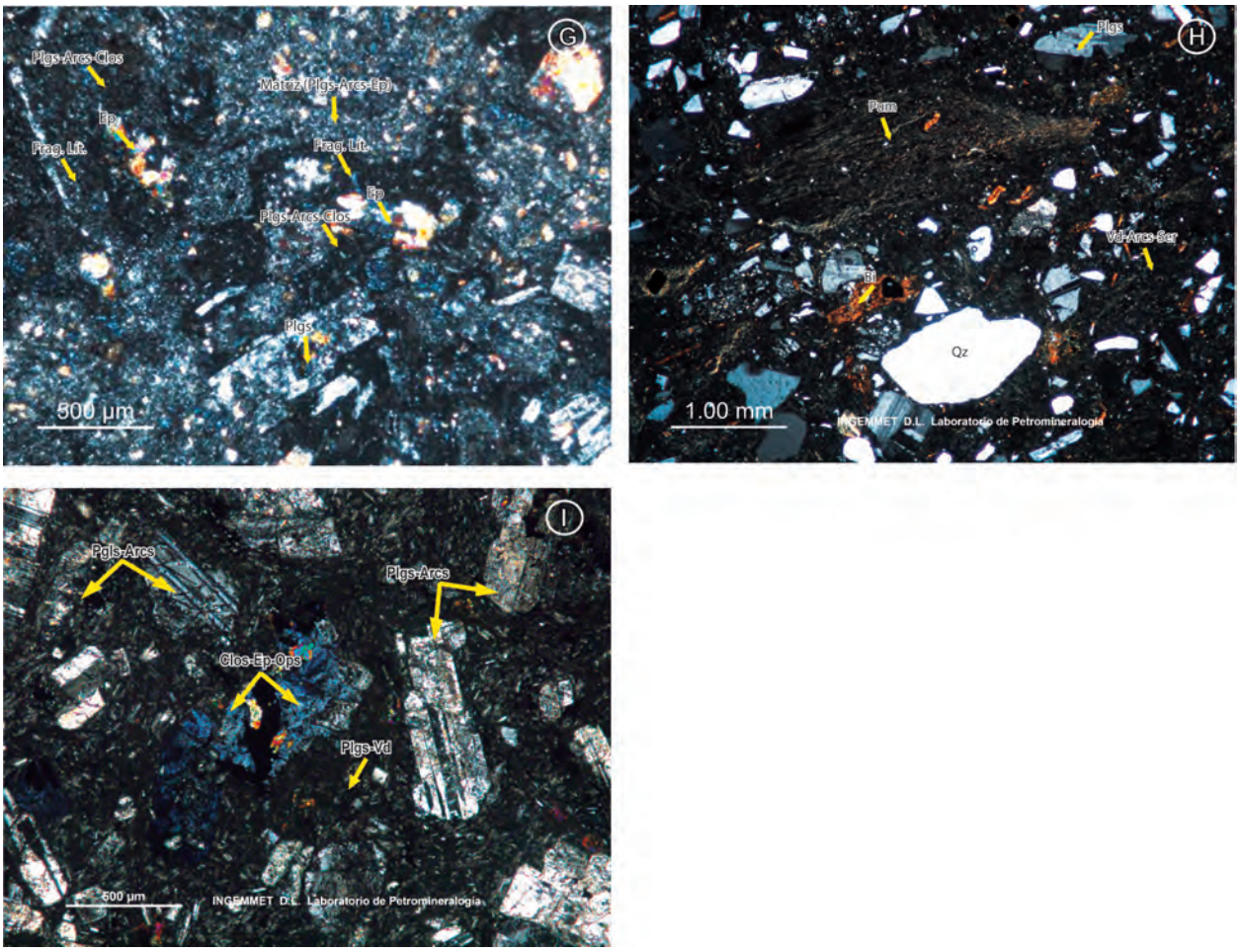


Foto 28. Con luz natural: **A) Andesita** (GR9-10-60), con fenocristales de plagioclasas alterados por epídotas y cloritas (Plgs-Ep-Clos) y moldes de fenocristales alterados por cloritas y epídotas (Clos-Ep), matriz de plagioclasas, cloritas, epídotas y minerales opacos finamente diseminados (Plgs-Clos-Ep-Ops), vetillas de epídotas (Ep). **B) Pórfido andesítico (**GR9-10-162), con fenocristales de plagioclasas (Plgs) y piroxenos (Pxs), algunos rodeados por minerales opacos (Pxs-Ops) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico y minerales opacos (Plgs-Vd-Ops). **C) Andesita porfirítica** (GR10-54-2), con fenocristales de plagioclasas alterados por arcillas (Plgs-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas, epídotas y minerales opacos (Clos-Ep-Ops) en matriz constituida por plagioclasas y vidrio volcánico (Plgs-Vd). **D) Dacita** (GR9-10-41), con fenocristales de cuarzo (QzI), plagioclasas alteradas por sericita y arcillas (Plgs-Ser-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas y epídotas, en matriz cuarzo feldespatos, vidrio volcánico, cloritas y arcillas (QzI-FKs-Vd-Clos-Arcs. **E) Porfido riolítico** (GR9-10-39), con fenocristales de cuarzo (Qz), muscovita (Mus) y moldes de fenocristales alterados por sericita, arcillas y óxidos de fierro (Ser-Arcs-Oxs-Fe) en matriz constituida por feldespatos, cuarzo, sericita y arcillas (FKs-Qz-Ser-Arcs). **F) Toba cristalolítica** (GR9-10-37), con fragmento de roca volcánica alterado por arcillas (Frag.Lítc. (Arcs)) y cristales de plagioclasas alterados por epídotas (Plgs-Ep) y molde alterado por epídotas (Ep) en matriz de feldespatos, vidrio volcánico, cuarzo secundario, sericita y arcillas (FKs-Vd-Qz-Ser-Arcs). **G) Toba de lapilli** (GR9-10-51-2), con fragmentos de roca volcánica (Frag. Lítc.) constituida por fenocristales de plagioclasas en matriz de vidrio volcánico y arcillas (Vd-Arcs), cristales de plagioclasas alterados por sericita (Plgs-Ser) y moldes alterados por cloritas (Clos) en matriz de plagioclasas y vidrio volcánico (Plgs-Vd). Ocurren minerales opacos diseminados (Ops). **H) Toba cristalo vitrica** (GR9-10-29), con cristales y fragmentos de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), de pumita (Pum) y de biotita (Bi) en matriz vítrea parcialmente devitrificada por arcillas y sericita (Vd-Arcs-Ser). **I) Toba litocristalina** (GR9-10-52-2), con moldes de fragmentos líticos (Frag. Lítc.) en el que se observa fenocristales de plagioclasas (Plgs) y moldes alterados por epídotas (Ep) en matriz de plagioclasas alteradas por arcillas y cloritas (Plgs-Arcs-Clos). La matriz de la roca está compuesta de plagioclasas, arcillas y epídotas (Plgs-Arcs-Ep).

CENTRO VOLCÁNICO CAÑARIACO

Definición y relaciones estratigráficas. Este centro volcánico está ubicado aproximadamente a 7 km del poblado de Cañarís (Fig. 13), margen izquierda del río Jatun Yaco, sus productos abarcan los alrededores de Incahuasi, Cueva Blanca, Marayhuaca, Ullurpampa, Mamagpampa y Congacha, entre otros (cuadrante IV). El basamento de estos productos volcánicos podría corresponder a rocas de la Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior) y probablemente a rocas sedimentarias del Cretácico inferior; sin embargo, al sur del centro volcánico en los alrededores de Incahuasi, los productos de este centro volcánico cubren rocas intrusivas de edad Paleógena. Por lo general, la parte superior de esta unidad volcánica se encuentra descubierta.

Litología y ambiente sedimentario. De acuerdo a los estudios estratigráficos realizados en estas secuencias, se han determinado cinco eventos eruptivos:

Primer evento: Depósitos de flujos piroclásticos color verde, intercalados con cenizas muy compactas por silicificación (Fotos 29 y 30), flujos piroclásticos color blanquecino con clastos de pómez. La parte intermedia de este evento presenta niveles delgados de lutitas color verde, que pasan progresivamente a una secuencia de flujos piroclásticos y cenizas de color blanquesino. En general las secuencias de este evento se encuentran bien estratificadas en estratos de 2.5 a 50 cm.

Segundo evento: Depósitos de flujos piroclásticos y cenizas con cristales de cuarzo y clastos de pómez de formas alargadas (Fotos 30 y 31), como se muestra en los afloramientos del sector de Chilvaca (cuadrante IV); sin embargo, este mismo evento en el sector Pampa Verde del mismo cuadrante presenta flujos piroclásticos cuyos líticos son de composición granítica.

Tercer evento: Depósitos de lavas andesíticas y andesitas basálticas color gris oscuro a ligeramente verdoso (Foto 32). La matriz presenta mineralización de pirita cristalizada, mientras que en fracturas la pirita se presenta con aspecto masivo.

Cuarto evento: Depósitos de flujos piroclásticos de composición dacítica, envueltos en una matriz de cenizas de composición dacítica, color ligeramente verdoso. Este evento eruptivo no presenta una estratificación definida.

Quinto evento: Depósitos de flujos piroclásticos con líticos, envueltos en una matriz de ceniza de composición dacítica, que presenta una coloración gris verdosa (Foto 33).

Estudio petrográfico

Pórfido dacítico (GR9-10-98; UTM 688270, 9323015). Presenta textura porfirítica en matriz microgranular (Foto 34A). Está constituido por fenocristales de plagioclasas de 3.8 mm euhedrales a anhedrales con zoneamiento y macla, que se alteran a sericitas. El vidrio volcánico ocurre dentro de fenocristales de plagioclasas, que se alteran a epidotas y arcillas. La biotita, ocurre en fenocristales de 2.2 mm subhedrales, que se alteran parcialmente a cloritas, siendo remplazados en algunos sectores por minerales opacos. Dentro de toda la muestra, también se observan moldes de fenocristales alterados. Los minerales opacos presentan cristales subhedrales a anhedrales, que se encuentran remplazando y rellenando clivajes de la biotita. La matriz está constituida por granos de cuarzo, plagioclasas, feldespatos potásicos y diseminados de minerales opacos; también están presentes agregados criptocristalinos de arcillas, a veces teñidas por óxidos de hierro.

- Minerales principales: plagioclasas (39.5 %), cuarzo (20 %), feldespatos potásicos (16 %). Minerales y componentes accesorios: biotita (3 %), vidrio (3 %), opacos (2 %).
- Minerales secundarios: cloritas (7 %), arcillas (4 %), sericita (2 %), epidotas (<2 %), albita (<1 %), óxidos de hierro (0.5 %).
- Alteraciones: moderada cloritización y argilización, débil sericitización y epidotización, muy débil albitización y oxidación incipiente.

Andesita porfirítica GR9-10-16 (UTM 686309, 9321165). Tiene textura porfirítica (Foto 34B). Está constituida por fenocristales de plagioclasas, euhedrales a subhedrales, maclados, zonados y microfracturados; estos últimos con relleno de clorita, sericita, carbonatos y epidota. En la matriz las plagioclasas se presentan como microcristales alterados por cuarzo y sericita. El cuarzo ocurre como agregados de 0.01 mm anhedrales, que alteran moldes de cristales y la matriz, y a veces rellenando pequeñas vetillas. Los minerales opacos se presentan como cristales diseminados euhedrales a subhedrales, dentro de intersticios de la matríz, a veces alterados por óxidos de hierro. Las cloritas, junto a la epidota, en agregados fibrosos alteran moldes de cristales y rellenan microfracturas de plagioclasas e intersticios de la matriz. La epidota ocurre en cristales anhedrales que alteran fenocristales y rellenan microfracturas de plagioclasas e intersticios de la matriz. Los carbonatos, en agregados anhedrales, alteran plagioclasas y rellenan pequeñas fracturas. La esfena presenta cristales euhedrales a subhedrales de 0.07 mm que se encuentran como inclusiones en carbonatos.

- Minerales principales: plagioclasas (74 %).
- Minerales secundarios: cuarzo (8 %), cloritas (6 %), epidotas (5 %), carbonatos (2 %), sericita, óxidos de hierro.
- Minerales accesorios: minerales opacos (4 %).
- Trazas: esfena.

. Alteraciones: silicificación, cloritización, epidotización y débil carbonatación; sericitización y oxidación incipiente.

Andesita basáltica (GR9-10-76; UTM 681892, 9316498). Tiene textura porfirítica (Foto 34C). Está constituida por cristales de plagioclasas que presentan fenocristales subhedrales menores a 1.25 mm, maclados, microfracturados y con rellenos de cloritas, óxidos de hierro y ligeramente alterados a sericita, carbonatos, cloritas y arcillas. La matriz presenta cristales de plagioclasa de 0.10 mm, parcialmente orientados. Los piroxenos presentan fenocristales subhedrales de 0.5 mm, microfracturados, con rellenos de óxidos de hierro e inclusiones de minerales opacos que se alteran incipientemente a cloritas. Los minerales opacos corresponden a cristales subhedrales a euhedrales, diseminados en la matriz y como inclusiones en piroxenos; también forman en vetillas junto a carbonatos con óxidos de hierro. Los carbonatos son agregados que alteran a plagioclasas y rellenan cavidades e intersticios de la matriz. Las cloritas, se presentan en agregados fibrosos y radiales alterando cristales de piroxenos; así mismo, rellenan microfracturas de plagioclasas y cavidades e intersticios de la matriz. Las arcillas ocurren como agregados micro a criptocristalinos que alteran plagioclasas y rellenando fracturas.

. Minerales y componentes principales: plagioclasas (70 %), vidrio volcánico (10 %).

. Minerales secundarios: carbonatos (3 %), cloritas (3 %), arcillas (2 %), óxidos de hierro (2 %).

. Minerales accesorios: minerales opacos (8 %), piroxenos (<1 %).

. Alteraciones: carbonatos, cloritización y argilización débil oxidación.

Cuarzo andesita silicificada (GR9-10-94; UTM 687287, 9320213). Presenta textura porfirítica (Foto 34D). Está constituida por fenocristales de plagioclasas, menores a 3.20 mm, maclados y con bordes redondeados; en la matriz se presentan como microcristales de 0.10 mm, que se alteran a carbonatos, cloritas y sericitas. El cuarzo ocurre en cuatro generaciones: El cuarzo I, en cristales primarios que se presentan en intersticios de la matriz. El cuarzo II, en agregados anhedrales de 0.09 mm que alteran moldes de cristales. El cuarzo III ocurre en agregados anhedrales, mostrando contactos suturados con extinción ondulante y alterando a la matriz. El cuarzo IV rellena finas vetillas que son cortadas longitudinalmente por vetillas de carbonatos. Los minerales opacos corresponden a cristales subhedrales a euhedrales de 0.05 a 0.35 mm diseminados en toda la muestra. Los piroxenos son relictos que se presentan como inclusiones en plagioclasas, alterados por epidotas. Las cloritas son agregados fibrosos dispuestos en forma radial que alteran a plagioclasas, a moldes de fenocristales y se encuentran en intersticios de la matriz. Los carbonatos alteran a plagioclasas, a moldes de fenocristales y a la matriz y rellenan finas vetillas de cuarzo. La turmalina ocurre en agregados columnares menores a 0.50 mm, y se encuentra como minerales de alteración en las plagioclasas. Las arcillas corresponden a agregados criptocristalinos, que alteran a fenocristales y a la matriz.

. Minerales principales: plagioclasas (43 %).

. Minerales secundarios: cuarzo III (18 %), cloritas (8 %), epidotas (5 %), carbonatos (4 %), turmalina (3 %), arcillas, sericita.

. Minerales accesorios: cuarzo I (7 %), minerales opacos (5 %).

. Alteraciones: Silicificación moderada, cloritización, epidotización, carbonatación, turmalinización y argilización débil; sericitización incipiente.

Andesita porfirítica (GR9-10-96; UTM 687443, 9317375). Presenta textura porfirítica (Foto 34E). Está constituida por cristales de plagioclasas, que se presentan como fenocristales subhedrales menores a 2 mm, maclados, zonados y microfracturados con relleno de carbonatos y epidotas; en la matriz se encuentran como microlitos parcilamente orientados, junto a vidrio volcánico. El cuarzo presenta dos generaciones: el cuarzo I aparece en agregados anhedrales de 0.03 mm, alterando moldes de cristales con cloritas y epidotas. El cuarzo II ocurre en agregados con bordes recristalizados de 0.10 mm, rellenando fracturas junto a epidotas. Los minerales opacos ocurren como cristales subhedrales a euhedrales de 0.05 mm diseminados en la matriz. Los piroxenos son relictos de cristales subhedrales de 0.16 mm, alterados por cloritas y epidotas. Los anfíboles forman cristales de actinolita y moldes de ferromagnesianos y son alterados por epidotas. Las epidotas ocurren en agregados anhedrales a subhedrales que alteran a fenocristales de plagioclasas y a moldes de fenocristales, junto a cloritas y cuarzo. Las cloritas, en agregados fibrosos, alteran plagioclasas y moldes de fenocristales, a veces rellenan cavidades junto a cuarzo, con epidotas en sus bordes. Los carbonatos alteran fenocristales de plagioclasas y moldes de cristales; estos a su vez, se encuentran dispersos dentro de la matriz y en el borde de una cavidad rellena por cloritas.

. Minerales y componentes principales: plagioclasas (42 %), vidrio volcánico (25 %).

. Minerales secundarios: cloritas (10 %), epidotas (8 %), cuarzo I (5 %), carbonatos (2 %), cuarzo II (1 %).

. Minerales accesorios: minerales opacos (7 %).

. Trazas: piroxenos, anfíboles.

. Alteraciones: cloritización moderada, epidotización, silicificación y débil carbonatación.

Roca volcánica alterada a cuarzo biotita (GR9-10-13; UTM 681065, 9311432). Presenta textura relictica (Foto 34F). Está constituida por cristales de plagioclasas, subhedrales de 3.8 mm, microfracturados, algunos albitizados y alterados por arcillas, sericita, epidotas; en la matriz ocurre como microcristales junto a cuarzo y micas. El cuarzo presenta tres generaciones: El cuarzo I se presenta como cuarzo primario de 1.60 mm, con bordes corroídos y microfracturados rellenos por mica y epidotas. El cuarzo II corresponde a agregados de 0.03 mm que alteran a moldes de cristales. El cuarzo III se presenta en agregados anhedrales de 0.01 mm, que alteran intensamente la matriz. La biotita, en agregados secundarios, se presenta en intersticios de cuarzo; altera a la matriz y rellena vetillas alteradas por óxidos de hierro y cloritas. Los minerales opacos ocurren como cristales diseminados subhedrales a euhedrales, en bordes de cristales. Las epidotas se presentan en agregados anhedrales, alterando plagioclasas y moldes de cristales con relleno de microfracturas de cuarzo. La turmalina ocurre en agregados menores a 0.6 mm, que se encuentran en fragmentos líticos. Las cloritas corresponden a agregados fibrosos. La esfena se presenta en agregados anhedrales a subhedrales y en bordes de fragmentos líticos. Los fragmentos líticos son rocas volcánicas en formas alargadas y están parcialmente orientados.

- Minerales y componentes principales: plagioclasas (30 %), fragmentos líticos (18 %).
- Minerales secundarios: cuarzo III (27 %), biotita (7 %), arcillas (4 %), cuarzo II (4 %), turmalina (2 %), óxidos de hierro (1 %), epidotas (1 %).
- Minerales accesorios: cuarzo I (4 %), minerales opacos (1 %).
- Trazas: sericita, clorita y esfena.
- Alteraciones: silicificación moderada, biotización, débil argilización, muy débil oxidación y epidotización, incipiente sericitización y cloritización.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas en este centro volcánico. Por lo tanto, la edad atribuida a estas unidades se le asigna al intervalo Paleógeno, sobre la base de dataciones del centro volcánico vecino que presenta una datación K/Ar sobre plagioclasa de 35.4 ± 1.2 Ma (Noble et al, 1990).

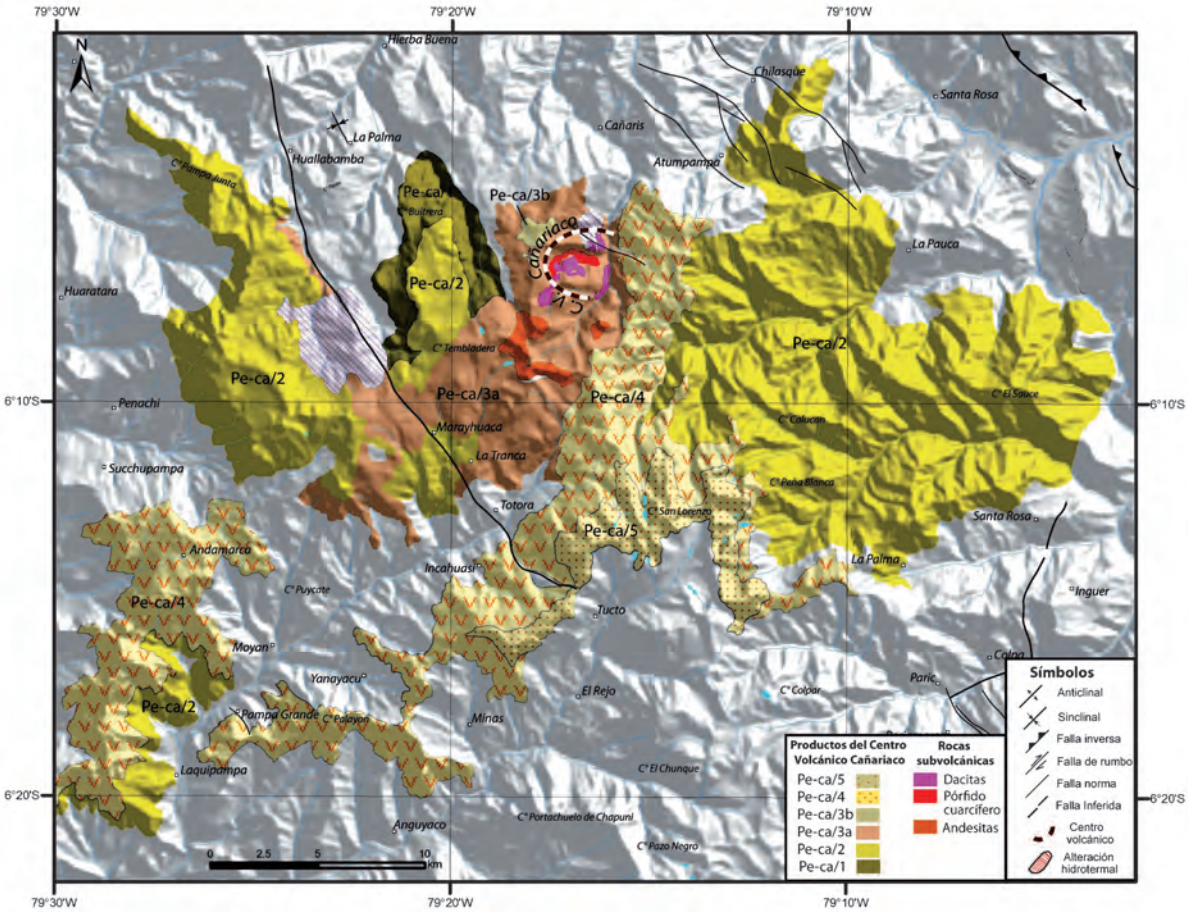


Figura 13. Mapa geológico del centro volcánico Cañariaco, donde se observa la distribución de sus principales productos.

Foto 29. Flujos piroclásticos de composición dacítica, correspondientes al primer evento eruptivo del centro volcánico Cañariaco, en el sector del cerro Concache (cuadrante IV).

Foto 30. Flujos piroclásticos del segundo evento eruptivo, correspondiente al centro volcánico Cañariaco. Vista mirando al sur de la localidad de Chilvaca (cuadrante IV).

Foto 31. Flujos piroclásticos cubriendo a granitos de la Unidad Carrizal, sector del Naranjo-Chimana (cuadrante IV).

Foto 32. Lavas andesíticas y andesitas basálticas bien estratificadas, del sector del cerro Tembladera, ruta hacia el Proyecto Cañariaco.

Foto 33. Al fondo en la parte alta el cerro Limpiag, se observa flujos piroclásticos en estratos gruesos correspondientes al quinto evento (cuadrante IV).

SECUENCIA VOLCÁNICA MIRACOSTA

Definición y relaciones estratigráficas. El mapeo geológico detallado ha permitido diferenciar unidades volcánicas, sin embargo, las secuencias volcánicas Miracosta no presenta su centro de emisión, que probablemente esté cubierto por otros productos de los centros volcánicos vecinos. La secuencia inferior, que corresponde al primer evento volcánico Miracosta, cubre secuencias sedimentarias cretácicas, intruidas por gabros de probable edad paleógena.

Los afloramientos de estas secuencias volcánicas abarcan las localidades de Tocmoche, Miraflores y La Unión, ubicadas en el cuadrante III.

Litología y ambiente sedimentario. De acuerdo a los estudios estratigráficos realizados se han determinado cuatro eventos eruptivos:

Primer evento: Depósito de flujos piroclásticos con fragmentos líticos angulosos a sub- angulosos de 2 cm; los fragmentos líticos, corresponden a rocas sedimentarias (cuarcitas y lutitas negras), envueltos en una matriz de ceniza muy compacta, color verde a gris verdoso.

Segundo evento: Depósitos de lavas dacíticas color gris azulino por patina, con contenido de pirita diseminada, cortados por diques andesíticos, sobre esta secuencia se presentan flujos piroclásticos con líticos ligeramente redondeados. Superficialmente, se observa una erosión en cebolla o erosión diferencial. La parte superior de este evento presenta flujos piroclásticos color blanquesino, rico en cristales de cuarzo de formas redondeadas; así mismo, presenta lavas de composición traquiandesítica y andesítica basáltica porfirítica, de carácter ferruginoso, color negro.

Tercer evento: Este evento se inicia con una secuencia conglomerádica, que aflora cerca al poblado de Tocmoche, esta secuencia conglomerádica está constituida por clastos redondeados de 10 a 30 cm de diámetro ligeramente imbricados y principalmente de composición cuarcítica, la matriz presenta un color violáceo de composición volcánica, sobre la que se depositan secuencias retrabajadas de origen volcánico, conformados por bloques redondeados, dispuestos aisladamente dentro de la matriz, estos pasan progresivamente a otra secuencia de flujos piroclásticos, ricos en cristales de plagioclasas, líticos aislados, y cerrando este evento se presenta una secuencia de lavas andesíticas porfiríticas con fenocristales de plagioclasas y de flujos piroclásticos compuesto por líticos angulosos de color negro, probablemente de los niveles lutáceos de secuencias cretácicos.

Cuarto evento: Depósitos de flujos piroclásticos con líticos soldados y cristales de cuarzo subredondeados; el color de la roca presenta una tonalidad blanco pardusco. Estas secuencias (Foto 35) están intercaladas con niveles de lapilli acresional, que se presentan a manera de burbujas rellenas por mineral. Las secuencias superiores presentan flujos piroclásticos con líticos de 1 cm de forma redondeada, con presencia de pómez en algunos horizontes.

Estudio petrográfico

Andesita (GR9-10-02A; UTM 679872, 9290327). Tiene textura porfirítica seriada (Foto 36A). Está constituida por cristales de plagiocalasas de 0.12 mm a 1.12 mm, subhedrales maclados;

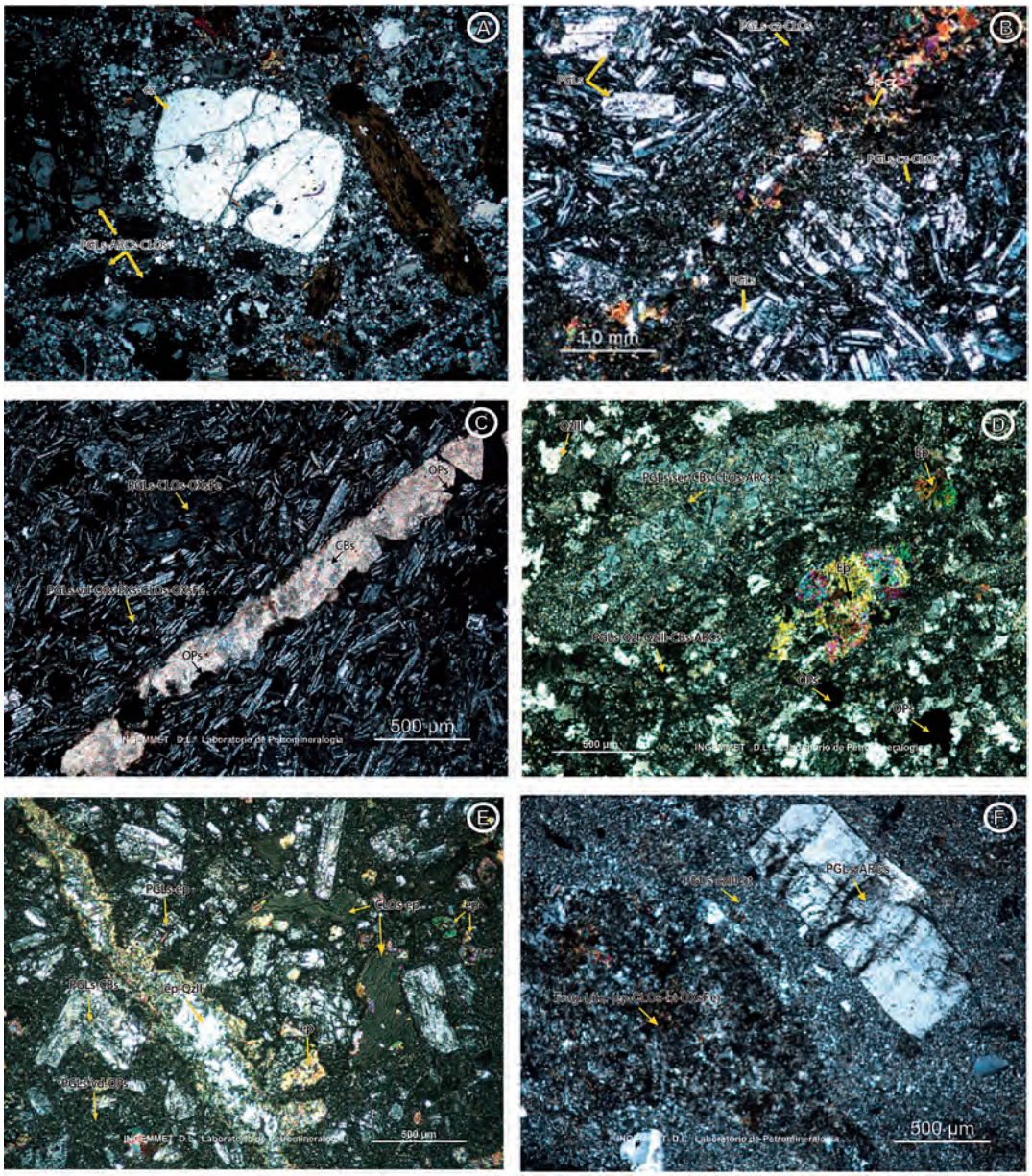


Foto 34. **A) Pórfido dacitico** (GR9-10-98), con fenocristales de cuarzo (Qz) microfracturado y ligeramente corroído por la matriz, plagioclasas (Plgs) fracturadas y alteradas, rellenado por arcillas-cloritas (Arcs-Clos), moldes (M) de fenocristales ferromag-nesianos, alterados totalmente por las cloritas, matriz microgranular de cuarzo-plagioclasas y feldespatos potásicos argilizados (Qz-Plgs-FKs), agregados de granos de arcillas criptocristalina, biotita (Bi) y minerales opacos diseminados (Ops). **B) Andesita porfirítica** (GR9-10-16), con fenocristales de plagioclasas (Plgs) en matriz de plagioclasas alteradas por cuarzo y cloritas (Plgs-Qz-Clos), epidotas y cuarzo (Ep-Qz) rellenando fractura. **C) Andesita basáltica** (GR9-10-76), con fenocristal de plagioclasas cloritizadas y microfracturas rellenas por óxidos de fierro (Plgs-Clos-OxsFe) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico, minerales opacos, piroxenos, cloritas y óxidos de fierro (Plgs-Vd-Ops-Pxs-Clos-OxsFe), vetillas rellenas por carbonatos (Cbs) y minerales opacos (Ops) en sus bordes. **D) Cuarzo andesita silicificada** (GR9-10-94), con fenocristales de plagioclasas alteradas por sericita, carbonatos, cloritas y arcillas (Plgs-Ser-Cbs-Clos-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por epídotas (Ep) en matriz constituida por plagioclasas, cuarzo primario y alterada por cuarzo, carbonatos y arcillas (Plgs-QzI-QzIII-Cbs-Arcs). Se observan minerales opacos (Ops) diseminados. **E) Andesita porfirítica** (GR9-10-96), con fenocristales de plagioclasas alterados por carbonatos (Plgs-Cbs) o por epídotas (Plgs-Ep) y moldes alterados por epídotas (Ep) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico y minerales opacos finamente diseminados (Plgs-Vd-Ops), vetillas de epídotas con cuarzo (Ep-Qz II) y cavidades rellenas por cloritas con epídotas en sus bordes (Clos-Ep). **F) Roca volcánica alterada a cuarzo y biotita** (GR9-10-13), con fragmentos de roca volcánica alterado por epídotas, cloritas, biotita y óxidos de fierro (Frag. Lítc.(Ep-Clos-Bi-OxsFe)) así como cristales de plagioclasas argilizadas. (Plgs-Arcs) en matriz de plagioclasas, cuarzo y biotita intersticial (Plgs-QzIII-Bi).

algunos cristales con bordes subredondeados y microfracturados rellenos por cloritas y epidotas; en la matriz se presentan como microcristales junto a epidotas intersticiales. Los minerales opacos, ocurren como cristales euhedrales a subhedrales de 0.27 mm, diseminados en bordes y moldes de fenocristales; también rellenan cortas vetillas y están rodeados por epidotas y alterados por óxidos de hierro. Las epidotas se presentan en agregados subhedrales y anhedrales dentro de la matriz, alterando a fenocristales de plagioclasas, junto a cloritas y cuarzo; también alteran moldes de fenocristales. Las cloritas ocurren en agregados fibrosos, que alteran a plagioclasas, y junto a epidotas que alteran moldes de ferromagnesianos; en la matriz se encuentran en intersticios. La esfena se presenta en bordes de minerales opacos y en intersticios de la matriz. Como xenolitos, se tiene a fragmentos de roca intrusiva posiblemente de cuarzo diorita con cristales de plagioclasas, cuarzo y epidotas.

- Minerales principales: plagioclasas (82 %).
- Minerales secundarios: epidotas (7 %), cloritas (4 %), arcillas (2 %).
- Minerales accesorios: minerales opacos (5 %).
- Trazas: óxidos de hierro, sericita y esfena.
- Alteraciones: epidotización, cloritización, débil argilización, oxidación y sericitización incipiente.

Dacita (GR9-10-22; UTM 683479, 9291450). Tiene textura porfirítica con matriz micropoiquilítica (Foto 36B). Está constituida por cristales de plagioclasas que ocurren como fenocristales subhedrales a euhedrales de 1.20 mm, con bordes redondeados, maclados, zonados y microfracturados, rellenos de cloritas, epidotas y óxidos de hierro, con algunas inclusiones de piroxenos. El cuarzo presenta dos tipos de generaciones: El cuarzo I ocurre en microfenocristales de 0.18 mm, microfracturados con rellenos de cloritas que constituyen la matriz. El cuarzo II forma agregados anhedrales de 0.04 mm que alteran moldes de fenocristales. Los minerales opacos, constituyen cristales subhedrales a euhedrales de 0.32 mm; se encuentran diseminados como inclusiones y en microfracturas de ferromagnesianos; dentro de la matriz están diseminados y alterados por óxidos de hierro. Los piroxenos ocurren en agregados subhedrales de 2.80 mm, microfracturados, con rellenos de óxidos de hierro e inclusiones de minerales opacos, apatito y plagioclasas. Los anfiboles constituyen fenocristales de 1.30 mm con inclusiones de minerales opacos. Están alterados por cloritas y óxidos de hierro y remplazan a piroxenos. Las cloritas, en agregados fibrosos, alteran a plagioclasas, ferromagnesianos y moldes de fenocristales; también rellenan microfracturas de fenocristales de plagioclasas y están teñidos ligeramente por óxidos de hierro. Las epidotas forman agregados anhedrales que están dispersos en la matriz y alteran a plagioclasas; también rellenan microfracturas de piroxenos. Los óxidos de hierro alteran a plagioclasas, ferromagnesianos y minerales opacos y tiñen a cloritas.

- Minerales principales: plagioclasas (50 %), cuarzo I (25 %).
- Minerales secundarios: cloritas (4 %), epidotas (2 %), óxidos de hierro (<1 %), cuarzo II.
- Minerales accesorios: minerales opacos (6 %), anfíboles (4 %), piroxenos (4 %), vidrio volcánico (4 %).
- Trazas: apatito.
- Alteraciones: cloritización, uralitización y débil epidotización; muy débil oxidación y silicificación incipiente.

Toba cristalolítica (GR9-10-54; UTM 674084, 9289886). Tiene textura tufácea (Foto 36C), y está constituida por fragmentos líticos de rocas sedimentarias (grauvacas y pizarras) así como cristales de plagioclasas y cuarzo parcialmente orientados en matriz fluidal de vidrio volcánico, plagioclasas, cuarzo y arcillas.

- Minerales y componentes principales: fragmentos líticos (37 %), vidrio volcánico (25 %).
- Minerales secundarios: arcillas (5 %), cuarzo III (5 %), carbonatos (3 %), cuarzo II (<1 %).
- Minerales accesorios: cuarzo I (8 %), minerales opacos (<1 %), plagioclasas (38 %).
- Trazas: biotita, calcedonia, óxidos de hierro.
- Alteraciones: argilización, silicificación, débil carbonatación y oxidación incipiente.

Toba andesítica (GR9-10-27; UTM 689806, 9287685) presenta textura tufacea (Foto 36D), y está constituida por fragmentos de plagioclasas, cuarzo, líticos y moldes de cristales alterados por cuarzo y epidotas en matriz compuesta por vidrio volcánico, plagioclasas, cuarzo, micas y arcillas microcriptocristalina orientadas.

- Minerales y componentes principales: plagioclasas (52 %), cuarzo (15 %), vidrio volcánico (10 %).
- Minerales secundarios: arcillas (4 %), micas (3 %), sericita (1 %), cuarzo II (<1 %).
- Minerales accesorios: fragmentos líticos (8 %), minerales opacos (3 %), cuarzo I (2 %), zeolita (1 %).
- Trazas: óxidos de hierro, epidotas, cuarzo IV y cloritas.
- Alteraciones: débil argilización, alteración micácea, sericitización y zeolitización muy débil, oxidación, epidotización y cloritización incipiente.

Toba litocristalina (GR9-10-18; UTM 678461, 9265556). Su textura es tufácea (Foto 36E), y está constituida por fragmentos

líticos, parcialmente orientados, cristales de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos y moldes de cristales alterados por epidotas y cloritas. La matriz está compuesta de cuarzo, plagioclasas, arcillas y epidotas.

- Minerales y componentes principales: fragmentos líticos (48 %), plagioclasas en la matríz (23 %).
- Minerales secundarios: epidotas (7 %), arcillas (7 %), cloritas (1 %).
- Minerales accesorios: cuarzo, cristales y matriz (7 %), feldespato potásico (5 %), minerales opacos (1 %), esfena (0.5 %).
- Trazas: óxidos de hierro.

Alteraciónes: epidotización, argilización y débil cloritización.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas en estas secuencias volcánicas. Por lo tanto, la edad atribuida a estas unidades se le asigna dentro del intervalo Paleógeno en función de sus relaciones estratigráficas.

Foto 35. Flujos piroclásticos del tercer y cuarto evento. Al fondo flujos piroclásticos del quinto evento con estratificación en estratos gruesos. Vista tomada mirando al sureste el cerro Lipiag (cuadrante IV).

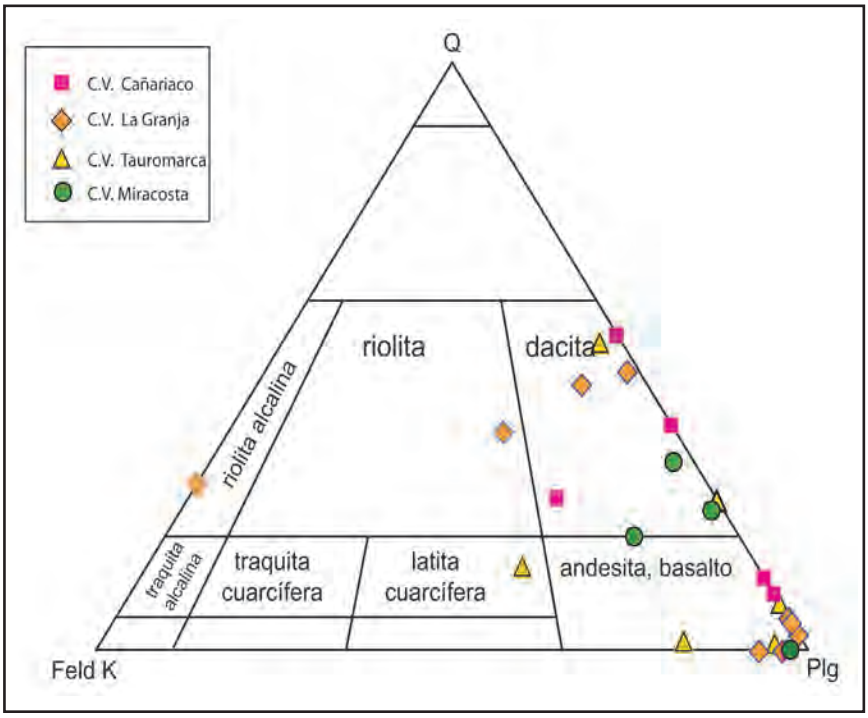


Figura 14. Clasificación de las rocas volcánicas, orrespondientes a los centros volcánicos, Cañariaco, La Granja, Tauromarca y Miracosta; según Streckeisen, 1974.

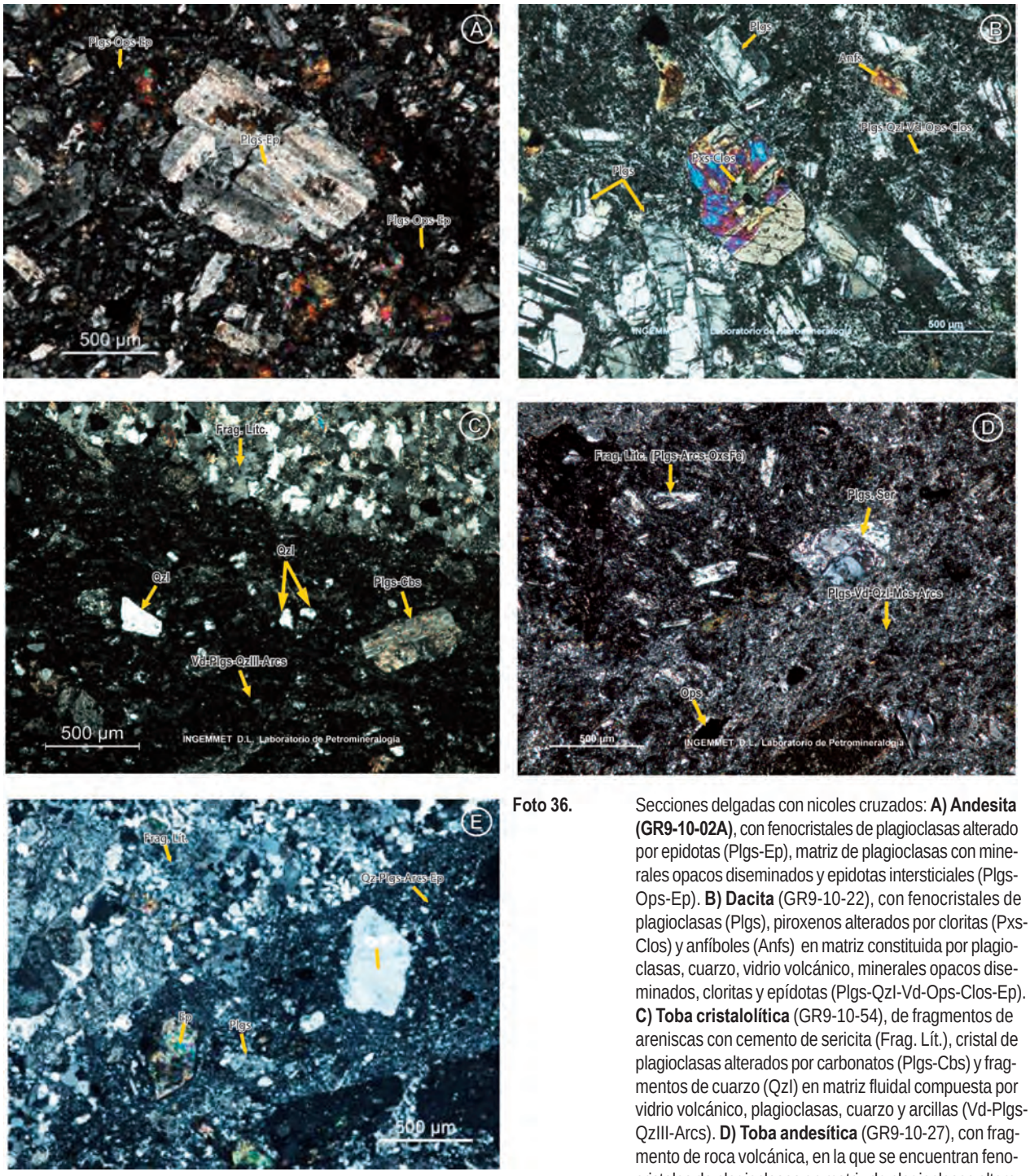


Foto 36. Secciones delgadas con nicoles cruzados: **A) Andesita (GR9-10-02A)**, con fenocristales de plagioclasas alterado por epidotas (Plgs-Ep), matriz de plagioclasas con minerales opacos diseminados y epidotas intersticiales (Plgs-Ops-Ep). **B) Dacita** (GR9-10-22), con fenocristales de plagioclasas (Plgs), piroxenos alterados por cloritas (Pxs-Clos) y anfíboles (Anfs) en matriz constituida por plagioclasas, cuarzo, vidrio volcánico, minerales opacos diseminados, cloritas y epídotas (Plgs-QzI-Vd-Ops-Clos-Ep). **C) Toba cristalolítica** (GR9-10-54), de fragmentos de areniscas con cemento de sericita (Frag. Lít.), cristal de plagioclasas alterados por carbonatos (Plgs-Cbs) y fragmentos de cuarzo (QzI) en matriz fluidal compuesta por vidrio volcánico, plagioclasas, cuarzo y arcillas (Vd-Plgs-QzIII-Arcs). **D) Toba andesítica** (GR9-10-27), con fragmento de roca volcánica, en la que se encuentran fenocristales de plagioclasas en matriz de plagioclasas alteradas por arcillas y óxidos de fierro (Frag. Lítc. (Plgs-Arcs-OxsFe)), observándose cristales de plagioclasas alterados por sericita (Plgs-Ser) en matriz constituida por plagio clasas, vidrio volcánico, cuarzo, micas y arcillas (Plgs-Vd-QzI-Mcs-Arcs). Se observan minerales opacos diseminados (Ops). **E) Toba litocristalina** (GR9-10-18), con fragmento de granito (Frag.Lít.), cristales de cuarzo primario (QzI), plagioclasas (Plgs) y molde de cristales alterados por epidotas (Ep), matriz de cuarzo, plagioclasas, arcillas y epidotas.

CAPÍTULO IV

PLUTONISMO

Las rocas intrusivas del cuadrángulo de Incahuasi se han dividido en seis grupos denominados como Unidad Carrizal, Unidad Penachi, Unidad Tucto, Unidad Tauromarca, Unidad Llacaden, Unidad Colasay (Figs. 15 y 16), dentro de estos también destacan la presencia de numerosos cuerpos subvolcánicos como dacitas y andesitas. La composición es variable extendiéndose desde dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos hasta gabros.

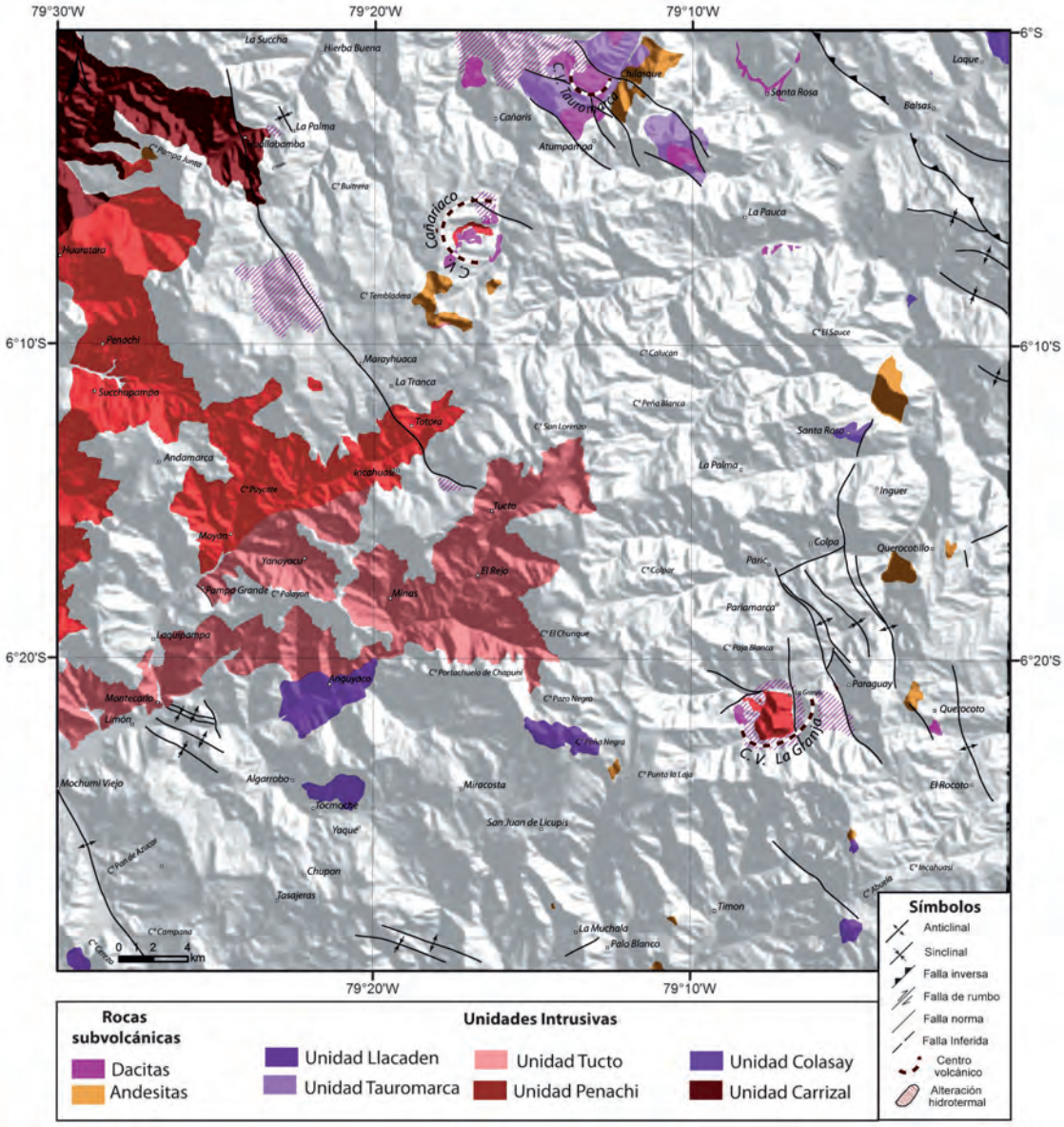


Figura 15. Mapa de unidades magmáticas del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

UNIDAD CARRIZAL

Definición y relaciones de contacto. La Unidad Carrizal se ubica principalmente en la esquina NO del cuadrante IV, localizado entre los parajes de la Cría Huanama, Barranco y Huallabamba; esta misma unidad se proyecta desde el cuadrángulo de Olmos (12-d) donde inicialmente se le llamo como macizo el Molino Carrizal. En forma general presenta una forma alargada de dirección NO-SE, con una superficie de 58.02 km^2 dentro del cuadrángulo de Incahuasi (13-e), sin embargo toda la unidad que incluye los afloramientos del cuadrángulo de Olmos (12-d), abarca un área de 120 km^2. Esta unidad intruye en parte al Complejo de Olmos (sector de Huallabamba) y es intruida por el complejo intrusivo de la Unidad Penachi, estos a su vez se encuentran cubiertos por flujos piroclásticos del centro volcánico Tauromarca y Cañariaco.

Litología. Está constituida principalmente por tonalitas, granodioritas, dioritas y granitos. En el área del cuadrante IV, presenta afloramientos de granodioritas y granitos muy alterados (Foto 37).

Estudio petrográfico

Granodiorita. GR9-10-83 (UTM 666514, 9327059), presenta textura granular hipidiomórfica (Foto 38), y está constituida por cristales de plagioclasas, subhedrales a euhedrales de 4.5 mm, maclados y zonados, con inclusiones de anfíboles, minerales opacos y apatito; estos minerales se alteran a arcillas. El cuarzo, con formas anhedrales y subhedrales de 2.20 mm, se encuentra microfracturado con algunos cristales con bordes suturados y escasas inclusiones de feldespatos y anfíboles. Los feldespatos potásicos presentan cristales subhedrales de 1.6 mm, alterados a arcillas, con microfracturas rellenas por biotita. El anfibol presenta cristales de 3.60 mm, que se presentan como inclusiones en biotitas y cuarzo, así como, en espacios intergranulares; sus microfracturas están rellenas por minerales opacos e inclusiones de apatito. La biotita ocurre en cristales tabulares menores a 1.0 mm, asociados con minerales opacos e inclusiones de apatito; también se presenta en espacios intergranulares, remplazando a cristales de anfíboles, y en microfracturas de feldespatos, alterada ligeramente por cloritas. Los minerales opacos de 0.05 a 0.20 mm se presentan como inclusiones en plagioclasas, asociados a biotita y a microfracturas de anfíboles. El circón ocurre como cristales idiomórficos y como inclusiones en plagioclasas y biotitas. La esfena se presenta como inclusiones en plagioclasas.

- Minerales principales: plagioclasas (55 %), cuarzo (25 %), feldespato potásico (10 %).
- Minerales secundarios: cloritas (<1 %), biotita (2 %).
- Minerales accesorios: anfíboles (3 %), minerales opacos (3 %).
- Trazas: circón, esfena, arcillas, apatito.
- Alteraciones: cloritización muy débil, biotización y argilización incipiente.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas de esta unidad, sin embargo, se tiene antecedentes de dataciones efectuadas por parte de compañías privadas que aún no están publicadas. Con base en estos datos y por correlaciones con las unidades similares en el cuadrángulo de Olmos, se atribuye una edad paleógena.

Foto 37. Afloramientos de la Unidad Carrizal, en el sector de Huanama, donde se observa la intensa alteración por intemperismo. Al lado derecho de la foto se puede ver el contacto fallado con el Complejo de Olmos; al lado izquierdo secuencias de flujos piroclásticos paleógenos cubriendo al cuerpo intrusivo.

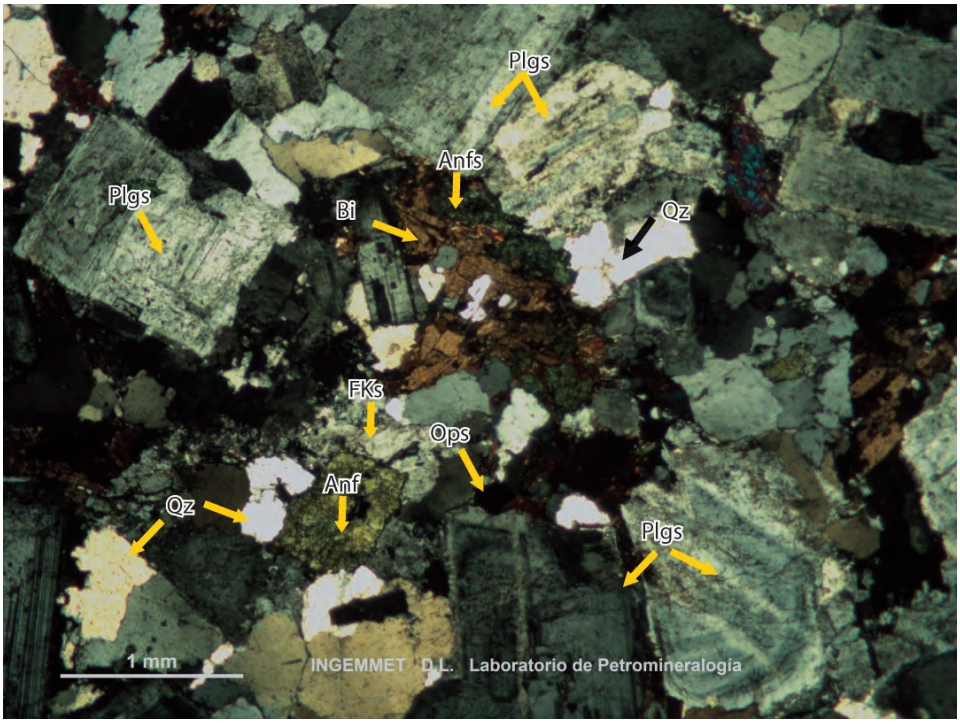


Foto 38. Sección delgada con luz polarizada de una granodiorita (GR9-10-83) con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), feldespatos potásicos (FKs) y anfíboles (Anfs) parcialmente reemplazados por biotita (Bi) y minerales opacos (Ops) diseminados.

UNIDAD PÁRAMO

Definición y relaciones de contacto. La unidad Paramo se encuentra ubicada en la esquina noroeste del cuadrante I, se extiende hacia los cuadrángulos de Cutervo (13-f), Jaén (12-f) y Pomahuaca (12-e). En el área del cuadrángulo de Pomahuaca abarca la mayor extensión de esta unidad intrusiva y de esta zona proviene su nombre. En el cuadrángulo de Incahuasi esta unidad presenta un área muy reducida de apenas 2 km^2, localizada en la margen izquierda del rio Huancabamba, cerca de la localidad de Laque, donde se encuentra intruyendo a los volcánicos de la Formación Oyotún (Jurásico medio-superior)

Litología. Está constituida principalmente por granodioritas; sin embargo, en los cuadrángulos vecinos esta litología varía de dioritas, tonalitas hasta granitos.

Estudio petrográfico

Granodiorita GR9-10-134 (UTM 728795, 9332836). Tiene textura granular hipidiomórfica (Foto 39), y está constituida por cristales de cuarzo primario anhedral a subhedral de 4 mm con microfracturas e inclusiones de plagioclasas, biotita y anfíboles. La plagioclasa se presenta en cristales subhedrales de 2.8 mm, maclados y zonados con circón y microfracturas rellenas por carbonatos, muestran ligera albitización y ligeramente alterados por carbonatos y epidotas, también se encuentran como inclusiones en cuarzo y feldespato potásico. El feldespato potásico, con formas anhedrales a subhedrales menores a 3.2 mm, presenta intercrecimiento micropertítico de albita; tiene inclusiones de plagioclasas, biotitas y anfíboles, y en general se altera como arcillas. Los anfiboles tienen formas subhedrales menores a 3 mm, alterados por cloritas y óxidos de hierro; pueden remplazar a piroxenos. La biotita tiene formas subhedrales y tamaños menores a 2 mm; algunos cristales están alterados en sus bordes y clivaje por cloritas, epidotas y óxidos de hierro; también se encuentra en microfracturas de feldespatos potásicos. El piroxeno ocurre como relicto en cristales remplazados por anfíboles. Los minerales opacos, euhedrales a subhedrales, tienen tamaños entre 0.06 y 0.42 mm y se encuentran asociados a minerales ferromagnesianos. El apatito se presenta en intersticios y como inclusiones en feldespatos. El circón ocurre como cristales idiomorfos menores a 0.10 mm y como inclusiones en feldespatos.

- Minerales principales: plagioclasas (43 %), cuarzo (30 %), feldespato potásico (10 %).
- Minerales secundarios: cloritas (<1 %).
- Minerales accesorios: biotita (8 %), anfíboles (5%), minerales opacos (2 %), piroxenos (<1 %).

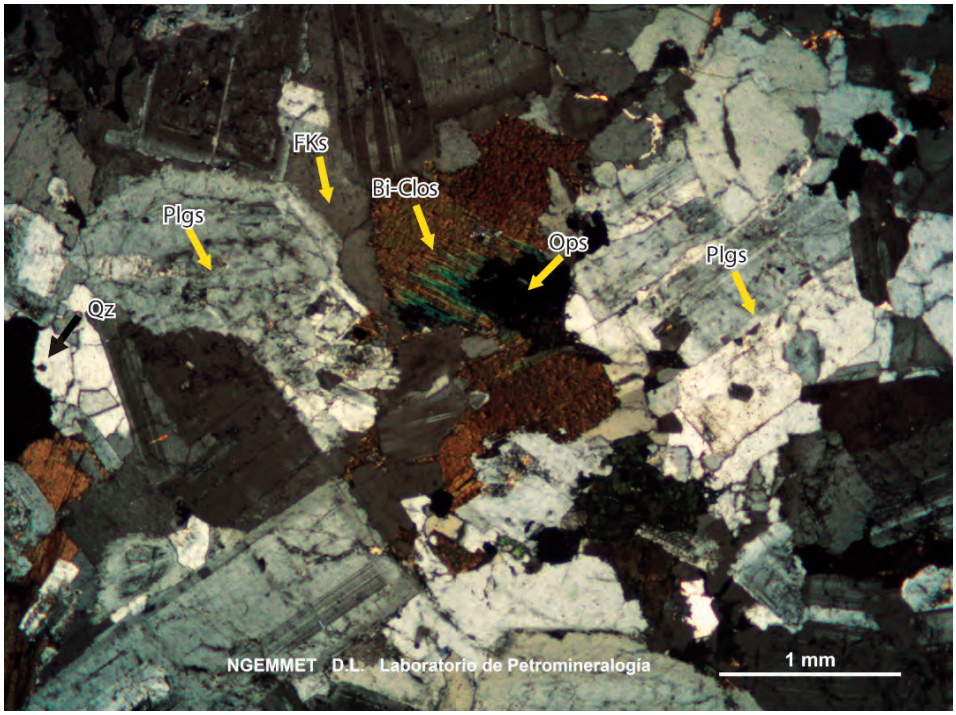


Foto 39. Sección delgada con luz polarizada de una granodiorita (GR9-10-134), con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), feldespatos potásicos (FKs) y biotitas alteradas por cloritas (Bi-Clos). Ocurren también minerales opacos (Ops) como inclusiones en biotita.

- Trazas: epidotas, carbonatos, sericita, arcillas, apatito, circón, óxidos de hierro.
- Alteraciones: débil cloritización, epidotización, carbonatación, sericitización, argilización y oxidación incipiente.

Edad. Respecto a esta unidad no se puede precisar su edad, sin embargo, intruye a rocas jurásicas y cretácicas, por lo que se le asigna una edad paleógena, sobre la base de correlaciones y en algunas dataciones por parte de compañías privadas que aún están sin publicar.

UNIDAD PENACHI

Definición y relaciones de contacto. La unidad Penachi se encuentra ubicada principalmente en el cuadrante IV, que comprende las localidades de Pampa Verde, Penachi, Succhupampa, Mamajpampa, Tolospampa y Sinshagual y se extiende hacia el cuadrante III, a las localidades de El Higuerón, El Molino, Moyán y Riopampa. Presenta una forma irregular, ligeramente semicircular, pero regionalmente toma una dirección NO-SE. Esta unidad, al oeste del cuadrante IV, intruye a rocas volcánicas de la Formación Oyotún (Jurásico medio-superior) y gran parte de ella está cubierta por secuencias de flujos piroclásticos del centro volcánico Cañariaco. Abarca una superficie aproximada de 167.79 km^2.

En algunos sectores como en el paraje de Corral de Piedras, los afloramientos corresponden a rocas frescas; sin embargo, a lo largo del río La Leche estos mismos afloramientos, se encuentran alterados por intemperismo.

Litología. Está constituida principalmente por tonalitas, cuarzo dioritas, monzogranitos y cuarzo monzogranitos (Foto 41).

Estudio petrográfico

Cuarzo diorita GR9-10-05 (UTM 678476, 9308066). Tiene textura granular hipidiomórfica (Foto 40A), y está constituida por cristales de plagioclasas de formas subhedrales y anhedrales menores a 2.3 mm, maclados y zonados, que se alteran a micas, carbonatos y arcillas. Los feldespatos potásicos anhedrales presentan tamaños menores a 1.8 mm; algunos cristales presentan intercrecimiento pertítico, con débil alteración a minerales de arcillas. El cuarzo es anhedral y tiene tamaños menores a 1.2 mm; los cristales se encuentran rellenando intersticios. Los anfíboles son subhedrales menores a 2.2 mm y se encuentran parcialmente reemplazados por las biotitas; contienen inclusiones de granos de plagioclasas. Los piroxenos son cristales subhedrales menores a 2 mm, algunas zonas se encuentran uralitizadas y a veces reemplazadas por otros ferromagnesianos y opacos. El circón tiene formas euhedrales de 0.27 mm, y se encuentra incluido en cuarzo y feldespatos potásicos. La esfena tiene forma anhedral,

menor a 0.6 mm y se encuentra remplazando parcialmente a los ferromagnesianos; algunas veces rellena intersticios. Los minerales opacos, en cristales subhedrales y anhedrales de 0.6 mm, se encuentran remplazando a los ferromagnesianos y también se presentan en intersticios o como inclusión en cuarzo.

- Minerales principales: plagioclasas (62 %), cuarzo (12 %).
- Minerales secundarios: arcillas (<3 %), uralita (1%), carbonatos (1 %) y micas.
- Minerales accesorios: feldespatos potásicos (7 %), anfíboles (6 %), biotita (3 %), piroxenos (2 %), opacos (2 %), esfena (<1 %).
- Trazas: micas y circón.
- Alteración: argilización débil, muy débil uralitización y carbonatación e incipiente alteración micácea.

Tonalita GR9-10-82 (UTM 670439, 9324534). Tiene textura granular hipidiomórfica (Foto 40B), y está constituida por cristales de plagioclasas subhedrales de 3.6 mm, maclados y zonados, con inclusiones de piroxenos, anfíboles y biotitas; ocurren también como inclusiones en biotita, en general están alterados por arcillas y epidotas. El cuarzo ocurre como cristales anhedrales de 1.2 mm que se encuentran rellenando espacios intergranulares; algunos cristales tienen bordes suturados e intercrecimiento mirmequitico con plagioclasas. Los feldespatos potásicos ocurren con inclusiones de biotita, presentan cristales subhedrales de 1.00 mm. El anfíbol, en cristales subhedrales de 4.4 mm, contiene inclusiones de apatito puede remplazar a piroxenos y está alterado ligeramente a cloritas. La biotita presenta cristales subhedrales de 1.2 mm que se encuentran en espacios intergranulares y asociados a los anfíboles; presentan inclusiones de minerales opacos y están alterados por cloritas y óxidos de hierro a través de su clivaje. El piroxeno presenta cristales subhedrales parcialmente remplazados por anfíboles y alterados por cloritas. Los minerales opacos varían entre 0.09 mm a 0.30 mm, asociado a los ferromagnesianos. Las cloritas se encuentran en agregados fibrosos, algunas veces dispuestos con formas radiales, alterando a ferromagnesianos y rellenando intersticios. Las epidotas ocurren en agregados de 0.15 mm, que alteran incipientemente a plagioclasas y a ferromagnesianos y rellenan intersticios.

- Minerales principales: plagioclasas (58 %), cuarzo (18 %).
- Minerales secundarios: cloritas (1%).
- Minerales accesorios: feldespato potásico (7 %), anfíboles (5 %), biotita (5 %), minerales opacos (3 %), piroxenos (2 %).
- Trazas: epidotas, circón y arcillas.
- Alteraciones: débil cloritización, epidotización y argilización incipiente.

Monzogranito GR9-10-109 (UTM 683613, 9264216). Tiene textura granular hipidiomórfica (Foto 40C) y está constituido por cristales de plagioclasas, subhedrales a euhedrales, menores a 3.60 mm, maclados, zonados y con inclusiones de biotita, anfíboles y apatito; sus microfracturas están rellenos por carbonatos. Se observa intercrecimiento mirmequítico de plagioclasa con cuarzo. Los feldespatos potásicos presentan cristales anhedrales de 4 mm, con inclusiones de plagioclasas y notorio intercrecimiento micropertítico de albita; tienen microfracturas rellenas por carbonatos y están alterados por arcillas. Los cristales de cuarzo corresponden a cuarzo primario anhedral de 4.20 mm, con inclusiones de plagioclasas y/o biotitas, e intercrecimiento mirmequitico con plagioclasas. La biotita presenta cristales subhedrales de 1.60 mm y ocurre en intersticios; tienen inclusiones de plagioclasas, anfíboles, circón y apatito y están alterados por cloritas. Los anfíboles presentan cristales subhedrales de 1.80 mm, como inclusiones en biotita y feldespatos; algunos cristales remplazan a cristales de piroxenos. Los cristales de minerales opacos tienen formas anhedrales a subhedrales de 0.10 mm a 0.80 mm, y se encuentran como inclusiones en biotitas, anfíboles y escasamente en plagioclasas; también se encuentran en el clivaje y en el borde de las biotitas y están alterados por óxidos de hierro. El piroxeno se encuentra como cristales relictos remplazados por anfíboles y como inclusiones en feldespatos. Las cloritas forman agregados fibrosos que están dispuestos en forma radial, y que se encuentran en intersticios y alterando a biotitas por sus bordes. El circón presenta cristales euhedrales de 0.14 mm incluidos en biotitas y en intersticios. La esfena, en cristales subhedrales, se encuentra asociada a cristales de anfíboles y biotita, así como, en intersticios. El apatito se presenta como cristales subhedrales de 0.20 mm que se encuentran como inclusiones en plagioclasas y biotita.

- Minerales principales: plagioclasa (32 %), cuarzo (30 %), feldespato potásico (20 %).
- Minerales secundarios: cloritas, carbonatos, arcillas, óxidos de hierro.
- Minerales accesorios: biotita (9 %), anfíboles (4 %), minerales opacos (3 %), piroxenos (<1 %)
- Trazas: esfena, circón, apatito.
- Alteraciones: cloritización, carbonatación, argilización y oxidación incipiente.

Cuarzo monzodiorita GR9-10-75 (686329, 9312967). Presenta textura hipidiomórfica, (Foto 40D) y está constituida por cristales de plagioclasas subhedrales de 4.6 mm, microfracturados, maclados, zonados y con bordes subangulosos a subredondeados; contienen inclusiones de apatito, piroxenos, minerales opacos y circón; sus microfracturas están rellenas por cloritas, y están alterados ligeramente por sericita, arcillas y

carbonatos. El cuarzo ocurre como cuarzo primario de 1.5 mm, en intersticios, microfracturados y con rellenos de minerales opacos e inclusiones de apatito. La biotita corresponde a cristales tabulares de 0.30 mm, que están alterados por cloritas. Los anfíboles aparecen en cristales subhedrales de 3 mm, que tienen bordes subangulosos a subredondeados e inclusiones de minerales opacos; se encuentran alterados por cloritas y óxidos de hierro, y también se presentan como inclusiones en plagioclasas. Los cristales de piroxenos tienen formas subhedrales a euhedrales de 1.9 mm, y presentan bordes subangulosos a subredondeados; están microfracturados y ligeramente alterados por cloritas, epidotas y óxidos de hierro y contienen pequeñas inclusiones de plagioclasas. Los minerales opacos forman cristales subhedrales a euhedrales menores a 1mm, que se encuentran diseminados en toda la muestra, dentro de intersticios y en microfracturas de cuarzo; también aparecen como pequeñas concentraciones en cristales de piroxenos y como inclusiones de apatito. Los carbonatos se presentan alterando incipientemente a plagioclasas y a moldes de cristales de minerales máficos junto a cloritas. La epidota forma cristales anhedrales que se encuentran en intersticios. La clorita constituye agregados fibrosos que alteran a plagioclasas, piroxenos y moldes de cristales y rellenan microfracturas de plagioclasas. El apatito, en cristales euhedrales a subhedrales, se presenta como inclusiones en cuarzo y plagioclasas.

- Minerales principales: plagioclasa (60 %), cuarzo (18 %), feldespato potásico (10 %).
- Minerales secundarios: sericita, arcillas, cloritas, óxidos de hierro, carbonatos, epidotas.
- Minerales accesorios: piroxenos (7 %), minerales opacos (4 %), anfíboles (1 %).
- Trazas: biotita.
- Alteraciones: sericitización, argilización, cloritización, oxidación, carbonatación y epidotización incipiente.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas de esta unidad, sin embargo, con base en las relaciones de campo y correlaciones con unidades similares al norte, se le asigna una edad paleógena.

UNIDAD TUCTO

Definición y relaciones de contacto. Los afloramientos de la Unidad Tucto se encuentran distribuidos al norte del cuadrante III, que comprende las localidades de Lajas, Puquiopampa, Shashala, El Guayabo, Rumichaca y Achucalla entre otras. Esta unidad se prolonga al este del cuadrante II, que abarca las localidades de Calungate y Macmac. Presenta una forma alargada de dirección E-O con un área aproximada de 160 km^2. Al oeste intruye a rocas volcano sedimentarias de la Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior) y a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano); parte de estos afloramientos están cubiertos por productos volcánicos de los centros volcánicos de Cañariaco y las secuencias Miracosta.

Litología. Está constituida principalmente por granitos, granodioritas y sienogranitos.

Estudio petrográfico

Sienogranito GR9-10-06 (UTM 677228, 9305502). Tiene textura granular hipidiomórfica (Foto 42A) y está constituida por cristales de plagioclasas euhedrales a subhedrales de 2.30 mm, maclados y zonados, con inclusiones de biotita, cuyas microfracturas están rellenas por sericita; también aparecen como pequeñas inclusiones en feldespatos potásicos y se alteran a sericitas y arcillas. El feldespato potásico ocurre como cristales con intercrecimiento micropertítico de albita e inclusiones de plagioclasas cuarzo y biotita; tienen microfracturas rellenas por minerales opacos y se alteran débilmente a arcillas e incipientemente a epidotas. El cuarzo ocurre como cristales primarios en intersticios y con inclusiones de plagioclasas, feldespato potásico, biotita y apatito; sus microfracturas están rellenas por óxidos de hierro. Los cristales de minerales opacos presentan formas euhedrales a subhedrales de 0.45 mm, y están diseminados en intersticios y en clivajes de la biotita. La biotita se presenta en cristales, agregados policristalinos y como inclusiones en cuarzo, plagioclasas y feldespatos potásicos; en su clivaje se presentan minerales opacos, alterados incipientemente por óxidos de hierro. La esfena ocurre en agregados euhedrales a subhedrales y en microfracturas de feldespato. El apatito corresponde a cristales euhedrales a subhedrales de 0.17 mm, dentro de intersticios y como inclusión en cuarzo. El circón tiene formas subhedrales o redondeadas de 0.02 mm; se encuentra en intersticios y como inclusiones en biotita. El rutilo tiene formas anhedrales, y se encuentra en el clivaje de las biotitas y en bordes de minerales opacos, así como, en inclusiones en feldespatos potásicos.

- Minerales principales: feldespato potásico (52 %), cuarzo (30 %) y plagioclasas (10 %).
- Minerales secundarios: arcillas (3 %), sericita, epidotas, óxidos de hierro.
- Minerales accesorios: biotita (3 %), minerales opacos (1 %)
- Trazas: circón, esfena, apatito y rutilo.
- Alteraciones: débil argilización, sericitización, epidotización y oxidación incipiente.

Sienogranito GR9-10-02 (UTM 671889, 9296746). Tiene textura gráfica (Foto 42B). Está constituido por cristales de feldespatos potásicos anhedrales de 1.2 mm, a veces maclados, que se alteran débil a moderadamente a arcillas y muestran intercrecimientos con

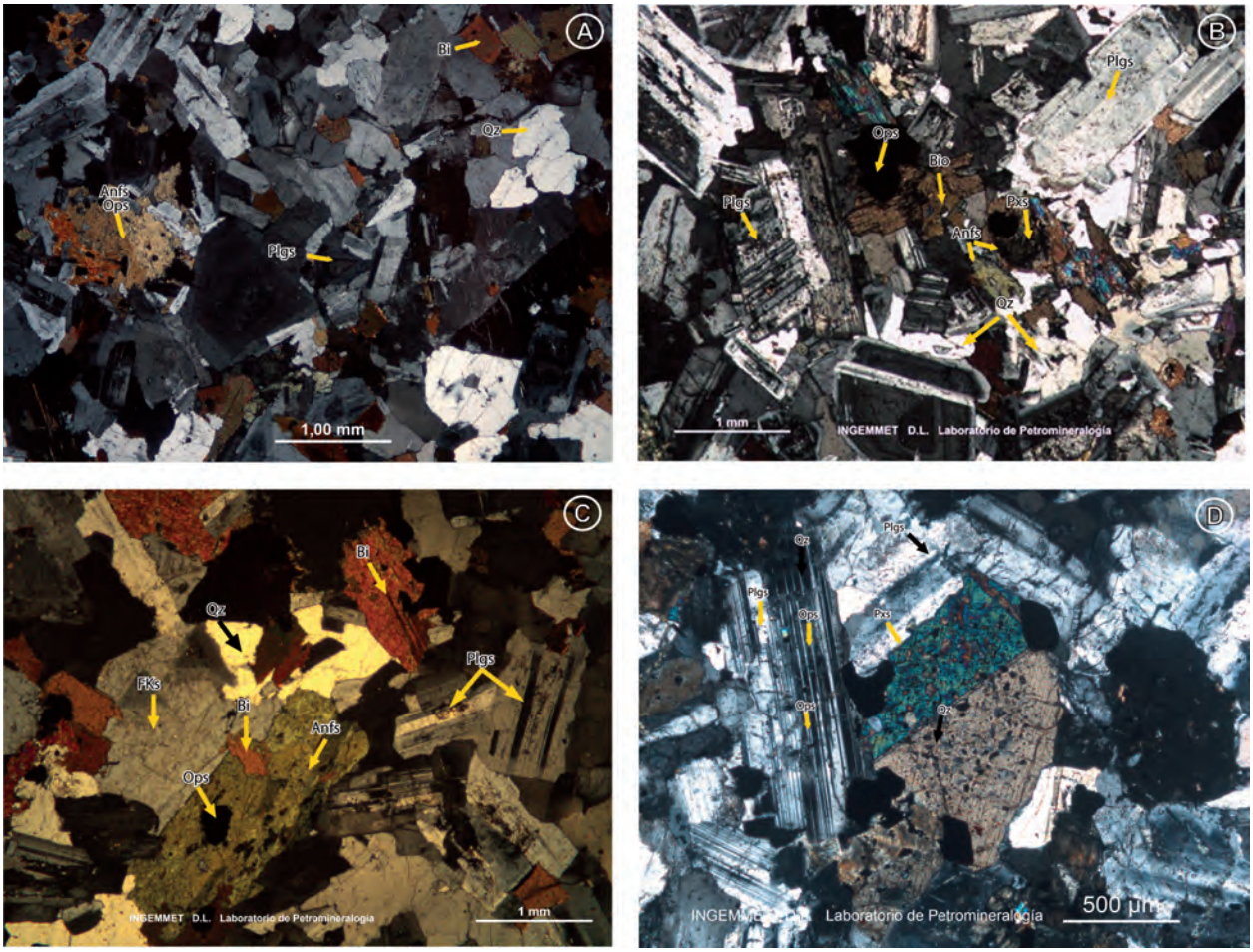


Foto 40 **A)** Sección delgada con nicoles cruzados de un **cuarzo diorita** (GR9-10-05), con cristales de plagioclasas (Plgs), anfíboles (Anfs)y biotita (Bi) con inclusiones de minerales opacos (Ops) y cuarzo (Qz). **B) Tonalita** (GR9-10-82), con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo primario (Qz), piroxenos (Pxs) parcialmente reemplazados por anfíboles (Anfs) y cristales de biotita (Bi) con inclusiones de minerales opacos (Ops). **C) Monzogranito** (GR9-10-109), constituido por cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), feldespatos potásicos (FKs), biotita (Bi) y anfíboles (Anfs), minerales opacos (Ops) y biotita como inclusiones en anfíboles. **D) Cuarzo monzo diorita** (GR9-10-75), se observan cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), piroxenos (Pxs) y minerales opacos (Ops) diseminados.

Foto 41. Afloramiento de roca fresca de composición tonalítica, en la margen derecha del rio La Leche, cerca de la localidad de Puycate Alto.

cuarzo. El cuarzo, presenta formas anhedrales de 1.8 mm, con extinción ondulante e intercrecimiento de feldespatos potásicos. Las plagioclasas, euhedrales a subhedrales, menores a 1.6 mm, se presentan como granos zonados y débilmente alterados a minerales de arcillas; sus microfracturas están rellenas por minerales opacos, parcialmente limonitizados. Las biotitas, subhedrales a anhedrales, menores a 0.4 mm, son remplazadas parcialmente por opacos que a veces rellenan su clivaje. Los minerales opacos presentan formas subhedrales a anhedrales de 1 mm, y se encuentran en intersticios, asociados a las biotitas, a las que remplazan parcialmente por los bordes y en su clivaje. También se encuentran como inclusión en los anfíboles, y algunos cristales rellenan parcialmente microfracturas de las plagioclasas y el cuarzo. Los anfíboles anhedrales de 0.55 mm se presentan en intersticios y están remplazados parcialmente por la biotita. Los carbonatos alteran incipientemente a plagioclasas y remplazan a los opacos.

- Minerales principales: feldespato potásico (59 %), cuarzo (17 %) y plagioclasa (10 %).
- Minerales secundarios: arcillas (7%), limonita, carbonatos.
- Minerales accesorios: biotita (1.5 %), opacos (1 %), anfiboles (<1%)
- Trazas: circón, esfena.
- Alteración. Débil a moderada argilización, carbonatación y limonitización incipiente.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas de esta unidad, sin embargo, la edad es asignada al Paleógeno, basados en sus relaciones de contacto con rocas más antiguas.

UNIDAD LLACADEN

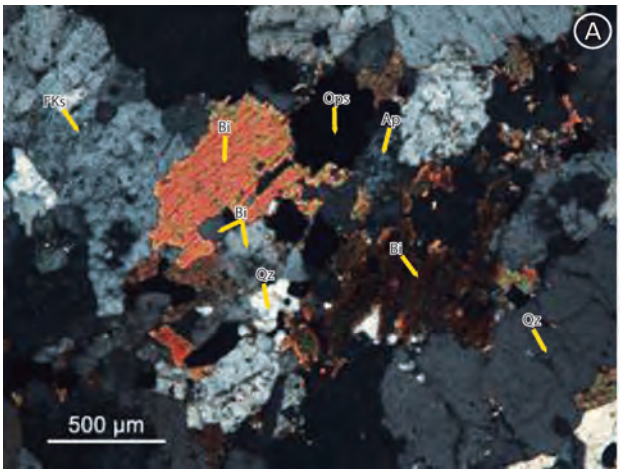
Definición y relaciones de contacto. La Unidad Llacaden se presenta en pequeños afloramientos discontinuos, los que se encuentran ubicados en la parte central del cuadrante III, que comprende, las localidades de Llacaden, Angulis y Anguyacu. Estos cuerpos intrusivos definen formas irregulares que en conjunto podrían tener una dirección NO-SE, con un área aproximada de 4 km^2.

Litología. Esta constituido principalmente por gabros, granodioritas, granitos y sienogranitos.

Estudio petrográfico.

Gabro GR9-10-17 (UTM 6799531, 9297265). Presenta textura hipidiomórfica (Foto 43A), y está constituido por cristales de plagioclasas subhedrales de 1.65 mm, con maclas y débilmente alterados a epidotas y arcillas. El apatito, en cristales euhedrales de 0.4 mm, ocurre como inclusión en plagioclasas. Los anfíboles, en cristales subhedrales de 0.55 mm, ocurren remplazando parcialmente a los piroxenos en sus bordes. Los piroxenos ocurren como clinopiroxenos y ortopiroxenos, en cristales subhedrales a anhedrales de 3 mm, siendo los de mayor porcentaje los clinopiroxenos; algunos cristales de piroxenos se encuentran entre las plagioclasas. Los minerales opacos tienen formas anhedrales menores a 2 mm y se encuentran remplazando parcialmente a los ferromagnesianos o incluidos en ellos. La biotita se presenta en los bordes de los anfíboles. Las cloritas ocurren rellenando intersticios, aunque parecen haber alterado a las plagioclasas.

- Minerales principales: plagioclasas (86.5 %).
- Minerales secundarios: epidotas (0.5 %).



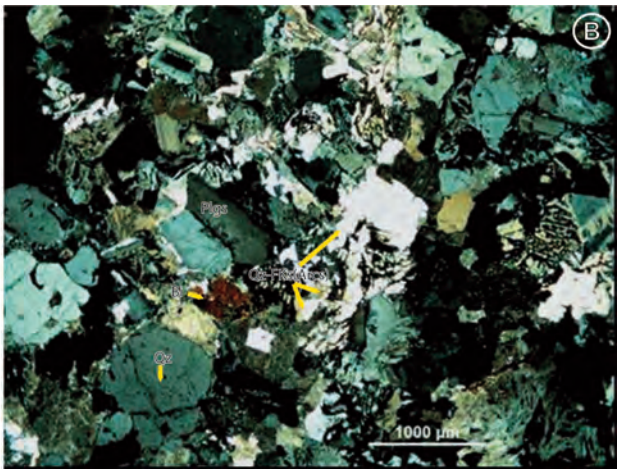


Foto 42. Secciones delgadas con nicoles cruzados **A) Sienogranito** (GR9-10-06), con cristales de feldespatos potásicos (FKs), cuarzo primario (Qz) y de biotita (Bi) con inclusiones de plagioclasas (Plgs) y minerales opacos (Ops), también ocurre apatito (Ap) en intersticios. **B) Sienogranito** (GR9-10-02), con intercrecimiento gráfico de cuarzo con feldespatos potásicos (Qz-FKs), que se encuentran alterados por arcillas (Arcs), plagioclasas (Plgs) y biotita (Bi).

- Minerales accesorios: piroxenos (8 %), anfíboles (3 %), opacos (2 %).
- Trazas: cloritas, arcillas y apatito.
- Alteraciones: débil a incipiente epidotización, cloritización, y argilización.

Granodiorita GR9-10-59 (UTM 695370, 9294090). Tiene textura hipidiomórfica (Foto 43B), y está constituida por cristales de plagioclasas, subhedrales menores a 3.8 mm, maclados, zonados, con inclusiones de minerales opacos, anfíboles y apatito; sus microfracturas están rellenas por epidotas y parte de los microcristales se encuentran como inclusiones en cuarzo y feldespatos potásicos. Los cristales de plagioclasas se alteran a sericita, arcillas, epidotas y cloritas. El cuarzo ocurre como cristales de cuarzo primario de 1.5 mm, que se encuentran en intersticios y como inclusiones de plagioclasas. El feldespato potásico, con formas subhedrales menores a 1.25 mm, presenta inclusiones de plagioclasas, anfíboles y opacos y se alteran a arcillas. La biotita presenta cristales tabulares de 1 mm, con minerales opacos en sus bordes y clivaje; está alterada incipientemente por cloritas y óxidos de hierro. Los anfíboles, en cristales subhedrales, se presentan con inclusiones de minerales opacos, y son alterados por cloritas y óxidos de hierro. Los piroxenos se presentan como cristales subhedrales y como inclusiones en feldespatos; presentan inclusiones de minerales opacos y son remplazados por anfíboles. Los minerales opacos presentan formas subhedrales a euhedrales, y aparecen como pequeñas inclusiones diseminadas en biotitas, feldespatos, piroxenos, anfíboles y en intersticios. La clorita forma agregados fibrosos que alteran incipientemente a biotitas, piroxenos y plagioclasas. Las epidotas ocurren en intersticios, alterando incipientemente a plagioclasas. Los carbonatos rellenan intersticios y alteran a plagioclasas. El circón ocurre en cristales euhedrales como inclusión en cuarzo.

- Minerales principales: plagioclasas (48 %), cuarzo (22 %).
- Minerales secundarios: arcillas (<1 %).
- Minerales accesorios: feldespato potásico (8 %), anfíboles (7 %), piroxenos (6 %), biotitas (4 %), minerales opacos (3 %).
- Trazas: cloritas, sericita, epidota, carbonatos.
- Alteraciones: argilización, cloritización, sericitización, epidotización y carbonatación incipiente.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas de esta unidad, sin embargo, la edad es asignada al Paleógeno, debido a que estas están intruyendo a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano).

UNIDAD TAUROMARCA

Definición y relaciones de contacto. La Unidad Tauromarca corresponde a rocas intrusivas del centro volcánico del mismo nombre y se presenta en afloramientos que se concentran en un mismo lugar, es decir que comprende áreas de las localidades de Chilasque, Pillona y Alumbre (norte del cuadrante I). Estos cuerpos intrusivos definen formas irregulares con una dirección aparente NO-SE y abarcan un área aproximada de 20 km^2.

Litología. Esta constituida principalmente por dioritas, tonalitas y cuarzo monzonitas.

Las dioritas afloran en la margen izquierda del río Chilasque, cerca

Foto 43. Sección delgada con nicoles cruzados **A)** Gabro (GR9-10-17), con cristales de plagioclasas (Plgs), opacos (Ops) reemplazando parcialmente a los piroxenos (Pxs). **B)** Granodiorita (GR9-10-59), con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), piroxenos (Pxs), así como, minerales opacos (Ops) diseminados.

de la desembocadura del rio Chilasque; presentan una textura microgranular y granular de grano medio en la misma localidad de Chilasque y la Llorona. Mineralógicamente, están constituidas por plagioclasas, ferromagnesianos y cantidades mínimas de cuarzo y feldespato potásico. Este cuerpo diorítico pasa gradualmente a monzonitas en sus secciones superiores, donde se advierte un mayor contenido de feldespato potásico que constituye aproximadamente 20 % del total de la roca. La alteración hidrotermal de estos cuerpos corresponde a cloritizaciones, epidotizaciones y carbonataciones.

Los cuarzos monzonitas afloran en las cabeceras de la quebrada Shuncho. Estas rocas intruyen a las dioritas y a las dacitas de la zona y se caracterizan por presentar una textura porfirítica, donde los fenos de cuarzo son abundantes, acompañados de plagioclasas, feldespato potásico y cuarzo.

Edad. No se reportan dataciones radiométricas de esta unidad; sin embargo, la edad es asignada al Paleógeno, debido a que estas están intruyendo a toda la secuencia sedimentaria de edad cretácica.

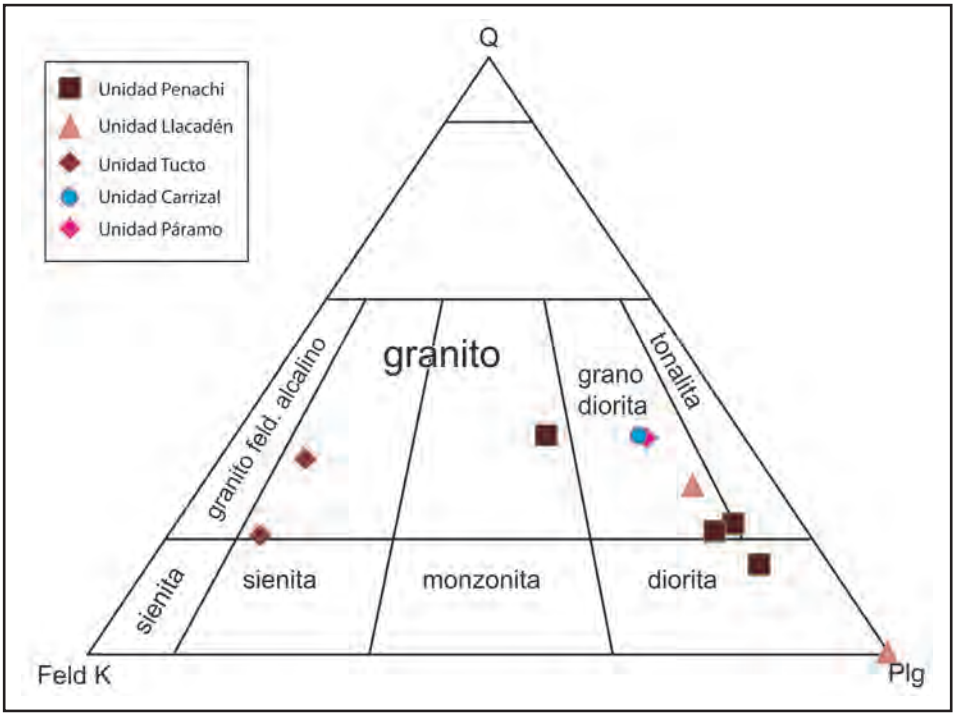


Figura 16. Clasificación de rocas de las principales unidades intrusivas, del cuadrángulo de Incahuasi (13-e), según Streckeisen, 1974.

CAPÍTULO V

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL-TECTÓNICA Y EVOLUCIÓN GEODINÁMICA

El cuadrángulo de Incahuasi regionalmente se encuentra dentro del área del dominio Olmos Loja (Fig. 17). En este apartado se presentan las unidades morfoestructurales del cuadrángulo de Incahuasi, realizandose una descripción de las principales estructuras. Luego, se describen las 4 secciones estructurales que acompañan los mapas 1:50 000, correspondientes a cada uno de los cuadrantes, para finalmente presentar una síntesis geodinámica de los principales eventos tectónicos que afectaron esta región.

El cuadrángulo de Incahuasi, viene a formar parte de la Cordillera Occidental del noroeste del Perú, que se encuentra próximo a la deflexión de Cajamarca.

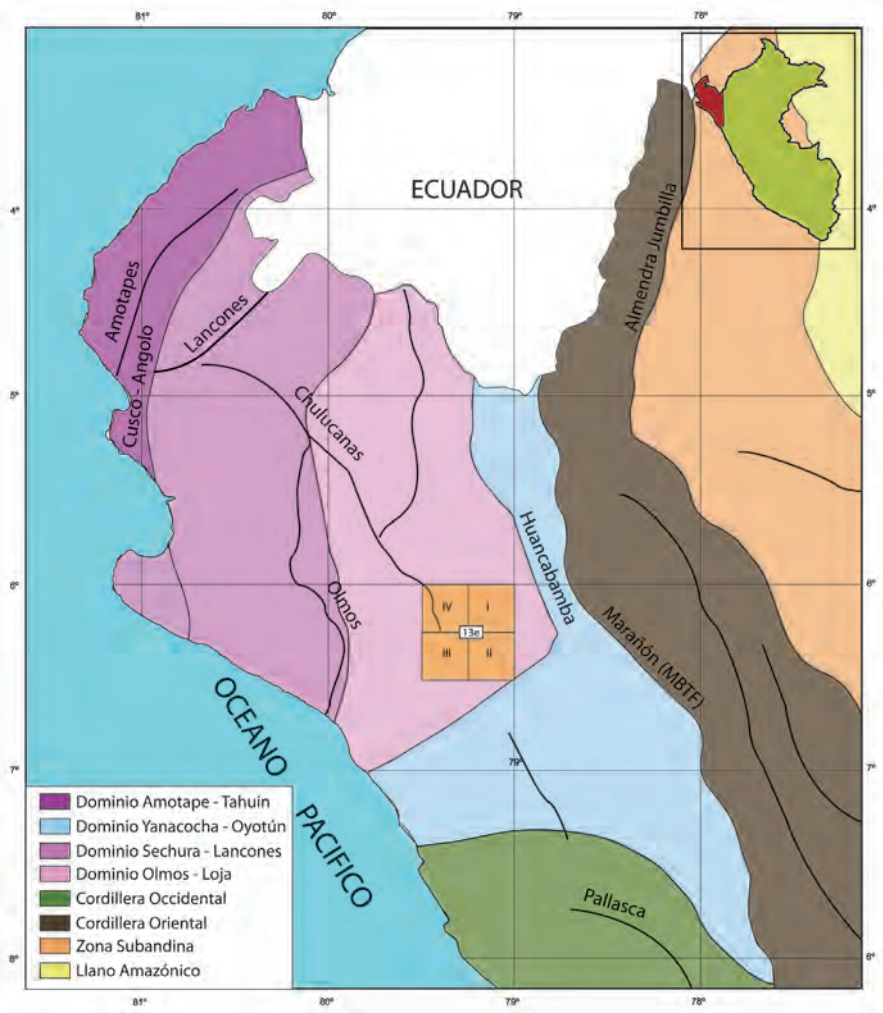


Figura 17. Mapa de dominios tectónicos del noroeste del Perú, mostrando el área del cuadrángulo Incahuasi (13-e).

DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES MORFOESTRUCTURALES

La zona de estudio ha sido dividida en 3 dominios estructurales caracterizados por un estilo tectónico propio: Dominio Occidental, Dominio Central y Dominio Oriental (Fig. 18), los cuales se describen a continuación.

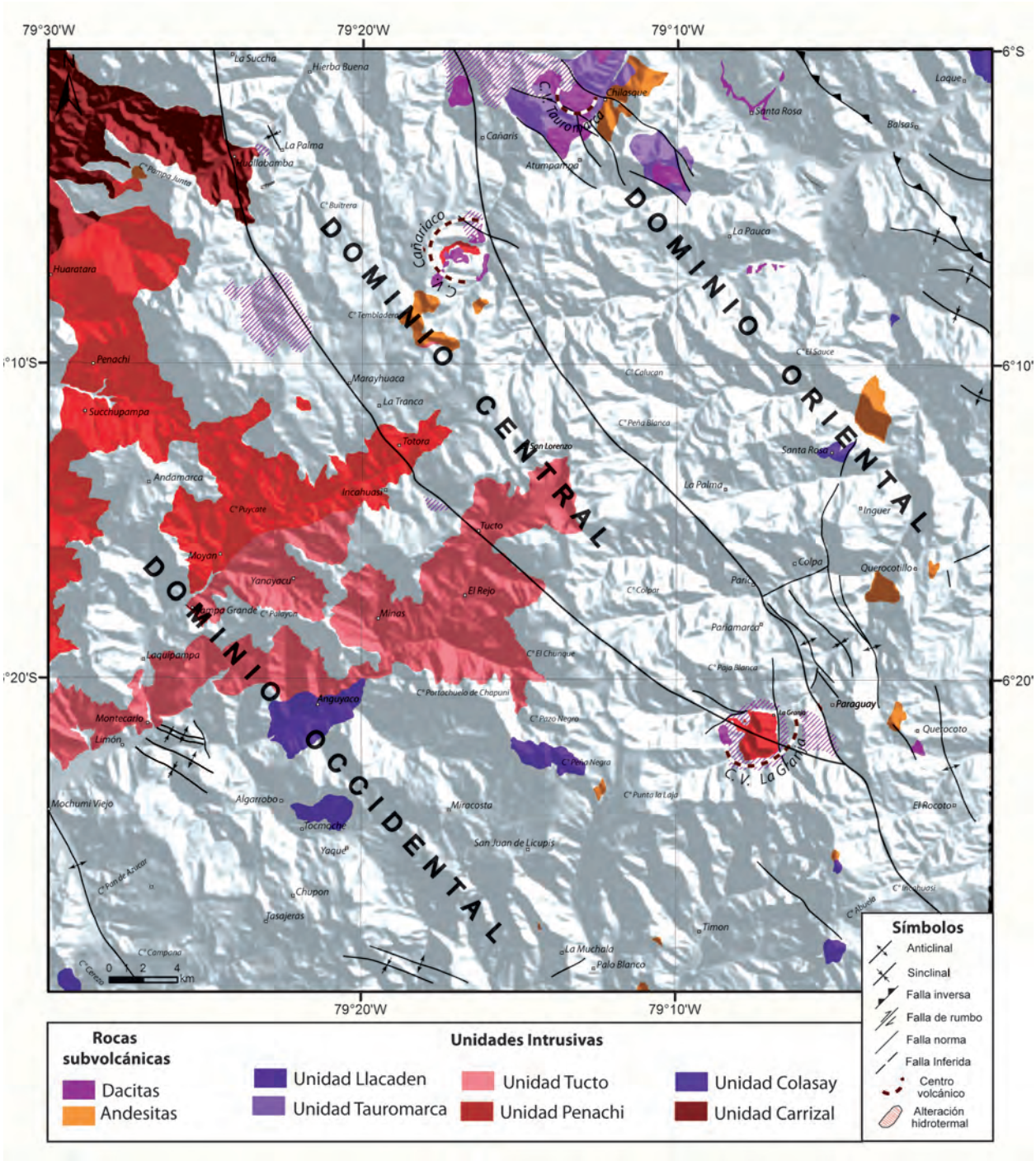


Figura 18. Mapa de las unidades morfoestructurales del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Dominio Central

Ocupa gran parte del sector central del cuadrángulo de Incahusi (Fig. 18). Se caracteriza por estar limitada por dos importantes sistemas fallas regionales Incahuasi y Huancabamba.

El sistema de fallas Incahuasi de dirección NO-SE, afecta a secuencias de flujos piroclásticos, lavas andesíticas y daciticas de los centros volcánicos paleógenos; dioritas, granodioritas, tonalitas, monzogranitos, cuarzo monzogranitos de las unidades Carrizal y Penachi. El sistema de fallas Huancabamba de dirección NNO-SSE, que atraviesa todo el cuadrángulo de Incahuasi se prolonga hacia el norte a los cuadrángulos de Pomahuaca (12-e) y Huancabamba (11-e), corresponde a una falla de rumbo en el área del cuadrángulo de Incahuasi e inversa en su prolongación norte. Este sistema de fallas afecta principalmente a secuencias de flujos piroclásticos paleogénos, considerado además como el más importante, puesto que, a lo largo de estas fallas se emplazan importantes cuerpos mineralizados tipo pórfidos, como es el caso del pórfido de La Granja y el pórfido de Cañariaco. Muchas estructuras de este dominio probablemente estén cubiertas por los productos de los centros volcánicos de la zona, alguno de los cuales pueden aflorar por erosión o por fallamiento como es el caso de del sector de Huallapampa donde rocas del Complejo de Olmos afloran como consecuencia de un fallamiento inverso.

En general, la cobertura de este dominio está dominada por secuencias volcánicas paleógenas que no presentan deformación y se encuentra en estratos subhorizontales a veces con ligera inclinación, sobre todo, en sectores donde rellenan paleo relieves.

Dominio Occidental

El Dominio Occidental, corresponde al sector oeste del cuadrángulo de Incahuasi (Fig. 18), sus estructutas se prolongan al norte hacia los cuadrángulos de Jayanca (13-d) y Chongoyape (14-e), este dominio se caracteriza por la presencia del sinclinal de Mochumi, que afecta a secuencias volcanosedimentarias de la Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior), este mismo dominio presentan diversos pliegues de dirección NE-SO, que afectan a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano). En general, el dominio se caracteriza por la presencia de muchos cuerpos intrusivos que probablemente contribuyeron en la deformación de estas rocas.

Dominio Oriental

El Dominio Oriental corresponde a una zona deformada con presencia de anticlinales y sinclinales, los que afectan principalmente a rocas de edad cretácica entre los que destacan, el sinclinal de Tomate, el sinclinal de Sura, el sinclinal de Lamparán y el sinclinal de la Vega, en todo los casos estos pliegues, afectan a calizas de la Formación Pariatambo y el Grupo Pulluicana. Entre otras estructuras se tiene al anticlinal de Tumbo en cuyo núcleo se encuentra afloramientos de cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga. Todas estas estructuras presentan una dirección NO-SE a excepción del sinclinal de Sura, que presenta un giro ligeramente ONO-ESE, en efecto se trata de pliegues abiertos muy suaves, alguno de los cuales se encuentran interrumpidos por la falla inversa Queromarca de dirección NO-SE, que ponen en contacto a la Formación Oyotún (Jurásico medio a superior), sobre rocas cretácicas (Fig. 18).

SECCIONES ESTRUCTURALES

Se han preparado 4 secciones estructurales una por cada cuadrante (Fig. 19), las que son descritas a continuación.

SECCIÓN A-A'

Ubicada en el cuadrante I (Fig. 19), tiene una orientación NE-SO, con una longitud de 29.5 km, para su descripción se ha dividido en dos dominios, separados por un complejo intrusivo (Fig. 20).

El Domino Oeste se caracteriza por presentar un basamento paleozoico, sobre el que afloran rocas volcano sedimentarias de la Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior). Cubriendo discordantes a estas unidades antiguas, se observan secuencias volcanicas de flujos piroclásticos correspondientes al centro volcánico Cañariaco. En la parte central, dividiendo a los dominios oeste y este, se encuentran cuerpos intrusivos de dioritas, tonalitas y dacitas.

El Dominio Este presenta como materiales más antiguos a los volcánicos de la Formación Oyotún (Jurásico medio-superior), que afloran en el núcleo del anticlinal del río Huancabamba, caracterizado por presentar flancos abiertos, los que se encuentran cubiertos por rocas cretácicas del Grupo Goyllarisquizga, y por las formaciones Inca-Chulec, Pariatambo y el Grupo Pulluicana. En general, las secuencias de este dominio se encuentran ligeramente deformadas, en suaves sinclinales y anticlinales.

Esta sección está dominada por fallas normales de alto ángulo y fallas inversas que ponen en contacto a rocas jurásicas cabalgando sobre rocas cretácicas.

SECCIÓN B - B´

La ubicación de la sección en el cuadrante II, tiene una orientación NE-SO, con una longitud de 30.60 km (Figs. 19 y 21) y presenta dos dominios.

El Dominio Oeste presenta afloramientos de flujos piroclásticos correspondientes a los productos del centro volcánico La Granja (Paleógeno), los que se encuentran cubriendo en discordancia angular a rocas sedimentarias cretácicas. La parte central de la sección presenta un cuerpo intrusito de pórfido cuarcífero mineralizado (actualmente proyecto La Granja).

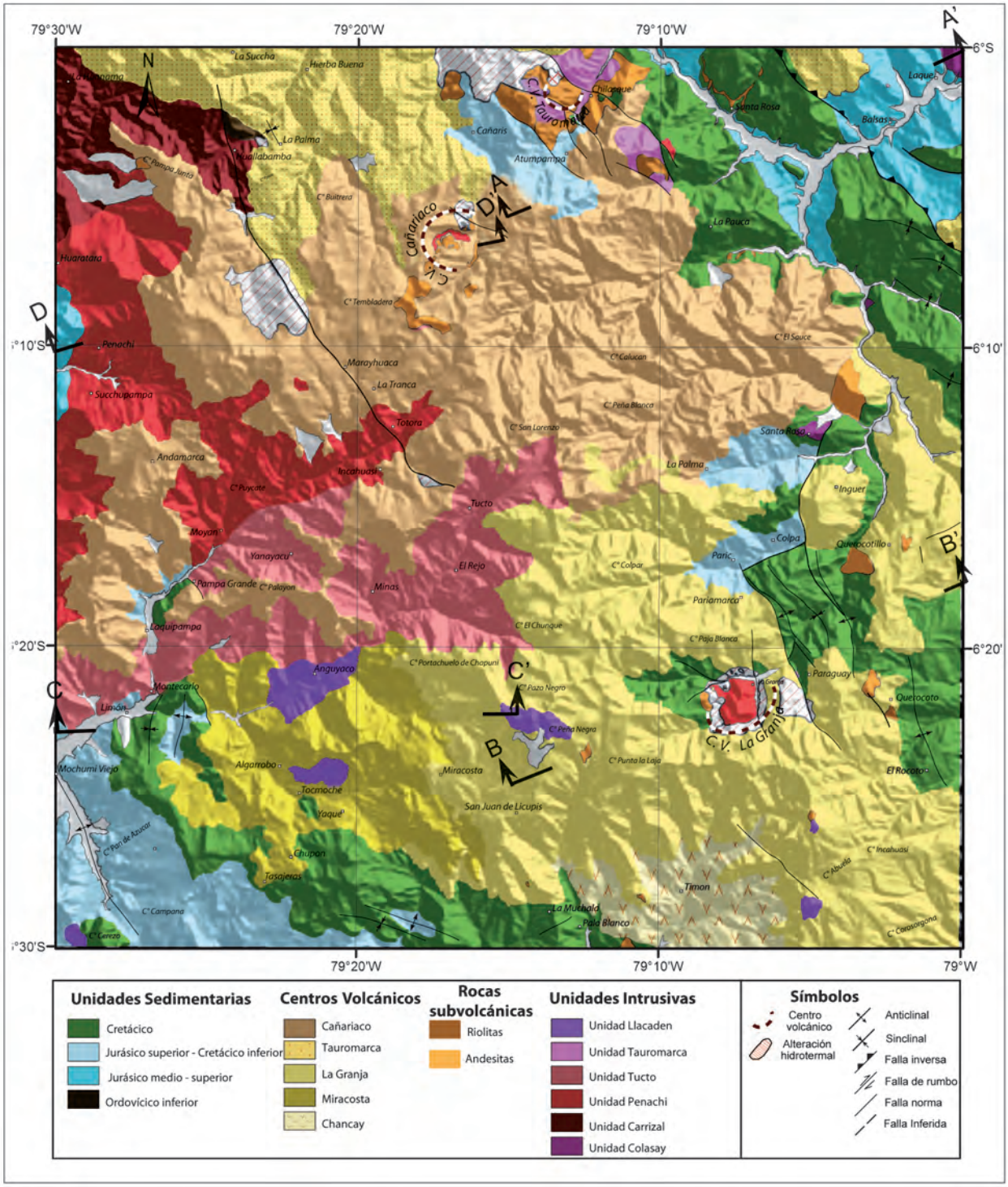


Figura 19. Mapa de ubicación de secciones estructurales por cuadrantes (cuadrángulo de Incahuasi 13-e).

El Dominio Este representa a potentes afloramientos de rocas sedimentarias cretácicas, entre las que se tiene a calizas y lutitas de las formaciones Inca-Chulec (Albiano inferior-medio), Formación Pariatambo (Albiano medio) y calizas del Grupo Pulluicana (Albiano superior-Cenomaniano), todas estas unidades están cubiertas esporádicamente en discordancia por flujos piroclásticos del centro volcánico La Granja. Todas estas secuencias están cortadas por fallas normales de alto ángulo.

SECCIÓN C - C´

Ubicada en el cuadrante III, tiene una longitud de 22.6 km, presenta una dirección E-O, (Figs. 19 y 22). Esta sección muestra dos dominios:

El Dominio Oeste presenta afloramientos de rocas antiguas ligeramente plegadas de la Formacion Oyotún (Jurásico medio-superior) que se encuentra en núcleos de anticlinales, están cubiertos por cuarcitas de la Formación Goyllarisquizga (Neocomiano), que afloran dentro de sinclinales; en general estas rocas presentan pliegues ligeramente abiertos.

El Dominio Este se caracteriza por presentar afloramientos de rocas volcánicas correspondientes a productos de centros volcánicos paleógenos, cubriendo a rocas antiguas en forma discordante. Estos volcánicos se encuentran poco o nada deformados.

SECCIÓN D - D´

Ubicada en el cuadrante IV, presenta una dirección ENE-OSO, con una longitud de 28.5 km (Figs. 19 y 23). Presenta dos dominios:

El Dominio Oeste está caracterizado por presentar rocas volcánicas de la Formación Oyotún, ligeramente afectadas por un cuerpo intrusivo de composición cuarzodiorítica, tonalítica, y cuarzomonzodiorítica de la Unidad Penachi.

El Dominio Este presenta afloramientos de flujos piroclásticos y lavas andesíticas, correspondientes a los productos del centro volcánico Cañariaco, los que están intruidos por domos de composición dacítica. En esta sección también se observa un cuerpo de brechas hidrotermales alteradas, emplazado a lo largo de fallas de rumbo subverticales.

EVOLUCIÓN TECTÓNICA SEDIMENTARIA

Tectónica hercínica

Se denomina como tectónica hercinica al conjunto de deformaciones que han afectado a los materiales paleozoicos entre fines del Devónico y el Missisipiano. La tectónica hercínica presenta tres principales etapas de deformación (Dalmayrac et al., 1977), sin embargo, en el área del cuadrángulo de Incahuasi, la fuerte deformación del Complejo de Olmos, evidencia la tectónica Eohercínica.

Intervalo Jurásico - Cretácico inferior

El ciclo sedimentario del Triásico-Jurásico inferior termina en el Jurásico medio y se renuevan los movimientos orogénicos con el retroceso del mar, época donde se inician los periodos de compresión, acompañados por un vulcanismo de arco calcoalcalino (Geyer, 1974, 1980; Mc Court et al., 1984; Mourier, 1988), producto de la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental. En el norte del Perú y sur del Ecuador, los diferentes modelos geodinámicos propuestos por Dalmayrac et al., 1977; Aspden et al., 1987; Mourier, 1988; Jaillard et al., 1990; Romeuf, 1995, para la margen sudamericana a lo largo del segmento peruano-colombo-ecuatoriano, sugieren una convergencia globalmente orientada NO-SE entre la placa oceánica Phoenix y la placa sudamericana en el Jurásico medio. En este periodo de subducción sucede un proceso de extensión a lo largo de la margen, que estaría vinculado a la abertura del Atlántico (Jaillard et al., 1990). El magmatismo de arco (Formación Oyotún), que involucra a los volcánicos de la Formación Tinajones, se instala sobre una margen continental activa, confirmando la presencia de una zona de subducción para esta época (170-160 Ma). Las manifestaciones volcánicas de este periodo son asociadas a un plutonismo importante como es el batolito de Zamora (Ecuador). Los productos volcánicos de la Formación Oyotún son fuertemente marcados por los fenómenos de metamorfismo térmico producto de la intrusión de los plutones (Romeuf, 1995). Entonces la disposición actual de los productos volcánicos del arco Oyotún orientado NNE-SSO, es compatible con la hipótesis de una subducción de la placa oceánica dirigida hacia el SE (Romeuf, 1995), además la presencia de un magmatismo calcoalcalino rico en potasio permiten modificar los modelos propuestos anteriormente por Jaillard et al., 1990, quien sostenía el modelo de subducción oblicua.

Intervalo Neocomiano

Con el retroceso del mar se inicia la sedimentación de una secuencia clástica de areniscas cuarzosas de ambiente eólico del Grupo Goyllarisquizga, que se deposita en aparente concordancia sobre las secuencias volcánicas de la Formación Oyotún, iniciándose así una fuerte subsidencia, levantamiento y depositación de una potente secuencia de areniscas cuarzosas blancas, que en el cuadrángulo de Incahuasi está representada por afloramientos de más de 500 m de espesor, ubicados en el actual borde oeste de la Cordillera Occidental y de 50 a 100 m en el borde este, lo que hace suponer, que en el Neocomiano la cuenca estaba dividida por un alto de relativa altura de dirección NO-SE (Complejo de Olmos).

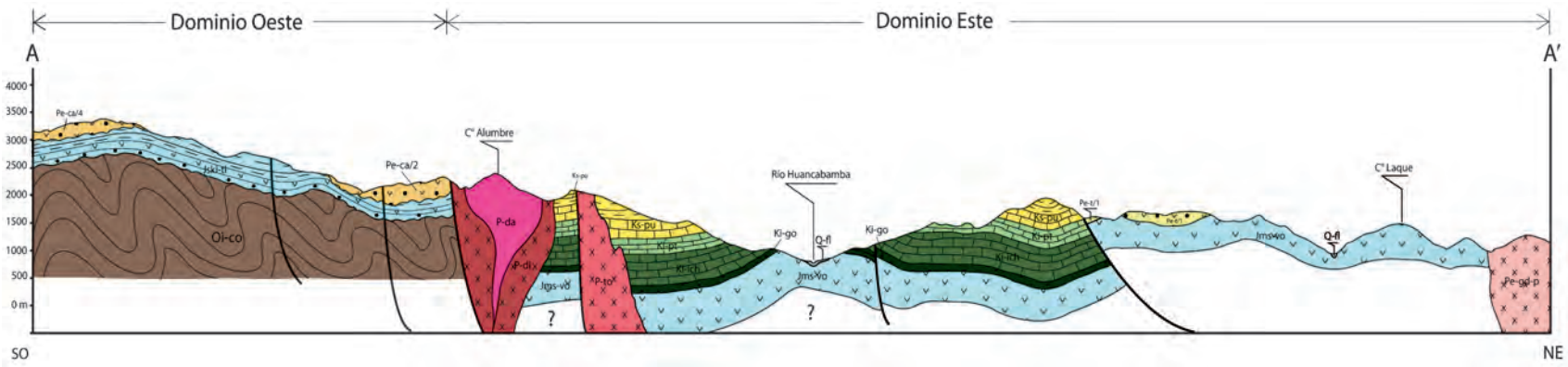


Figura 20. Sección estructural SO-NE, correspondiente al cuadrante I del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

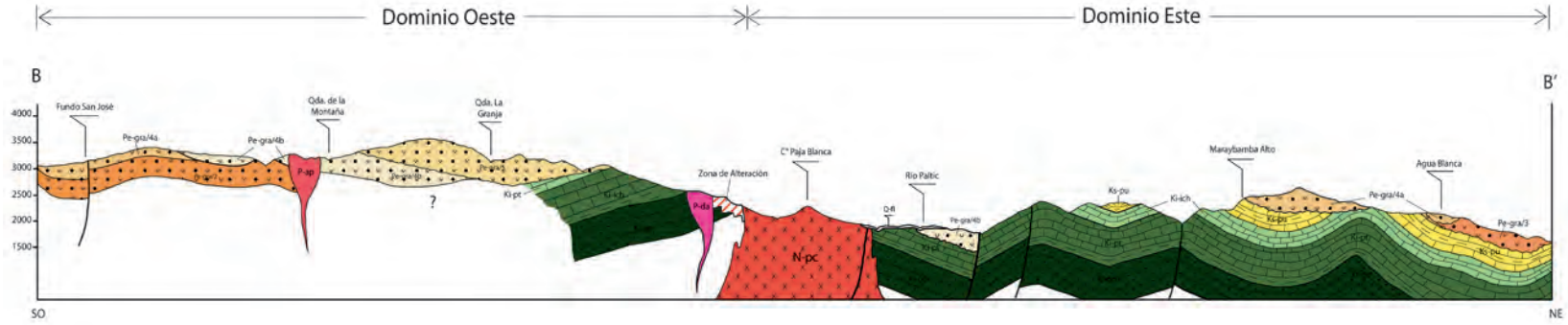


Figura 21. Sección estructural SO-NE, correspondiente al cuadrante II del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

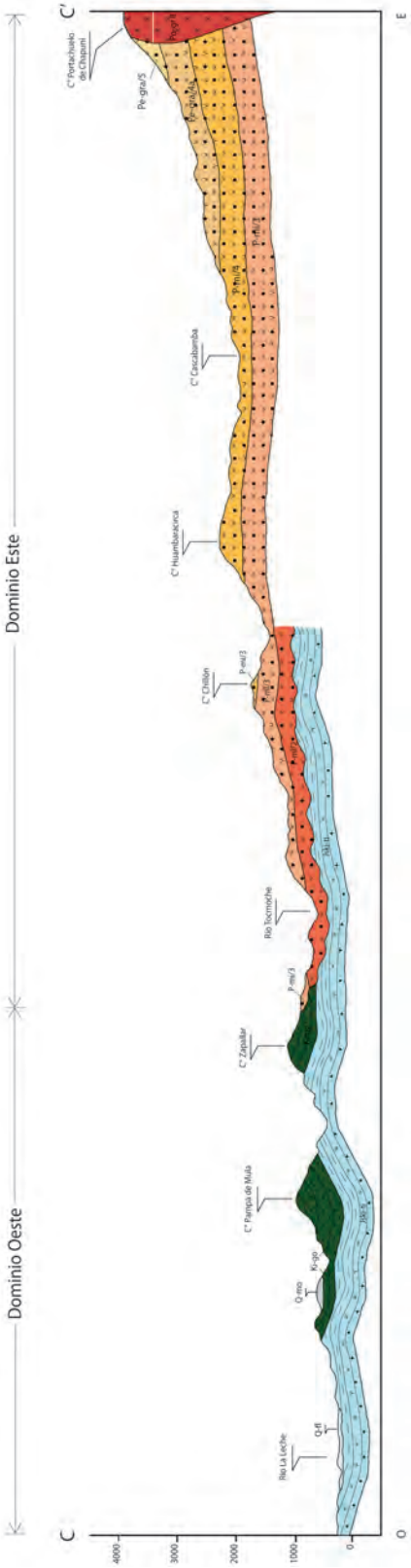


Figura 22. Sección estructural E-O, correspondiente al cuadrante III del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

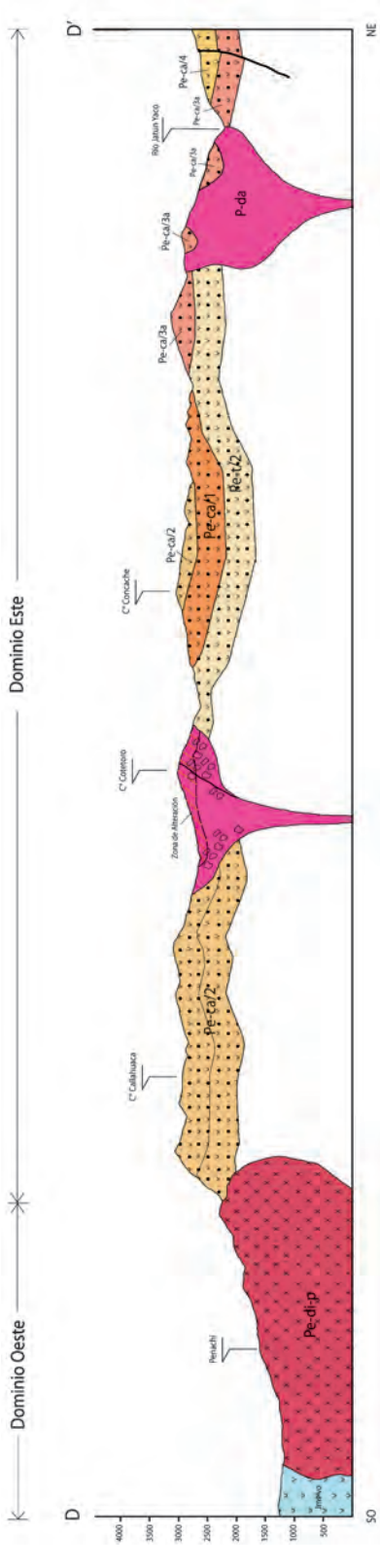


Figura 23. Sección estructural SO-NE, correspondiente al cuadrante IV del cuadrángulo Incahuasi (13-e).

Intervalo Albiano -Turoniano

Este periodo fue marcado por una larga transgresión marina y una importante actividad magmática a lo largo de la margen peruana, así como, por el inicio de la deformación compresional de la fase Mochica del Albiano superior (Megard, 1984; Jaillard et al., 2000; 105 a 100 Ma). En esta época, en el noroeste del Perú, actualmente ocupado por la Cordillera Occidental, se comportó como una cuenca extensa donde se depositaron potentes secuencias marinas carbonatadas de plataforma, determinadas por las variaciones eustáticas del nivel del mar; no obstante, los efectos de los eventos geodinámicos y tectónicos también afectaron la margen.

En los Andes de Huancabamba, la transgresión del Aptiano superior, marca el inicio de la sedimentación marina sobre la plataforma peruana. Las evidencias de los máximos transgresivos se da con la sedimentación de la Formación Chulec en el Albiano (Jaillard, 1990), periodo en el que se depositan facies bituminosas de la Formación Pariatambo, este contemporáneo al evento anóxico mundial y la abertura de la cuenca marginal al oeste del Perú.

Jaillard pone en evidencia un periodo transgresivo entre el Albiano superior y el Cenomaniano inferior, que está asociado a los eventos compresivos de la costa norte del Perú central. El máximo transgresivo se evidencia entre el límite Cenomaniano inferior-medio, con los aportes terrígenos deltaicos de proveniencia oriental y localmente por las huellas de emersión. Este periodo que también es marcado por la tectónica sin sedimentaria se considera como el cierre de la cuenca Huarmey de la costa del Perú central (Myers, 1975; Pitcher, 1978; Cobbing et al., 1981; Cobbing, 1982; Megard, 1984). La sedimentación es entonces, al mismo tiempo, controlada por las características paleogeográficas paralelas y oblicuas relativas a la margen (Jaillard, 1987).

Intervalo Paleógeno- Neógeno

Los eventos del Paleoceno superior, inicialmente descritos por Cobbing et al, (1981) y Bussel y Pitcher (1985), quizá son uno de los eventos mayores en la historia de los Andes (Marocco et al., 1987; Noble et al., 1990; Sempere et al., 1997; Jaillard, 1997; Jaillard et al., 2000). Este evento es contemporáneo con una importante reorganización de la cinemática de placas, datado de 58 a 56 Ma, que resultó en el cambio de la dirección de convergencia de la placa Farallón, de N o NNE a NE (Pilger, 1984; Pardo-Casas y Molnar, 1987). Al evento del Paleoceno superior le sigue la depositación en discordancia de secuencias sedimentarias o volcánicas del Eoceno inferior-superior.

En el norte del Perú, se evidencia una potente serie volcánica subaérea, datada entre 55 a 40 Ma (Cobbing et al., 1981; Noble et al., 1990; Soler, 1991). La signatura química no cambia con respecto al magmatismo del Paleoceno (Soler, 1991), y la actividad magmática del Eoceno es marcada por un leve desplazamiento hacia el este de la zona occidental del frente magmático.

La discordancia angular en la base de los volcánicos paleógenos refleja la deformación durante el Cretácico superior (fase tectónica peruana, Noble et al., 1990) y/o Paleoceno (fase Inca I). La fase de deformación Inca II, podría corresponder al intervalo de edad de 44,2+/-1,2 Ma, datado en riolitas de la Formación Llama (Wilson, 1984; Noble et al., 1990), correspondiente actualmente al centro volcánico Chancay y la edad de alrededor de 39 Ma, se ha datado en flujos de ceniza de la Formación Huambos (Wilson, 1985; Noble et al., 1990), que actualmente es comprendida dentro de la parte inferior del centro volcánico La Granja.

La tectónica Inca II, en el norte y centro del Perú, sugiere que la deformación cesó al menos hace 41 Ma y el tectonismo fue corto pero intenso, y alcanzó su pico máximo hace 43 Ma (Noble et al., 1990). El evento inca II es coetáneo con el periodo de rápida convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica y, por lo tanto, puede reflejar un cambio importante en los patrones de los movimientos litosféricos.

CAPÍTULO VI

GEOLOGÍA ECONÓMICA

La abundante actividad magmática producida a finales del Cretácico y durante el Paleógeno- Neógeno a lo largo de la Cordillera Occidental ocasionó el emplazamiento de numerosos centros de emisión, algunos de los cuales con importantes indicios de yacimientos metálicos de valor económico. Durante la década de los sesenta e inicios de los setenta el Servicio Geológico y Minero de entonces, hoy Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en cooperación con el Institute of Geological Sciences del United Kingdom (Baldock, 1977) inició un programa de prospección geoquímica en el norte del Perú que correspondía a la Cordillera Occidental, entre 80° al 78° O y 4°30' al 7° S y abarcaba un área de 25 000 km^2. El programa realizado en ese entonces consistió en el muestreo de sedimentos y en un cartografiado geológico a escala 1:100 000. Los resultados de la interpretación de datos geoquímicos detectaron áreas anómalas mayores y menores. Entre las áreas estudiadas comprendía las zonas de Cañariaco, La Granja, Chilasque, Jehuamarca, Pandachi, Peña Blanca, Rumi Chaca, Machaycal, Peña Verde, La Huaca, La Vega y El Páramo, entre otros.

Las zonas mineralizadas entre las que se encuentran pórfidos de Cu, epitermales de Au, polimetálicos de Cu-Pb y otras zonas de menor interés, se encuentran ligados a los centros volcánicos erosionados del arco magmático de Paltashaco – Incahuasi (90-75 Ma) (Mamani et al., 2010). Los depósitos más grandes y mejor preservados se localizan al norte y sur del cuadrángulo de Incahuasi y se emplazan en el arco magmático sobre impuesto Calipuy (24-10 Ma), siendo estos los que tienen las mayores reservas de metales a escala mundial.

La mineralización de Cu se encuentra ligada localmente a minerales de Mo, Au, Ag, Pb y Zn. La distribución de estos metales posiblemente esté ligada a los cambios regionales del basamento en los cuales se emplazaron estos yacimientos. En general, se distinguen dos dominios estructurales: el dominio de la Cordillera Occidental caracterizado por un basamento de rocas ordovícicas del Complejo de Olmos y el dominio de la Cordillera Oriental, representado por rocas de basamento probablemente correspondientes al Complejo del Marañón.

En el dominio de la Cordillera Occidental, existen númerosos yacimientos tipo pórfido, los cuales son ampliamente conocidos; en el cuadrángulo de Incahuasi determinan franjas de Cu-Mo (Au), relacionados a intrusiones del Mioceno (Fig. 24); así mismo, en este dominio se define la franja de los depósitos epitermales de Au-Ag y polimetálicos con superposición epitermal del Oligoceno - Plioceno. Dentro de este mismo dominio se encuentra la franja de pórfidos de Cu- Mo, relacionados a intrusiones del Paleógeno. En el cuadrángulo de Incahuasi existen dos proyectos principales, Cañariaco y La Granja, siendo estos los más importantes por el volumen de mineral que estos albergan, de igual manera existen numerosos proyectos entre los que se mencionan Peña Negra, Rumi Chaca, Machaycal, Peña Blanca, Jehuamarca, Pandachi y Chilasque, los que se encuentran ligados a productos de los centros volcánicos como el de La Granja y Cañariaco. Estructuralmente, estas franjas están controladas por sistemas de fallas de dirección NNO a SSE y NS, que controlan la mineralización de estos yacimientos (Fig. 25).

METALOGENIA

Las características geológicas de las ocurrencias de yacimientos en el área del cuadrángulo de Incahuasi nos permite definir tres franjas metalogenéticas (Fig. 25): 1) La franja de pórfidos de Cu-Mo (Au) relacionados a intrusiones del Mioceno. 2) Franja de pórfidos de Cu-Mo, relacionados con intrusiones del Paleógeno. 3) Franja de epitermales de Au-Ag y polimetálicos con superposición epitermal del Oligoceno-Plioceno.

Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au) relacionados con intrusiones del Mioceno

Esta franja, se encuentra ubicada al E-NE del cuadrángulo de Incahuasi. La geología está representada por secuencias de rocas sedimentarias y volcanosedimentarias de edades comprendidas entre el Jurásico al Paleógeno; sin embargo, también se reporta pequeños afloramientos de rocas paleozoicas a manera de escamas tectónicas, lo que nos sugiere un basamento paleozoico correspondiente al Complejo de Olmos. Los principales yacimientos y prospectos de esta franja corresponden a los prospectos de La Granja, Cañariaco, Pandachi y Chilasque. La mineralización està espacial y temporalmente relacionada a intrusiones que corresponden a dacitas, pórfidos cuarcíferos y dioritas de composición calco-alcalina de edad paleógena.

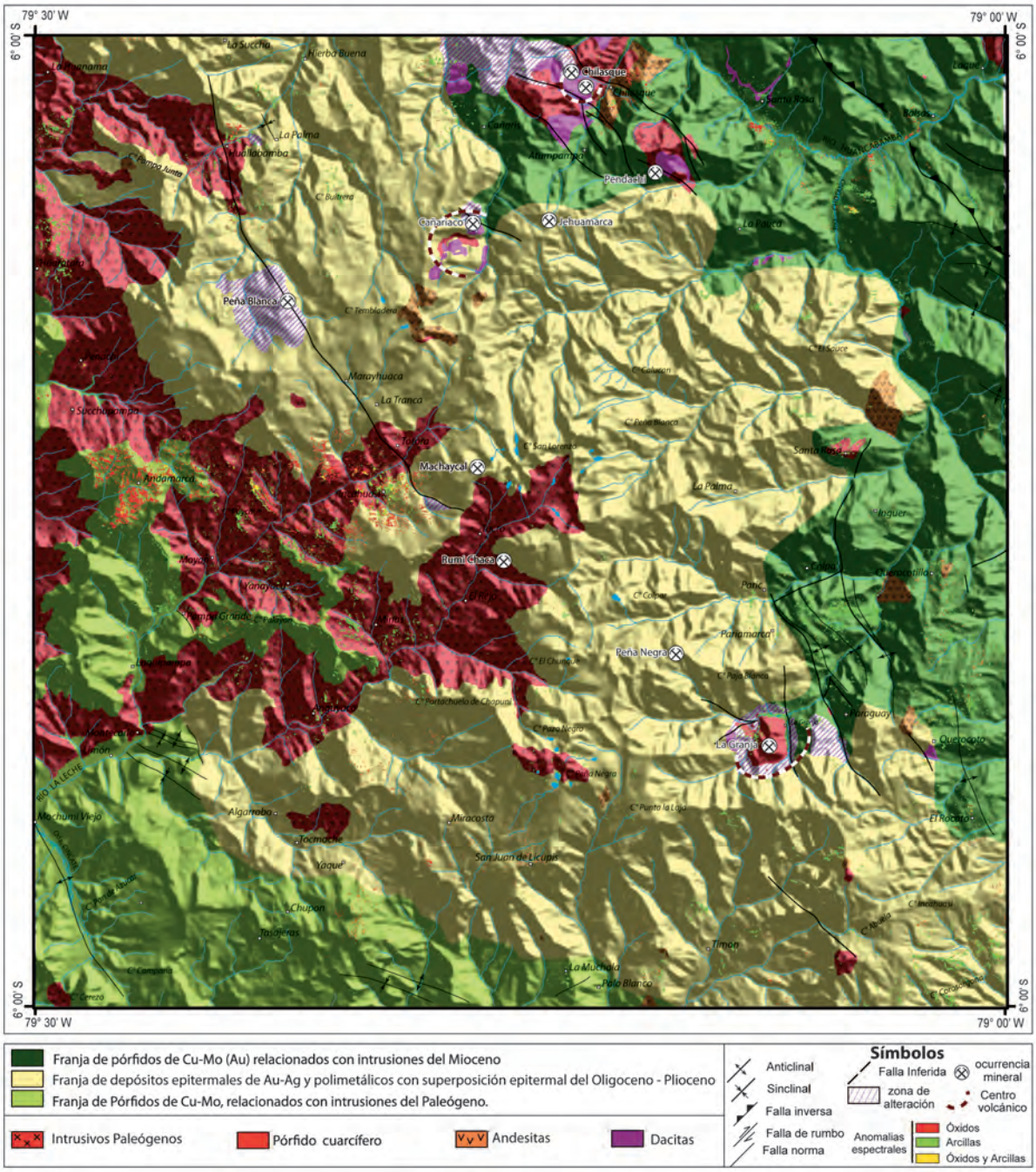


Figura 24. Mapa metalogenético del cuadrángulo de Incahuasi que muestra ocurrencias minerales y datos de anomalías espectrales.

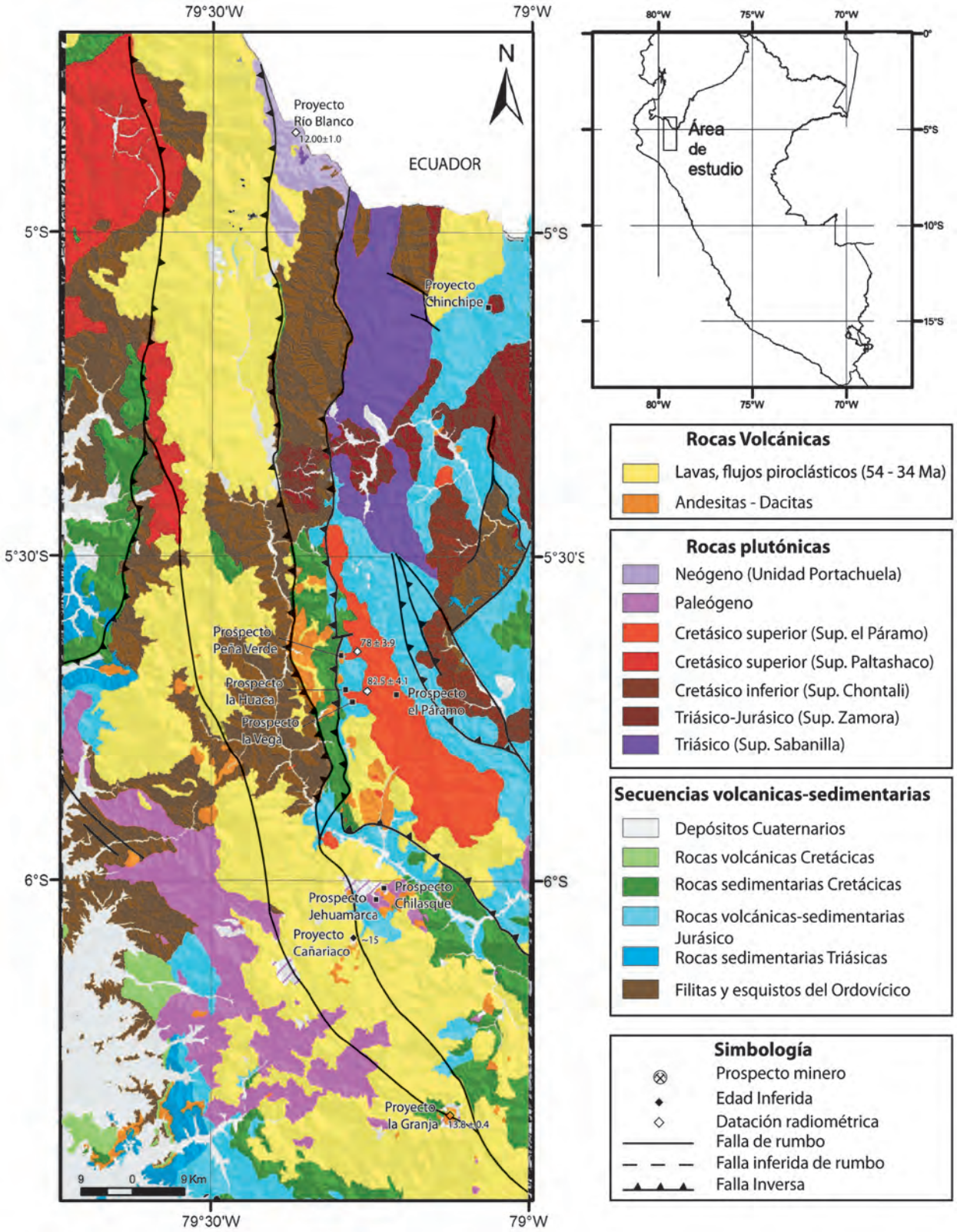


Figura 25. Mapa geológico regional con la ubicación del área del cuadrángulo de Incahuasi y de los principales proyectos y prospectos mineros, y sus correspondientes yacimientos que se correlacionan al norte.

Pórfido de Cu La Granja

Marco geológico

La geología del área circundante al pórfido La Granja (Fig. 26), se caracteriza por presentar una parte central constituida por un pórfido cuarzo feldespático alterado de edad miocénica; este cuerpo intrusivo corta a rocas sedimentarias cretácicas y a rocas volcánicas de edad paleógena. Se trata de areniscas cuarzosas y cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano), calizas de las formaciones Inca-Chulec (Cretácico inferior) y flujos piroclásticos de composición andesitica-riolitica del centro volcánico La Granja (Paleógeno). Rodeando al pórfido cuarzo feldespático, se encuentran intrusiones de dioritas, granodioritas de biotita y granodioritas de hornblenda.

El pórfido cuarzo feldespático, esta intensamente alterado (Fotos 44A, 44B y 44C), pero en zonas aparentemente con menor alteración, se observa una textura porfirítica, con fenocristales de cuarzo y moldes de fenocristales de feldespatos envueltos en una matriz de filosilicatos y cuarzo, estos últimos distribuidos proporcionalmente.

Al oeste, el pórfido cuarzo feldespático pasa gradualmente a un pórfido granodiorítico biotítico, este último conformado por fenocristales de plagioclasas, biotita, cuarzo y feldespato potásico en una matriz silícea de cristales grandes. Al SO, el pórfido cuarzo feldespático pasa gradualmente a un pórfido granodiorítico hormbléndico, que está constituido por fenocristales de plagioclasas, cuarzo y hornblenda en una matriz de cuarzo y feldespato potásico con mínimos contenidos de plagioclasas y hornblenda.

Control estructural

Regionalmente, el pórfido está controlado por un sistema de fallas de dirección NS (Fig. 25), estas fallas, en algunos tramos, se encuentran selladas por secuencias volcanosedimentarias del centro volcánico La Granja. Al oeste, el pórfido está controlado por el Sistema de Fallas Huancabamba, que a su vez controla el emplazamiento de las intrusiones dioríticas y de pórfidos granodioríticos de biotita y hornblenda. La intrusión del pórfido provoca en las rocas sedimentarias un intenso fracturamiento cerca al contacto, y por consiguiente se originan zonas brechozas. Gran parte de los afloramientos del pórfido cuarzo feldespático se encuentran como un *stockwork* (Schwartz, 1982) con una densidad de fracturas variando entre 0.1 a 2 cm.

Alteración

El pórfido La Granja presenta una zona central de intensa alteración con ensambles mineralógicos de caracter filico-argílico y argílico avanzado (Schwartz, 1982). La parte central corresponde al área del pórfido cuarzo feldespático con pequeñas áreas de granodiorita porfirítica, riolita, andesita y cuarcitas. En la zona central, la mayoría de los silicatos han sido alterados y están rodeados por una zona de alteración propilítica de baja intensidad, así como, por cuarcitas que han sido ligeramente afectadas por metasomatismo y secuencias de rocas calcáreas que han generado *skarn*. Schwartz (1982) define 4 zonas de alteración entre las que se tiene:

Zona de alteración sericita-arcilla: Los productos de esta zona de alteración son: cuarzo sericita y minerales de arcilla. La clorita se presenta localmente en la zona de lixiviación, pero ocurre con más frecuencia en la zona de la mena. La turmalina es rara. Los productos de alteración ocurren como reemplazamiento, diseminados y en vetillas. El silicato de la roca ha sido completamente alterado y las texturas primarias han sido modificadas, es así que el pórfido cuarzo feldespático, presenta una intensa obliteración de texturas. El contenido de pirita varía entre 1 a 10 % y el rutilo alcanza 2 % en la zona de sericita-arcilla.

Alteración argilica avanzada: Denominada así al conjunto que contienen alteraciones de andalusita, pirofilita y diáspora (Gustafson y Hunt, 1975) y no son muy comunes en depósitos de pórfidos de Cu. La alteración argílica avanzada que está prácticamente limitada al pórfido cuarzo feldespático, causó un profundo agotamiento de los metales de álcalis y alcalino térreos; en este extremo se desarrollaron y produjeron rocas que consisten únicamente de silicatos alumínicos, cuarzo y diáspora. El reemplazamiento de silicatos primarios, en la zona de alteración argilica avanzada, es pleno como en la zona de sericita-arcilla y, en ambas zonas, las texturas de las rocas han sido obliteradas en gran medida.

Schwartz (1982) también reconoce los siguientes ensambles mineralógicos: andalucita-cuarzo, andalucita-pirofilita-cuarzo, andalucita-sericita-cuarzo, diáspora-pirofilita-cuarzo y sericita-pirofilita-cuarzo. El contacto directo entre andalucita y diáspora es muy raro, y la andalucita frecuentemente muestra reemplazamiento por pirofilita, y la pirofilita es fácilmente remplazada por diáspora. La andalucita ha sido encontrada en el núcleo de los feldespatos pseudomorfos rodeados por pirofilita; sin embargo, la ocurrencia más frecuente de andalucita, carece de relación con la textura de la roca primaria, se presenta en forma de rosetas radiales o como granos irregulares dispersos, en tanto que la caolinita se presenta usualmente pero puede ser de origen supérgeno, como lo son las trazas raras de alunita.

La alteración argílica avanzada llevó a una considerable liberación de sílice, con cantidades que están en función de la relación Si/Al de los productos de alteración. Schwartz (1982) indica que existe una evidencia mineralógica de que una gran parte de la sílice liberada se ha precipitado más o menos in situ. El orden de incremento de sílice y la capacidad de liberación del producto de alteración es: pirofilita, sericita-caolinita, andalucita y diáspora, que muestran el más alto contenido de cuarzo. Las rocas de la zona

argílica avanzada contienen los más altos contenidos de pirita, variando con respecto a todo el ensamble de alteración entre 2 a 12 %.

Alteración propilítica: La alteración propilítica afecta a rocas del entorno del pórfido, como andesíticas, granodioritas y dioritas, teniendo estas una alteración con intensidad baja, donde las texturas originales aún son preservadas. Entre los productos de alteración se tiene clorita, epidota, clinozoisita, calcita, anhidrita, minerales de arcilla y cuarzo; sin embargo los minerales de hornblenda, biotita y feldespato potásico están alterados en gran medida, mientras que la plagioclasa es poco afectada. El contenido de pirita es de 1 a 10 %.

Alteración en rocas sedimentarias: En el flanco oeste, el pórfido cuarzo-feldespato intruye a rocas sedimentarias del Cretácico inferior, siendo alteradas metasomáticamente en diferentes grados, en este caso va depender de la roca original. Así, las cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga han sido alteradas mínimamente por metasomatismo, con presencia local de pirita, las secuencias limo arenosas presentan alteración sericita-arcilla similares a las rocas intrusivas, y las calizas se han convertido en rocas calco-silicatadas con granate, actinolita, wollastonita, epidota y clinozoisita. El incremento de la distancia con respecto al contacto con el intrusivo, va ocasionar que las alteraciones calco silicatadas den paso a la marmolización de las calizas.

Mineralización

La mineralización del pórfido La Granja ha sido datada en 13.8 Ma (Díaz et al., 1997). Los sulfuros hipógenos ocurren como vetillas, rellenando fracturas y diseminados. El mineral dominante de cobre es calcopirita con bornita subordinada; ambos minerales ocurren principalmente como diseminados. El contenido de pirita varía entre 1 y 12 %, que ocurre en forma diseminada donde las concentraciones de pirita son bajas, así como en relleno de fracturas con altas concentraciones de pirita. El contenido de la calcopirita varía inversamente al contenido de pirita. La molibdenita ocurre principalmente como relleno de fracturas y es muy raro verla en contacto con otros sulfuros; la concentración de la molibdenita se puede observar independiente al contenido de la pirita. La ley del mineral hipógeno varía entre 0.3 a 0.8 % de Cu en el ensamble de la alteración argílica avanzada. Localmente se presentan vetillas conteniendo enargita masiva y tenantita. El rutilo es el mineral dominante de titanio. En la periferia del depósito ocurre magnetita como diseminación y en vetillas.

La zona central de alteración sericita-arcilla y alteración argílica avanzada está cubierta por una zona de lixiviación que se presenta en espesores de pocos metros en la parte superior, pudiendo alcanzar hasta los 200 m en los valles y en antiguas superficies de erosión, donde los sulfuros han sido convertidos casi completamente en limonita que muestran minerales de cobre usualmente oxidados; los sulfuros también son extremadamente raros en la zona de lixiviación. En la zona propilítica la lixiviación es débil e incluso ausente excepto en el pórfido granodiorita-biotita.

Un manto de enriquecimiento secundario subyace a la zona lixiviada, separado por una zona de transición que frecuentemente es poco menos de 2 m de espesor. El manto enriquecido tiene un espesor de 25 a 250 m, en la zona de alteración sericta-arcilla, con un máximo espesor que alcanza la base y el tope de la colina. El único mineral secundario de cobre es la calcosita y covelita, que ocurre como reemplazamiento de calcopirita y bornita. El grado del mineral supérgeno varía entre 0.5 y 2 % de Cu en la zona de alteración sericita-arcilla.

Pórfido de (Cu) Cañariaco

Marco geológico

Regionalmente el pórfido de Cañariaco, se encuentra ubicado en la franja de pórfidos de Cu-Mo (Au) relacionados con intrusiones del Mioceno (Fig 24). Localmente, la geología está constituida por productos del centro volcánico de Cañariaco, que consisten en flujos piroclásticos, lavas andesíticas y cenizas. La parte central del aparato volcánico, que comprende parte del yacimiento Cañariaco norte, forma un cuerpo elongado de dirección NNO-SSE con una longitud aproximada de 1.7x1.1 km, que define tres fases intrusivas que forman el anillo principal de la zona mineralizada. Esta zona consiste de brechas hidrotermales, rodeadas por cuerpos del pórfido de feldespato-biotita y el pórfido de feldespato con cuarzo; en la parte central también se tiene la presencia de brechas de turmalina (Fotos 45A, 45B y 45C) y de brechas de rocas intrusivas (Foto 45D). Este centro volcánico extiende su estructura más al sur, a la que se le denomina como Cañariaco sur, que está constituida por un pórfido feldespático con cuarzo y pórfido de feldespato biotítico (Fig. 27).

Control estructural

El principal control estructural corresponde al sistema de fallas regionales Huancabamba, que ha controlado el emplazamiento de los pórfidos en el norte del Perú, este sistema de fallas presenta una dirección general NO-SE a NS (Fig. 25), así mismo, se observan pequeñas fallas de dirección NO-SE y NE-SO que se intersectan entre sí y llegan a cortar parte del pórfido; no obstante, gran parte de las estructuras probablemente estén cubiertas por los productos del centro volcánico Cañariaco.

Alteración

Flores et al., 1975, define tres zonas de alteración:

Zona propilítica: En los bordes del depósito se observan minerales ferromagnesianos que se alteran a clorita y epidota, hacia el exterior

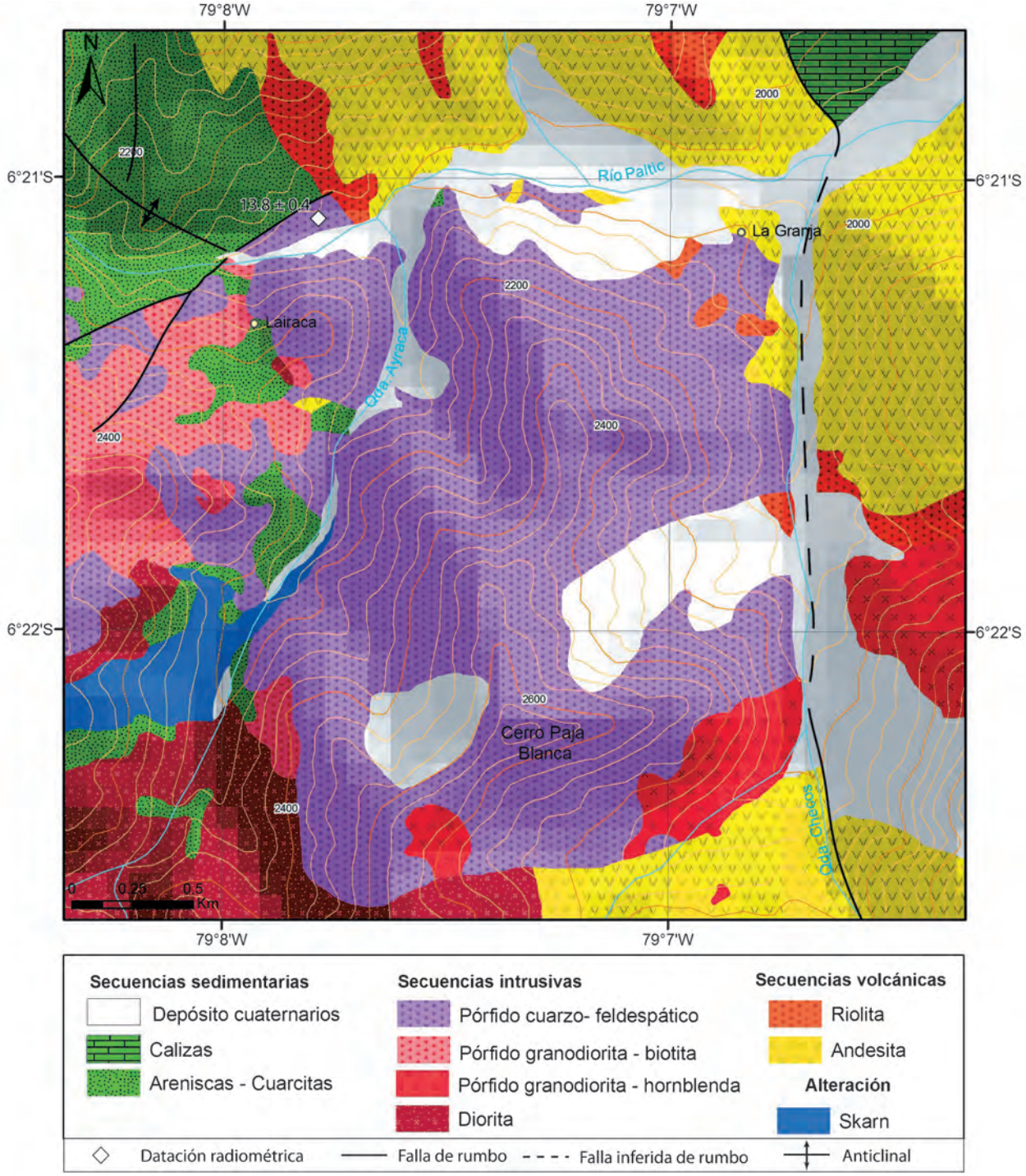


Figura 26. Mapa geológico local detallado del pórfido (Cu-Mo) La Granja. Modificado de Schwartz (1982).

Foto 44. **A)** Pórfido La Granja. Vista mirando al norte, donde muestra la zona de intensa alteración argílica. **B)** Roca volcánica intensamente alterada por cuarzo-sericita (GR9-10-142), donde se observa fenocristales de cuarzo primario (QzI) y moldes alterados por sericita (Ser) en matriz intensamente alterada por cuarzo y sericita (QzII-Ser). Se observan venillas de óxidos de fierro (OxsFe). **C)** Roca intensamente sericitizada y argilizada (GR9-10-39), con fenocristales de cuarzo (Qz), muscovita (Mus) y moldes de fenocristales alterados por sericita, arcillas y óxidos de fierro (Ser-Arcs-OxsFe) en matriz constituida por feldespatos, cuarzo, sericita y arcillas (FKs-Qz-Ser-Arcs).

de esta alteración van gradando a zonas con epidota en forma de núcleos, cerca al contacto con a la zona de alteración cuarzo sericita, estas parecen interdigitarse. Los minerales constituyentes de esta alteración son: clorita, epidota, calcita, hidrómica, cuarzo y sericita; se observa también algo de ortosa, uralita, biotita, albita y tremolita. La clorita exhibe dos modos de ocurrencia, como vetillas y como alteración de minerales máficos primarios. El principal sulfuro es la pirita diseminada y la calcopirita se presenta como trazas que se incrementan hacia la zona de cuarzo sericita. El metavolcánico y algunas rocas hipabisales son las que presentan esta alteración.

Zona de cuarzo-sericita: Superficialmente se distingue un área central con intensa alteración y el desarrollo de cuarzo sericita y cantidades menores de clorita, epidota, turmalina, illita y alunita. La roca original está muy alterada, presenta un color gris blanquesino, y es de grano fino con textura obliterada. El *stock* de tonalita porfídica, el pórfido cuarcífero y la brecha de turmalina son las rocas fuertemente afectadas por este tipo de alteración. Las plagioclasas han sido intensamente alteradas a sericita en fenocristales como en la matriz, con presencia local de biotita regenerada. El cuarzo se presenta en vetillas de 2 a 3 mm de ancho, que se intersectan entre si formando estructuras enrejadas de diferentes direcciones; casi el 95 % de estas vetillas presentan mineralización de calcopirita y molibdenita. La sericita se presenta como finas hojuelas diseminadas dentro de la roca y también en fracturas. La proporción de sericita-cuarzo varía entre 30 % a 60 % del total de la roca; localmente la sericita puede ser más abundante. La calcopirita y la pirita se presentan como diseminaciones y también asociadas a vetillas de cuarzo. La proporción de calcopirita se incrementa hacia la zona de alteración cuarzo-sericita. Localmente, la relación de calcopirita es de 2:1.

Zona de biotita-ortosa: La biotita-ortosa fue localizada en profundidad, lo que indica un zoneamiento vertical. La zona de alteración cuarzo sericita de los niveles superiores del depósito pasa gradualmente a una zona de alteración biotita-ortosa hacia los niveles inferiores. Esta zona se caracteriza por el desarrollo de biotita regenerada como diseminaciones y de manera menos profusa a lo largo de las fracturas. También, se observa ortosa y esencialmente en fracturas, sericita, cuarzo, clorita, epidota, albita, turmalina y ankerita. La biotita presenta un color gris a pardo, y aparece como finas escamitas diseminadas, como concentraciones y como rellenos de fracturas junto al cuarzo. La ortosa rosada puede presentarse hasta en un 5 %, casi siempre ocurre en microvetillas y vetillas; también se observa ortosa como granos regenerados y proporciones todavía altas de cuarzo y sericita; sin embargo, la asociación biotita-ortosa indicaría una facies de alteración potásica. Esta alteración estaría confinada al intrusivo tonalítico y en parte al metavolcánico en su contacto con el intrusivo, donde las leyes de cobre son constantes; así mismo la relación pirita-calcopirita es de 2:1.

Mineralización

La mineralización consiste de una mezcla de sulfuros supérgenos e hipógenos y una zona enteramente constituida por sulfuros hipógenos. La mineralización hipógena consiste de pirita calcopirita, molibdebita y cantidades subordinadas de enargita, tetraedrita-tenantita, oro, galena esfalerita y magnetita, esta última con ligero incremento local. Los sulfuros se encuentran diseminados en forma de pequeños granos y núcleos o como rellenos en microfracturas, vetillas y asociados a vetillas de cuarzo. El contenido promedio de sulfuros va entre 3 y 8 %. La proporción de pirita y calcopirita es variable, en la zona de sulfuros primarios puede oscilar entre los limites 1:1 a 4:1; siendo la relación de 4:1 más constante; en las periferias esta relación puede alcanzar hasta 20:1.

La mineralización supérgena está constituida por calcosita, digenita y covelita. Estos sulfuros secundarios se han observado a profundidades hasta de 250 m; los sulfuros supérgenos han remplazado totalmente a la calcopirita. También se presenta un proceso de reemplazamiento en forma de capas «coating»; en general, la calcopirita se presenta en proceso de alteración de diverso grado a covelita y digenita.

PROYECTO CHILASQUE

El prospecto Chilasque se localiza en el extremo NO del cuadrante I y territorialmente pertenece al distrito de Cañaris, provincia de Ferreñafe y departamento de Lambayeque, el acceso a esta zona es vía la carretera asfaltada Chiclayo-Pucará-Jaén. Aproximadamente 10 km antes de llegar al poblado de Pucará se encuentra la quebrada Chilasque (margen derecha del río Huancabamba), por cuyo curso se hace el ingreso hacia el área del proyecto, el cual se encuentra en la parte alta del cerro Shunchuco.

Marco geológico

Las rocas más antiguas que afloran en la zona de Chilasque comprenden a pizarras y filitas del Complejo de Olmos (Ordovícico superior), flujos piroclásticos, andesitas y dacitas de la Formación Oyotún (Jurásico medio a superior), intercalaciones de lavas andesíticas basálticas, con cuarcitas y lutitas negras correspondientes a la Formación Tinajones (Jurásico superior-Cretácico inferior), calizas y lutitas de las formaciones Inca-Chulec (Cretácico inferior). Cubriendo parcialmente a estas unidades antiguas se tienen productos de los centros volcánicos Cañariaco y Tauromarca, los que están constituidos por flujos piroclásticos. Las unidades magmáticas que se encuentran en esta zona corresponden a intrusiones paleógenas de dacitas, dioritas, cuarzo monzonitas y andesitas.

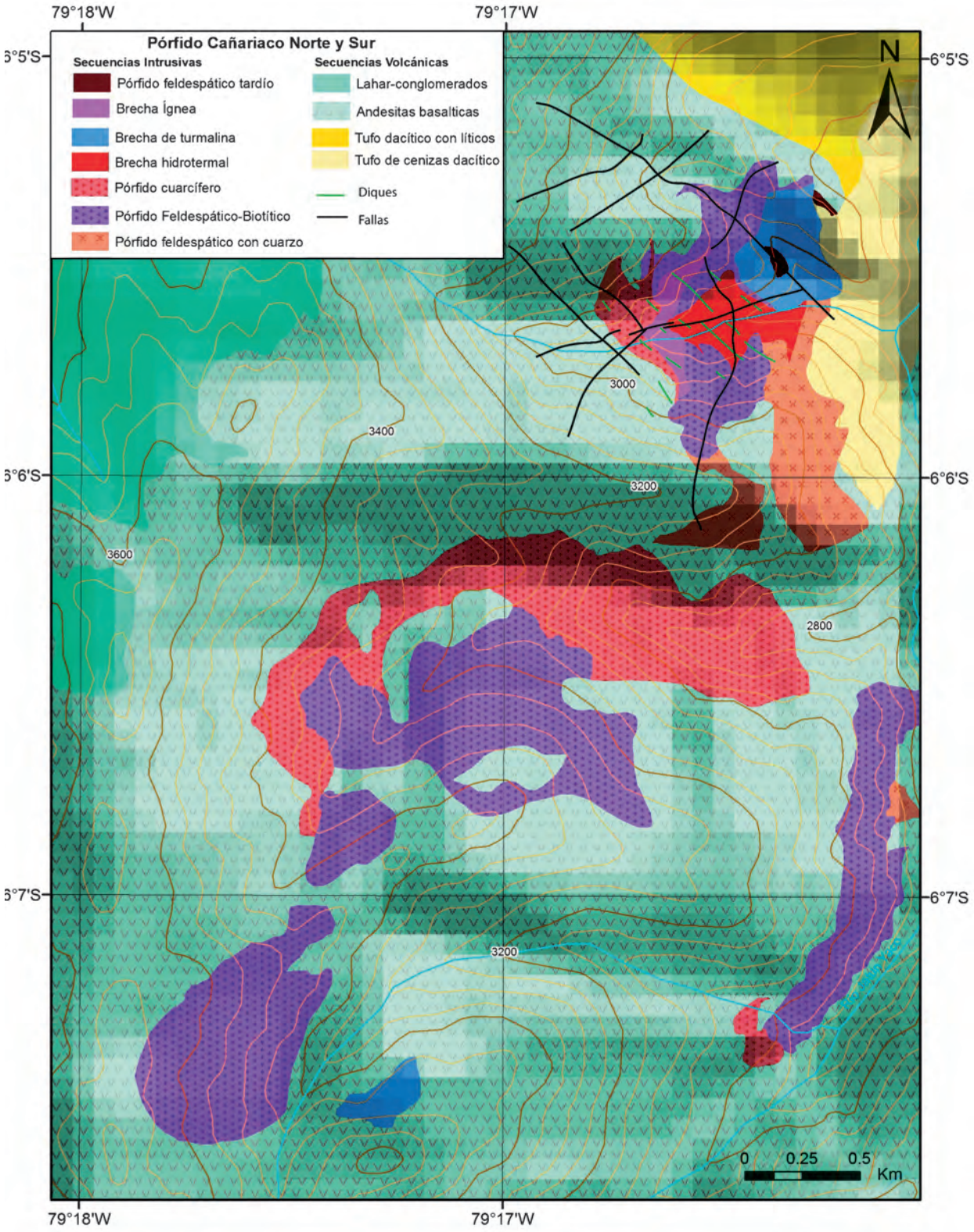


Figura 27. Mapa geológico del pórfido Cañariaco norte y Cañariaco sur. Modificado de Candente Copper Corp. (2010).

Foto 45. **A)** Vetillas de turmalina cortando el pórfido dacítico. Vista tomada en la carretera hacia el campamento del Proyecto Cañariaco. **B)** Brecha de turmalina. **C)** Brechas de rocas intrusivas. **D)** Muestra (GR9-10-117), roca intensamente alterada por turmalina (Tur) y cuarzo (Qz), observándose minerales opacos (Ops) diseminados y en venilla.

Control estructural

Este prospecto, al igual que los proyectos La Granja y Cañariaco, tienen como control estructural mayor a la falla de Huancabamba de dirección NS a NO-SE (Fig. 25); localmente presenta numerosas fallas que afectan a las diversas unidades volcanosedimentarias e intrusivas, siendo las más importantes las fallas paralelas de dirección NO-SE (Fig. 28), que cortan transversalmente el valle de la quebrada Chilasque. También, hay pequeñas fallas NNO a NS y EO que intersectan a las fallas de dirección NO-SE. Probablemente, el desarrollo de estas áreas de alteración hidrotermal estén relacionadas a estas estructuras.

Alteración

En el área de Chilasque (Fig. 28), se observa el contacto de un cuerpo andesítico con secuencias sedimentarias compuestas por lutitas y calizas, donde la alteración de las rocas sedimentarias es muy débil, observándose solamente algunos niveles de hierro, recristalización de las calizas y mucha limonita que impregnan a las calizas y lutitas, no encontrándose desarrollo de granate. La alteración se extiende a lo largo de la zona de contacto, disminuyendo hacia el tope de las unidades sedimentarias; la andesita presenta fuerte epidotización, con abundante clorita, formando una aureola alargada de dirección SE. Las dimensiones de estas áreas de alteración son aproximadamente de 1.6 x 0.7 km.

En el área de la Llorona (Fig. 28), se presenta silicificación y propilitización, que afectan tanto al *stock* como a los derrames dacíticos cercanos al contacto. La silicificación es más intensa en el intrusivo, mientras que, la propilitización está más desarrollada en las rocas volcánicas, disminuyendo en intensidad hacia la cumbre del cerro. El fracturamiento es moderado y en algunos casos las fracturas están rellenadas por sílice. Las dimensiones aproximadas de esta área son de 1.8 x 1.2 km.

En el área de Shunchuco (Fig. 28), se presentan dos tipos de alteración: hidrotermal y de contacto metasomático. La alteración hidrotermal afecta principalmente al *stock* dacítico, donde predomina la silicificación que abarca desde el contacto con el *stock* diorítico hasta muy cerca de la zona de *skarn*. La roca presenta una coloración blanquesina por el remplazamiento con sílice y en las fracturas se observa limonita proveniente probablemente de la oxidación de la pirita. Este tipo de alteración varía gradualmente hacia la cumbre con el incremento de la sericita, la cual se presenta en pequeñas escamas, reemplazando a relictos de feldespatos, haciéndose más intensa en la zona de fuerte fracturamiento que bordea al *skarn*. En esta zona se observa abundante sericita en oquedades y vetillas de 3 mm de cuarzo ahumado; el contenido de limonita también es mayor tanto en diseminados como en fracturas.

En algunas muestras de fondos de quebrada se advierte mineralización de cobre en pequeñas cantidades; el área que ocupa la alteración de sílice es de 2 x 1.5 km, en cambio la zona de fuerte fracturamiento con alteración de cuarzo sericita abarca una extensión de 0.05 x 0.3 km bordeando el *skarn*. La alteración de tipo metasomático que se observa en la localidad de Shunchuco es la más importante, debido a que presenta minerales de cobre en la zona de granates, silicatos y minerales de hierro. Se aprecia un aparente zoneamiento en la distribución de los minerales del *skarn*, según la dirección SO-NE, donde la primera zona externa está compuesta de hematita, pirita y calcopirita, la segunda zona está compuesta de hematita con granate y en la zona central, aparecen granate, pirita-hematita, pirita y magnetita en gran cantidad. Las dimensiones que tiene el *skarn* son de 1.2 x0.5 m, según el eje SO-NE.

En el área de Shuncho (Fig. 28), el *stock* dacítico se encuentra ligeramente silicificado, la alteración hidrotermal afecta principalmente al *stock* de cuarzo monzonita que aflora en la cabecera de la quebrada de Shuncho y se manifiesta con una intensa silicificación en forma de vetillas con potencias variables de finas vetillas hasta 1 mm, así como, en ojos de cuarzo. El contacto entre estas rocas se encuentra brechificado y es donde hay una débil mineralización de Cu. Por lo demás, el cuerpo intrusivo silicificado no presenta mineralización visible de ningún tipo. El área de silicificación abarca una extensión de 1.4 x 0.7 km.

El área de Cajaruro, presenta un *stock* dacítico afectado por una alteración moderada de sílice, sericita y kaolinización; sus dimensiones aproximadas son 1 x 0.8 km y gran parte de este área se encuentra cubierta por abundante vegetación y una espesa cobertura de suelo que impide un estudio detallado.

Mineralización

En el área de Chilasque, la mineralización se presenta en rocas sedimentarias, cerca de los contactos rellenando fracturas erráticas y cortas con potencias de hasta de 10 cm; contienen cuarzo, pirita, calcopirita y carbonatos, en cambio, en el intrusivo solo se observa pirita diseminada en pequeñas proporciones.

En el área de la Llorona, solo se observa abundante pirita tanto diseminada como rellenos de fractura, emplazados en el *stock* dacítico, así como, en las secuencias volcánicas, esporádicamente, se encuentran carbonatos de cobre en afloramientos de laderas.

En el área de Shunchuco, la mineralización de cobre está relacionada principalmente con el *skarn*, que conteniene pequeñas concentraciones de calcopirita, covelita, calcosita, pirita y esporádicamente carbonatos. En la zona periférica de fuerte fracturamiento, se advierte mineralización de cobre en pequeñas cantidades, acompañada de intensa piritización, pero solo en los

fondos de quebradas, mientras que en la zona de silicificación, la mineralización está constituida casi íntegramente de pirita en fracturas.

En el área de Shuncho, la mineralización consiste principalmente de pirita diseminada y en fracturas. Se observan pequeñas cantidades de calcopirita en las brechas de contacto del *stock* dacítico con el cuarzo monzonita.

La mineralización del área de Cajaruro consiste en la presencia de Cu, debido a la intensa lixiviación de la roca alterada, pero se advierte gran cantidad de limonita en fracturas y diseminados, que indican la presencia de sulfuros lixiviados. Se debe hacer notar que gran parte de estas limonitas proceden de la pirita.

PÓRFIDO DE CU PANDACHI

El prospecto Pandachi está ubicado en el cerro el Alumbre (Fig. 29), del distrito de Cañaris, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. Esta zona es accesible por la carretera asfaltada Chiclayo-Pucará-Jaén; a partir de Pucará parte una carretera afirmada, cruzando el río Huancabamba en dirección a Cañaris y, aproximadamente a 12 km cerro arriba, existe un desvió en dirección oeste que nos lleva al área del prospecto.

Marco geológico

En el área de Pandachi se han diferenciado secuencias sedimentarias compuestas de lutitas y calizas, correspondientes a las formaciones Inca-Chulec y Pariatambo del Cretácico inferior y secuencias de areniscas, lutitas y calizas pertenecientes a la Formación Pulluicana del Cretácico superior y cubriendo a estas secuencias se tienen flujos piroclásticos de composición andesítica-dacítica de edad Paleógena. Estas rocas han sido intruidas por un *stock* andesítico-dacítico; además en el área ocurren también cuerpos intrusivos pequeños de composición cuarzo-monzodiorita y cuarzo-diorita con presencia de diques. (Flores, 1974). El cuarzo monzodiorita, presenta una textura con grano porfirítico-transicional, por lo que su emplazamiento se da en un ámbito abisal (Müller & Steiner, 1976). Esta cuarzo monzodiorita està conformado por cristales idiomorfos de plagioclasas alterados a sericita y el feldespato potásico está representado por granos turbios, xenomorfos. El cuarzo se encuentra estrechamente asociado con la ortosa que además presenta cristales de augita y se encuentran dentro de los núcleos de las hornblendas inclusiones de apatitos y monacitas. El cuarzo-diorita forma un *stock* intrusivo que abarca principalmente el cerro el Alumbre. Presenta una textura protoclástica conformada por cristales idiomorfos de plagioclasas y fenocristales de cuarzo bien redondeados; los ferromagnesianos se encuentran alterados por cloritas y epídotas. El apatito se presenta como traza en la matriz feldespática.

Control estructural

Este prospecto también tiene como control estructural regional por parte de la falla de Huancabamba y localmente, presenta fallas de dirección NO-SE que a su vez están cortadas por otro sistema de fallas de dirección ENE-OSO, que afectan a rocas sedimentarias e intrusivas.

Alteración

Müller & Steiner (1976) diferencian cuatro tipos de alteración que se describen a continuación:

Alteración cuarzo-sericita-pirita: Se encuentra afectando a los intrusivos de diorita-cuarcífera y curzo-monzodiorita; se caracteriza por una gradación de fuerte propilitización a alteración cuarzo-sericita-pirita. Las rocas originales son atravesadas por una estructura cruzada de fisuras rellenas de sílice (*stockwork*). Estas vetas de sílice son milimétricas y pueden alcanzar hasta de 2 cm. La parte central muestra una capa de limolitas.

Alteración silícea**:** Esta alteración se desarrolla en el cuerpo de brechas de turmalina, que afecta a la dacita cuarcífera y a zonas circundantes de fuerte fracturamiento; también afecta parcialmente a los *stocks* andesíticos y dacíticos.

Alteración propilítica**:** Presenta un ensamble mineralógico de clorita-epídota-pirita que afecta principalmente al *stock* dacítico, cerca al contacto con la diorita y disminuye hacia la cumbre del cerro el Alumbre.

Alteración por metasomatismo**:** Se observa en el contacto de la Formación Pulluicana con la tonalita. Esta alteración ha permitido el desarrollo de minerales como la epídota, clorita, granates, magnetita y algo de chalcopirita.

Mineralización

La mineralización es típica de yacimientos diseminados (Zelaya & Mamani, 1975), encontrándose pirita diseminada y rellenando fracturas, asociada a los diferentes tipos de alteración. La calcopirita se encuentra rellenando fracturas asociadas al cuarzo y, en menor proporción, diseminada; la covelita se presenta como patinas que se encuentran alterando a la calcopirita y pirita; los carbonatos se presentan en algunos afloramientos lixiviados del intrusivo diorítico y la limonita se encuentra ampliamente distribuida en toda la zona de alteración como diseminados y rellenando fracturas. Finalmente, se observa mineralización de Cu en algunos afloramientos de calizas alteradas, asociada a granates y otros silicatos.

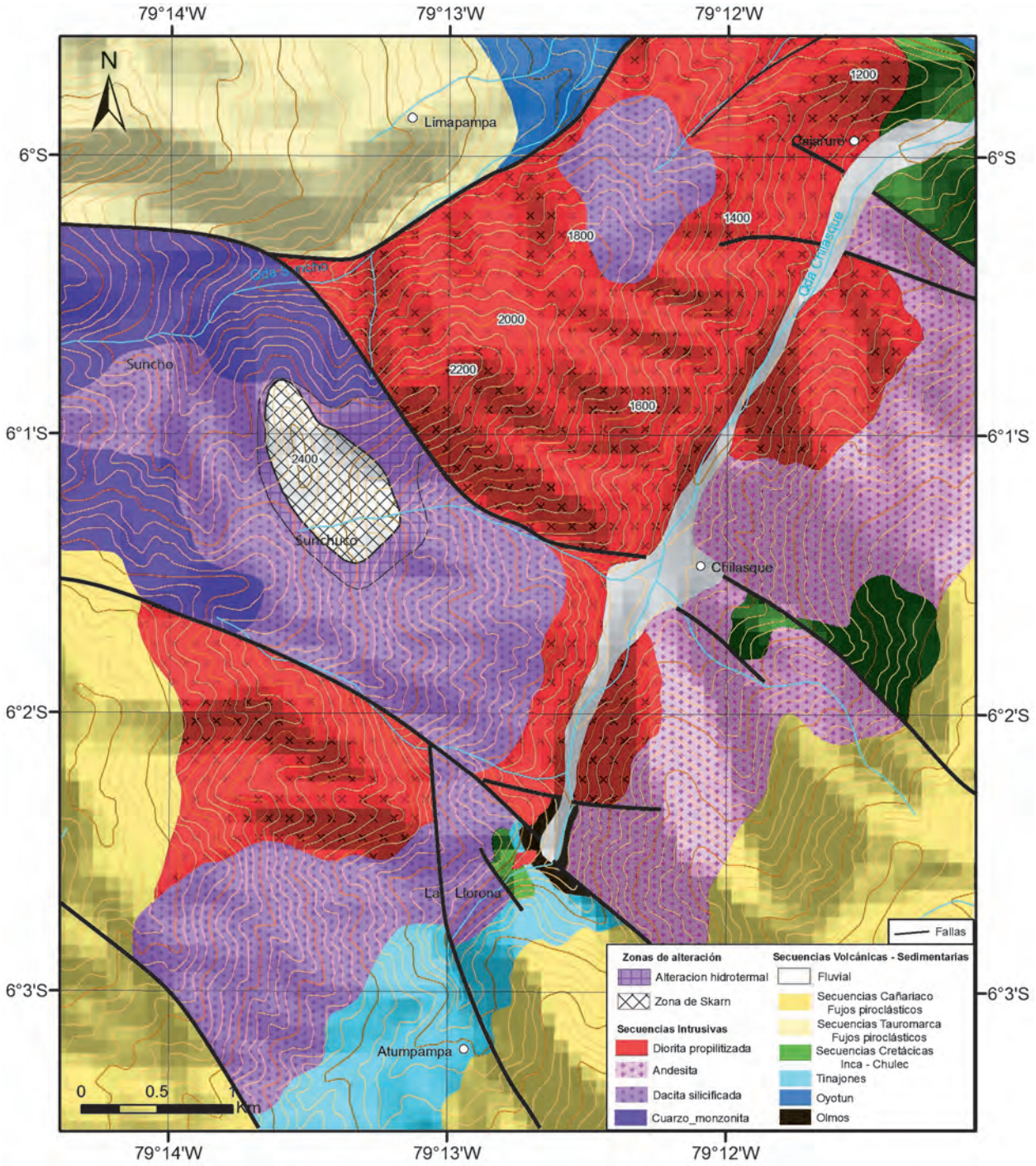


Figura 28. Mapa geológico de la zona de Chilasque (Mamani & Jiménez, 1975).

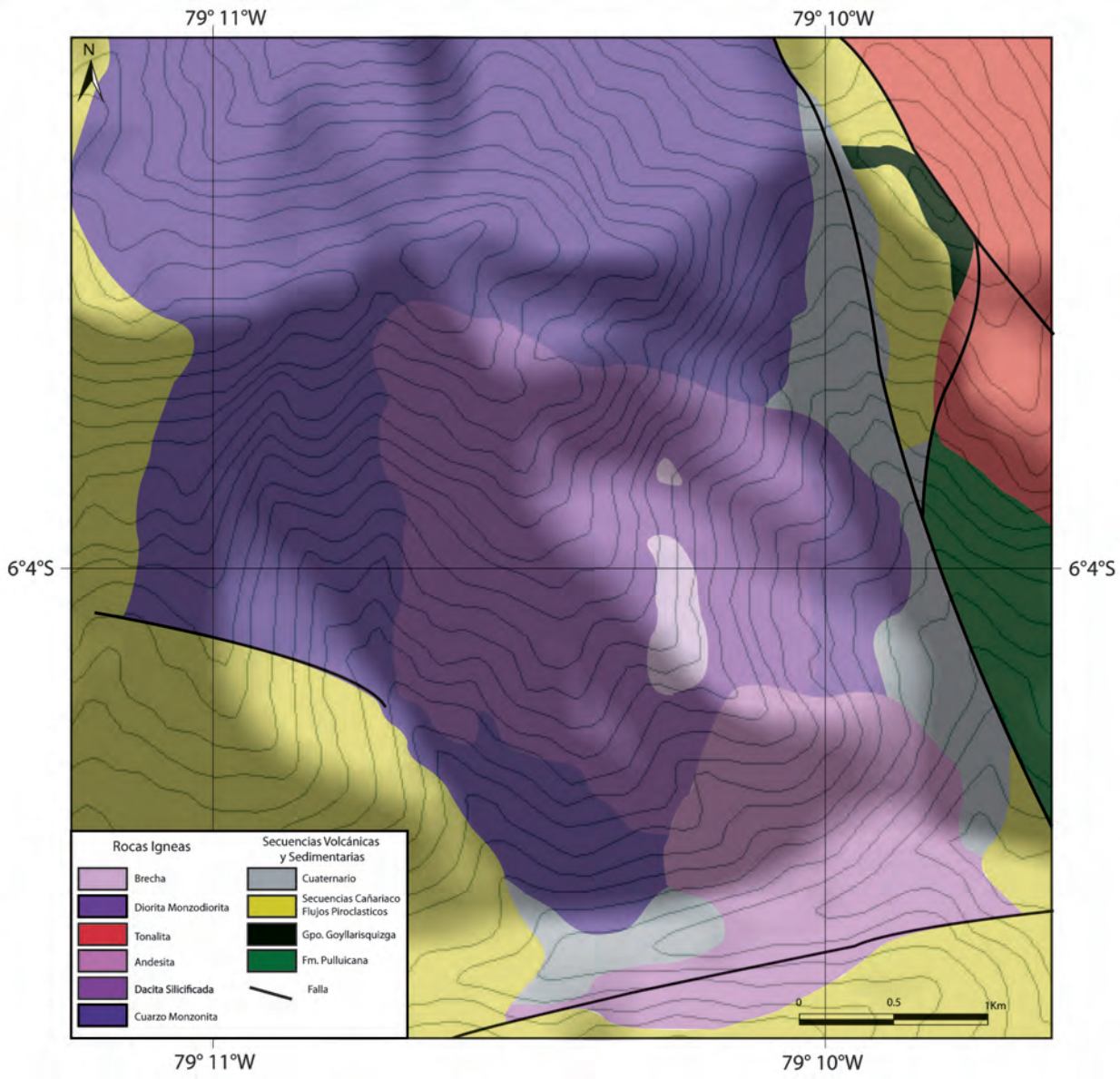


Figura 29. Mapa geológico del pórfido de Cu de Pandachi (Müller & Steiner, 1976).

Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y polimetálicos con superposición epitermal del Oligoceno-Plioceno

Esta franja se encuentra ubicada en la parte central del cuadrángulo de Incahuasi con una dirección NO-SE. Su geología está representada principalmente por productos de los centros volcánicos de la Granja, Cañariaco y Miracosta. Litológicamente, está constituida por flujos piroclásticos y lavas andesíticas y dacíticas que se encuentran cubriendo en discordancia angular a secuencias antiguas, probablemente paleozoicas y cretácicas. Los principales yacimientos de esta franja corresponden al prospecto Jehuamarca, Peña Negra, Peña Blanca y Machaycal, que están relacionados probablemente a intrusiones del Oligoceno-Plioceno (Fig. 24).

PROSPECTO JEHUAMARCA

Se encuentra ubicado en el distrito de Cañaris, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. La zona es accesible desde Chiclayo pasando por Ferreñafe vía la carretera afirmada en dirección a Incahuasi; antes de llegar a Incahuasi, existe un desvió que conduce a la localidad de Ullurpampa, cuya ruta nos permite llegar al área del prospecto. También se puede acceder por la carretera Chiclayo-Pucará-Jaén en dirección a Cañaris; no obstante, la carretera llega hasta este último poblado, teniendo que tomar un camino de herradura con un tiempo de caminata entre 5 a 6 horas para llegar al área del proyecto.

Marco geológico

La geología del área del prospecto Jehuamarca, regionalmente, presenta un basamento de rocas volcánicas correspondientes a la Formación Oyotún del Jurásico medio a superior. Están cubiertas en forma discordante por otra secuencia de rocas volcánicas de edad paleógena, correspondientes a productos del centro volcánico La Granja, caracterizado por el desarrollo de rocas piroclásticas de composición andesítica a dacítica, intercaladas con tobas de lapilli. Estas rocas piroclásticas están débilmente deformadas, pero generalmente tienen direcciones NO-SE, mostrando un núcleo con una suave inmersión hacia el suroeste. La parte central se encuentra intensamente argilizada y silicificada (Figs. 30A, 30B y 30C).

Control estructural

Este prospecto también está controlado por el sistema de fallas regionales NS y NO-SO, que ha controlado a todo el sistema de pórfidos del norte de país; sin embargo, se diferencian localmente varias fallas paralelas entre sí de dirección NE-SO con inmersión abrupta que es intersectado perpendicularmente por otro sistema de fallas NO-SE, adicionalmente, se encuentra un sistema de fisuras de menor ramificación, de dirección NNO-SSE, y también se han observado otras de dirección NO-SE; estos sistemas de fisura apenas afectan las estructuras, por lo tanto, estas fracturas corresponden a un sistema secundario.

Alteración

La alteración en esta área se desarrolló teniendo como pasaje de los fluidos hidrotermales las fisuras. La parte central concentrada por estas fisuras está rodeada por zonas de alteración de silicificación-argilización, argilización y/o propilitización, que van desde el centro hacia el exterior (Figs. 30B y 30C). En el flanco de la zona de alteración se aprecia una zona a pequeña escala de silicificación en armonía con los planos de estratificación. Estas características fueron observadas frecuentemente en la zona de argilización, lo que sugiere que estas zonas de alteración se han desarrollado preferencialmente en los horizontes estratificados.

La alteración fue causada probablemente por el *stock* de riolita-dacita y por las brechas intrusivas que afectan a los flujos piroclásticos (Flores, 1981). La alteración cuarzo-sericita es muy local y se visualiza en el contacto de las brechas con el piroclasto, originando un halo de alteración transicional que en algunos casos llega a cuatro metros alrededor de la columna de brechas. El área de la alteración podría tener aproximadamente un radio 0.7 km, con una intensidad que va decreciendo a medida que uno se aleja de la columna de brechas.

Mineralización

Presenta dos tipos de mineralización (Flores, 1981): mineralización polimetálica de Zn-Pb-Cu y mineralización de oro asociado a vetas de cuarzo.

La mineralización polimetálica en forma de sulfuros presenta columnas de brechas rellenando fracturas, oquedades y en forma diseminada. Aparentemente, estas estructuras parecen estar estériles por la intensa alteración y lixiviación que estas han sufrido; sin embargo, análisis geoquímicos realizados en varias muestras indican valores de 8770 ppm de Pb, 134 ppm de Zn, 604 ppm de Cu y 369 ppm de Ag; estos valores se incrementan hacia los bordes del contacto transicional con los piroclastos, originando un halo de alteración cuarzo-sericita y un intenso fracturamiento tipo *stockwork*, con valores de 4822 ppm de Pb y 145 ppm de Ag.

La mineralización polimetálica de Pb-Zn-Cu-Ag, en estos volcánicos, se presenta rellenando fracturas, microfracturas y en forma diseminada, con menor proporción en los horizontes delgados de tufos. Probablemente, este control litológico se deba a la mayor permeabilidad y fracturamiento que presentan los piroclástos, lo que permite una mayor concentración y selectividad de los sulfuros económicos. Sin embargo, algunos horizontes tufáceos cercanos a las brechas están silicificados y mineralizados principalmente en los sistemas de fracturamiento, pero son casos esporádicos.

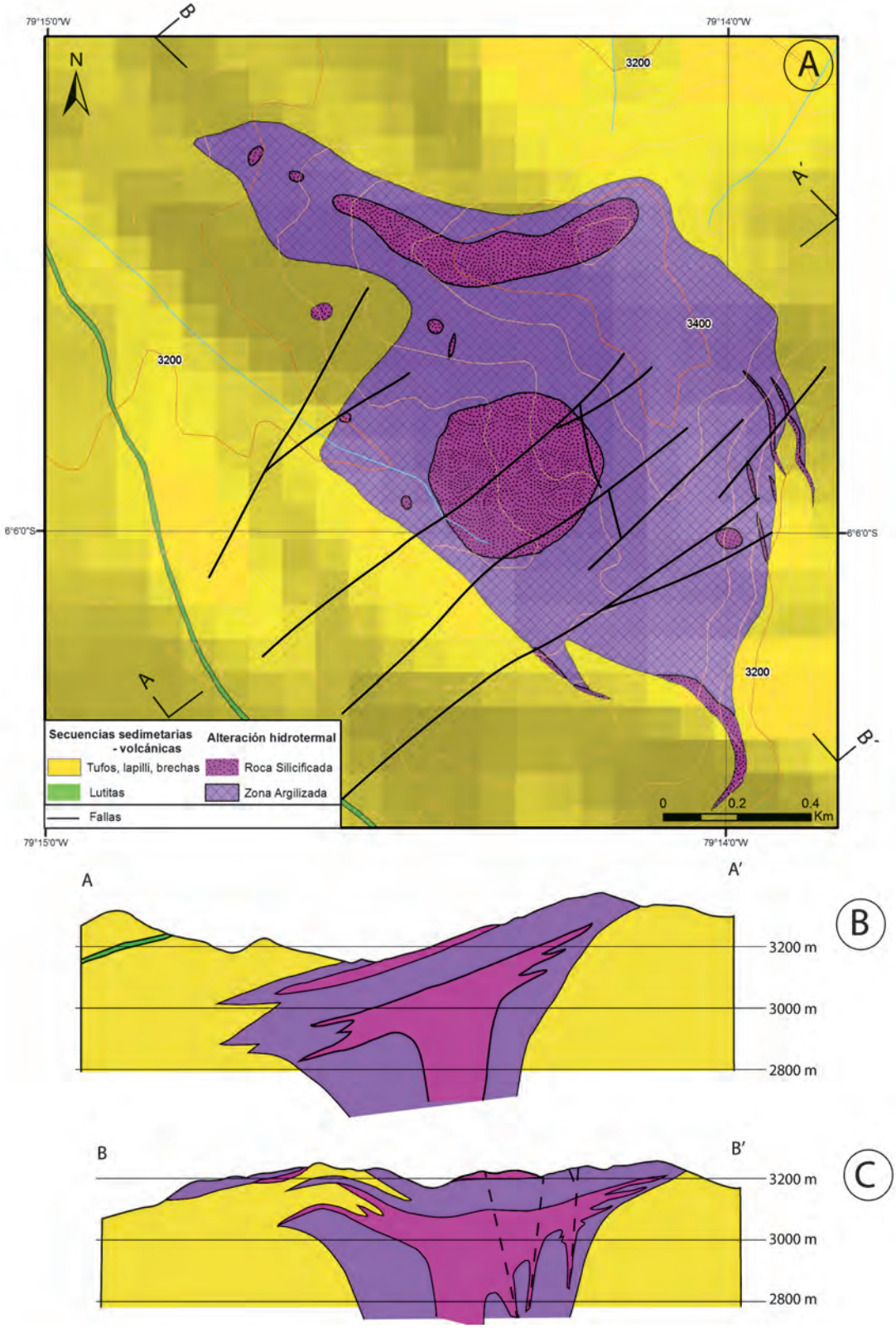


Figura 30. A) Mapa geológico detallado del prospecto Jehuamarca. B y C) Corte transversal NE-SO y NO-SE, respectivamente del área del prospecto, mostrando las zonas de alteración y la roca encajonante.

La mineralización de oro asociada a vetas de cuarzo, se caracteriza por la presencia de trazas de oro en un sistema de trazas de sílice masiva a lo largo de fallas pre-existentes de rumbo NS y buzamiento ligeramente al este, con una potencia variable de 1 a 2 m; estas vetas además cortan las columnas de brechas silicificándolas completamente, inclusive se extienden hacia los piroclastos con corridas que en algunos casos llegan a 250 m, alterando igualmente la roca caja con una silicificación de menor grado.

En el área, la alteración y mineralización desarrollada a lo largo del sistema de fisuras NO-SE y NE-SO, presenta una zona de cuarzo con valores promedios de 0.97 g/t de Au, 160.7 g/t de Ag, 0.72 % de Cu, 0.83 % de Pb y 2.54 % de Zn, y un promedio de espesor de 1.7 m. Las brechas silicificadas están asociadas a una mineralización de Au y Ag. Esta mineralización está confirmada ampliamente cerca de la cima, pero el grado cambia frecuentemente, por lo tanto, no parece ser rentable. El grado medio de la brecha silicificada extraído de testigos es de 0.58 gr/t de Au y de 0.38 gr/t de Ag.

Dentro de esta franja, existen tres principales prospectos entre los que se tienen a los prospectos Peña Negra, Machaycal y Peña Blanca, los cuales hasta las actualidad han sido poco estudiados, teniendo solo como evidencia las observaciones superficiales de campo. El prospecto más representativo de esta franja quizá sea el de Peña Blanca, que se caracteriza por ser una zona de brechas con una intensa alteración argílica con manchas de óxidos (Fotos 46A y 46B); esta franja alberga también importantes vetas de cuarzo oqueroso (Foto 47).

Franja de pórfidos de Cu-Mo, relacionados con intrusiones del Paleógeno

Esta franja se encuentra ubicada al oeste del cuadrángulo de Incahuasi. La geología está representada por secuencias de rocas sedimentarias jurásicas-cretácicas y por intrusivos paleógenos. En el área del cuadrángulo de Incahuasi no se reporta ninguna evidencia de este tipo de yacimientos; sin embargo, en su prolongación norte hacia el cuadrángulo de Olmos, esta franja metalogenética está representada por un prospecto molibdenita.

YACIMIENTOS NO METÁLICOS

El cuadrangulo de Incahuasi, particularmente los valles de Huancabamba y La Leche, se caracterizan por presentar rocas y minerales industriales como arenas, gravas, arcillas, bloques de rocas volcánicas y calizas, algunos de los cuales han sido explotados en la construcción del dique de la represa de Olmos ubicada en el cauce del río Huancabamba, asi como, en la construcción de muros de contención en zonas altamente vulnerables. Por lo tanto, la descripción de rocas y minerales industriales estará en función a la unidad geológica de la cual procede cada material.

Foto 46. A) Afloramiento de flujos brechosos. Vista tomada en el cerro Ventana. B) Alteración argílica en zonas brechosas con manchas de óxidos (limonitas).

Foto 47. Veta de cuarzo con geodas, cortando a intrusivos monzograniticos y flujos piroclásticos del centro volcánico Cañariaco (sector del Naranjo).

Referencia a la unidad geológica a la que corresponde, para lo cual se presenta un mapa de ubicación de las principales zonas prospectables.

Descripción de rocas y minerales industriales

Rocas volcánicas

Las principales canteras corresponden a los afloramientos de cuerpos volcánicos de la Formación Oyotún (Jurásico medio a superior) del área del cuadrángulo de Incahuasi (Fig. 31). Se trata de flujos piroclásticos, andesitas y dacitas cuyos afloramientos se ubican en ambas márgenes de los ríos Huancabamba y Chotano correspondientes al cuadrante I. Son estos lugares de los que actualmente se viene extrayendo grandes bloques, específicamente, de los niveles piroclásticos (Foto 48), con los que se realizan el reforzamiento de las riberas del río Huancabamba (Foto 49). Este río en épocas lluviosas incrementa su nivel de agua, causando grandes desbordes, que inclusive llegan a romper importantes tramos de la principal vía de penetración asfaltada hacia la selva amazónica. Las secuencias de lavas corresponden a andesitas y dacitas, que por lo general presentan intenso fracturamiento; estos materiales por su alta cohesión y por ser muy compactos sirven como material de cimientos en construcción de viviendas, además estos en partículas más pequeñas sirven como agregados para la mezcla con cemento en la construcción de diferentes obras civiles. Los niveles alterados son aprovechados como canteras de lastre que son usados como base para la pista asfaltada, así como, para afirmar trochas carrozables.

Las rocas volcánicas, en el valle del río La Leche, están representadas por secuencias de la Formación Tinajones (Jurásico superior - Cretácico inferior). Estas rocas de la zona presentan un fuerte fracturamiento, lo que hace su fácil explotación como canteras, que luego son usadas como lastre en el afirmado de las principales carreteras de la zona.

La amplia distribución de afloramientos correspondientes a productos de centros volcánicos paleógenos permiten tener variedad de materiales, es así que en sus niveles piroclásticos fracturados, estas rocas son utilizadas como canteras (Foto 50), que son usadas como lastre principalmente en el afirmado de las carreteras de la zona.

Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas, potencialmente, constituyen una buena fuente de rocas y minerales industriales. En el cuadrángulo de Incahuasi, los afloramientos se encuentran entre los cuadrantes I y II, están constituidos principalmente por tonalitas, granodioritas, dioritas y granitos; no obstante, solo la tonalita y el granito se preservan frescos, por lo que se puede extraer material en grandes bloques que sirvan principalmente en la construcción de muros de contención, canales de regadío, etc. Asimismo, se pueden considerar como potenciales canteras los lugares de LLaque y Hualanga, ubicados al oeste del cuadrante IV y en las márgenes del río La Leche del cuadrante III, entre los sectores de Laquipampa y Lajas. Estos mismos intrusivos por su dureza y un fuerte fracturamiento permiten extraer grandes bloques que pueden ser

aprovechables en la fabricación de lajas a veces pulidas y en el revestido de paredes y pisos.

Rocas sedimentarias

Calizas

Por el fuerte fracturamiento que presentan las calizas de las formaciones Chulec, Pariatambo y Pulluicana pueden ser utilizadas como material para el afirmado de carreteras. Estos afloramientos principalmente se encuentran en ambas márgenes del río Huancabamba; sin embargo, el único lugar accesible para una cantera es la quebrada Pandachi del sector de Cabuyas, debido a que los afloramientos están siendo cortados por la quebrada y cerca a esta pasa la carretera en dirección a Cañariaco. Gran parte de los afloramientos de estas formaciones se encuentran en las partes altas en estratos casi horizontales que forman grandes paredes subverticales a lo largo del valle de los ríos Huancabamba y Chotano, que hacen difícil su acceso y, por lo tanto, su explotación.

Ocasionalmente, se pueden obtener grandes bloques de calizas que pueden ser utilizados en muros de contención y en la fabricación de rocas ornamentales.

Areniscas

Los afloramientos de areniscas corresponden a rocas del Grupo Goyllarisquizga, los que se encuentran distribuidos indistintamente en todo el cuadrángulo de Incahuasi; sin embargo, por ser rocas antiguas han sufrido un fuerte metamorfismo. En todos los casos los granos se encuentran completamente obliterados y soldados, este metamorfismo hace que estos afloramientos sean muy compactos y resistentes, siendo difícil su explotación; no obstante, en zonas fracturadas estos pueden ser obtenidos en grandes bloques, los cuales servirán como canteras para material de muros de contención en carreteras y la construcción de represas, canales. El lugar donde pueden ser explotado estos materiales se encuentra en el cerro Lajas de Tongón del cuadrante III, lugar donde el fracturamiento ayuda a su fácil explotación, además de estar cerca a una carretera. Otra potencial cantera se encuentra en la quebrada Pandachi del sector de Cabuyas (cuadrante I).

Agregados

Estos depósitos se encuentran distribuidos a lo largo de los principales ríos del cuadrángulo de Incahuasi. En el cuadrante I, la cantera de agregados se encuentra ubicada en la intersección de los ríos Huancabamba y Chotano (Fig. 31) y a lo largo de todo el valle del río Huancabamba, un ejemplo de este es la cantera de la represa de Olmos, lugar del que se extrajo gran cantidad de arena y grava para la construcción del dique de la represa (Foto 51).

En el cuadrante III, valle del río La Leche, existen diferentes canteras de arenas y gravas, las que se encuentran como terrazas e islas a lo largo del cauce del río, material que es extraido como agregado para la mezcla con cemento en la construcción de viviendas y diversas obras civiles.

Foto 48. Cantera donde se extrae grandes bloques (flujos piroclásticos), que son usados en la construcción de muros de construcción de defensas ribereñas.

Foto 49. Pista asfaltada roto por el aumento del caudal del rio Huancabamba en el sector de Hualapamapa, en la imagen muestra la construcción de un muro de contensión con material extraido de la cantera (Foto 48).

Foto 50. Cantera de rocas piroclásticas muy fracturadas. Actualmente este material es extraido para el afirmado de la carretera hacia el prospecto Cañariaco.

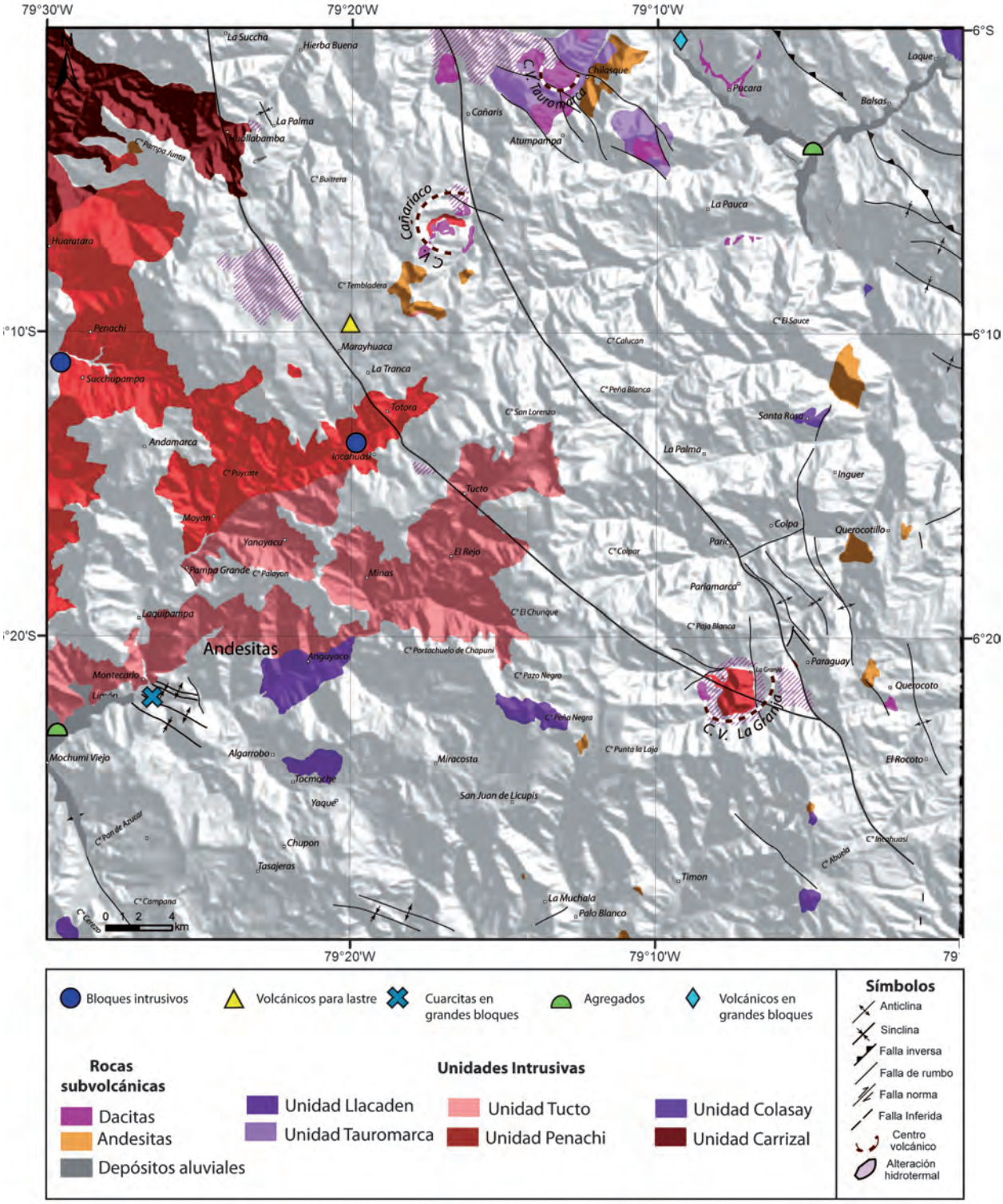


Figura 31. Mapa de rocas y minerales industriales del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Foto 51. Agregados de arenas y gravas en el cauce del rio Huancabamba, utilizados en la construcción del dique de la Represa de Olmos.

BIBLIOGRAFÍA

Aspden, J.A.; McCourt, W.J. & Brook, M. (1987) – Geometrical control of subduction - related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *Journal of the Geological Society, London*. 144(6): 893-905.

Baldock, J.W. (1977) - Low-density geochemical reconnaissance in Perú to delineate individual mineral deposits. *Institution of Mining and Metallurgy. Transactions. Section B: Applied Earth Sciences*, 86: 63-72.

Benavides, V. (1956) - Cretaceous system in northern Peru. Doctoral Thesis, Faculty of Pure Science, Columbia University. *Bulletin American Museum of Natural History*, 108(4): 353-494.

Chew, D.; Schaltegger, U.; Kosler, J.; Magna, T.; Whitehouse, M., et al. (2008) - U-Pb geochronologic evidence for the Neoproterozoic-Palaeozoic evolution of the Gondwanan margin of the North-Central Andes. EN: International Symposium on Andean Geodynamics, 7. Nice, 2008. *Extended abstracts*. Paris: IRD Éditions, p. 120-123.

Cobbing, E.J.; Pitcher, W.S.; Wilson, J.J.; Baldock, J.W.; Taylor, W.P., et al. (1981). - *The geology of the Western Cordillera of northern Peru*. London: Institute of Geological Sciences, Overseas Memoir 5, 143 p.

Cobbing, E.J. (1982) - The segmented coastal batholith of Peru: its relationship to volcanicity and metallogenesis. *Earth Science Reviews*, 18(3-4): 241-251.

Cossío, A. (1964) - Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 8, 69 p.

Dalmayrac, B.; Laubacher, G. & Marocco, R. (1977) - *Géologie des Andes Peruviennes, caracteres géneraux de l'évolution géologique des Andes Peruviennes*. Thèse Docteur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Académie de Montpellier, 361 p.

Díaz, N.; Jiménez, C.; Alva, C. (1997) - Estudio geoquímico de orientación del depósito pórfido de cobre La Granja. En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, 1997, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 25-30.

Fischer, A.G.; Doyle, R.M.; Tafur, I. & Pflucker, E. (1952) - *Geologic reconnaissance of andean front Chiclayo to Chira River*, informe inédito. Lima: Petroperú, 22 p. Report WP-6.

Flores, G. (1974) – *Geología de Pandachi, Provincia de Ferreñafe, Dpto. de Lambayeque*, informe inédito. Lima: Servicio de Geología y Minería, 5 p. (Disponible A.T. Ingemmet A0771).

Flores, G.; Zelaya, A. & Mamani, F. (1975) – Geología de Cañariaco. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (46): 65-86.

Flores, G. & Jiménez, C. (1981) – *Informe geológico del área de reserva «Jehuamarca»,* informe inédito. Lima: INGEMMET, Dirección de Geología Económica, 23 p. (disponible A.T. Ingemmet A3483)

Geyer, O.F. (1974) – Der Unterjura (Santiago-Formation) von Ekuador. *Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie Monatshefte*, 9: 525-541.

Geyer, O.F. (1980) – Die Mesozoische Magnafazies-Abfolge in den nördlichen Anden (Peru, Ekuador, Kolumbien). *Geologische Rundschau*, 69(3): 875-891.

Gustafson, L.B. & Hunt, J.P. (1975) – The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, 70(5): 857-912.

Jaillard, E. (1987) – Sedimentary evolution of an active margin during Middle and Upper Cretaceous times: the North Peruvian margin from late Aptian up to Senonian. *Geologische Rundschau*, 76(3): 677-697.

Jaillard, E. (1990) - Evolución de la margen andina en el norte del Perú desde el Aptiano superior hasta el Senoniano. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (81): 3-13.

Jaillard, E.; Bengtson, P.; Dhondt, A.V.; Laubacher, G.; Bulot, L.G. & Robert, E. (1997) - Revisión estratigráfica del Cretáceo superior del noroeste peruano. Datos preliminares, consecuencias tectónicas. En: Congreso Peruano de

Geología, 9, Lima, 1997. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 327-330.

Jaillard, E., Hérail, G., Monfret, T., Díaz-Martínez, E.; Baby, P., et al. (2000) - Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile. En: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A. & Campos, D.A., eds. *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, p. 481-559.

Jaimes, F.; Russe, E.; Navarro, J. & Bellido, F. (2008) - Distintas fases de deformación dúctil en rocas metamórficas del Complejo de Olmos y su probable edad Ordovícico: norte del Perú (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 14 & Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. *Resúmenes*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.

Jaimes, F.; Navarro, J.; Russe, E.; Santos, A. & Bellido, F. (2011) - Geología del cuadrángulo de Olmos, hoja 12-d, escala 1:50,000. *INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional*, 140, 76 p.

Jenks, W.F. (1951) - Triassic to Tertiary stratigraphy near Cerro de Pasco, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 62(2): 203-220.

Mamani, M.; Navarro, J.; Carlotto, V.; Acosta, H.; Rodríguez, J., et al (2010) - Arcos magmáticos meso-cenozoicos del Perú y su relación con ocurrencias metálicas (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco 2010. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 563-566.

Marocco, R.; Sempere, T.; Cirbian, M. & Oller, J. (1987) - Mise en évidence d'une déformation paléocene en Bolivie du Sud. Sa place dans l'évolution géodynamique des Andes Centrales. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, II, 304(18): 1139–1143.

McCourt, W.J.; Aspden, J.A. & Brook, M. (1984) - New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion, *Journal of the Geological Society London*, 141(5): 831-845.

McLaughlin, D.H. (1924) - Geology and physiography of the Peruvian Cordillera. Departments of Junin and Lima. *Geological Society of America Bulletin,* 35(3): 591-632.

Mégard, F. (1984) - The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society London,* 141 (5): 893-900.

Mourier, T. (1988) - *La transition entre Andes marginales et Andes cordilleraines a ophiolites: évolution sédimentaire, magmatique et structurale du relais de Huancabamba: 3° à 8° Lat. S; Nord Pérou-Sud Equateur*. Thése Docteur, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 301p.

Müller, A. & Steiner, L. (1976) – *Exploración en el prospecto de cobre Pandachi, Depto. Lambayeque, Perú*, informe inédito. Lima: Instituto de Geología y Minería, 51 p. (disponible A.T. Ingemmet A1799).

Myers, J.S. (1975) - Vertical crustal movements of the Andes in Peru. *Nature*, 254(5502): 672-674.

Noble, D.C.; Mckee, E.H.; Mourier, T. & Mégard, F. (1990) - Cenozoic stratigraphy, magmatic activity compressive deformation, and uplift in northern Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 102(8): 1105-1113.

Pardo, A. & Sanz, V. (1979) - Estratigrafía el curso medio del río La Leche, Departamento de Lambayeque. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (60): 251-266.

Pardo-Casas, F. & Molnar, P. (1987) - Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, 6(3): 233-248.

Pilger, R.H. (1984) - Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South American Andes. *Journal of the Geological Society London*, 141(5): 793-802.

Pitcher, W.S. (1978) - The anatomy of a batholith. *Journal of the Geological Society London,* 135(2): 157-182.

Quispesivana, L. (1986) - *Petrografía sedimentaria de la secuencia cretácica en el área de Pucará, Prov. Jaén, Dpto. Cajamarca*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. 96 p.

Reyes, L. & Caldas, J. (1987) - Geología de los cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos y Pomahuaca. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 39, 83 p.

Romeuf, N. (1994). – Volcanisme jurassique et métamorphisme en Ëquateur et au Pérou: caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques - implications géodynamiques. Thése Docteur, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, 487 p.

Romeuf, N.; Aguirre, L.; Soler, P.; Féraud, G.; Jaillard, E. & Ruffet, G. (1995) – Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes. *Revista Geológica de Chile*, 22(2): 245-259.

Schwartz, M.O. (1982) – Geochemistry of the porphyry copper

deposit at La Granja, Peru. *Geologisches Jahrbuch, Reihe D*, (57): 3-35.

Sempere, T.; Butler, R.F.; Richards, D.R.; Marshall, L.G.; Sharp, W. & Swisher, C.C. (1997) - Stratigraphy and chronology of upper Cretaceous-lower Paleogene strata in Bolivia and northwest Argentina. *Geological Society of America Bulletin*, 109(6): 709-727.

Soler, P. (1991) - El volcanismo Casma del Perú Central: cuenca marginal abortada o simple arco volcánico? En: Congreso Peruano de Geología, 7, Lima, 1991. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, t. 2, p. 659-663.

Steinmann, G. (1930) - *Geología del Perú*. Heidelberg: Carl Winters Universitatsbuchhandlung, 448 p. (Con contribuciones de R. Stappenbeck sobre yacimientos de minerales útiles; de F. Sieberg sobre los terremotos en el Perú y de C.I. Lisson en el Mapa Geológico)

Wilson, J.J. (1984) - Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional,* 38, 104 p.

Zelaya, A. & Mamani, F.; (1975) – *Estudio geológico – geoquímico del prospecto «Pandachi», Provincia Ferreñafe, Departamento Lambayeque*, informe inédito. Lima: Instituto de Geología y Minería, 19 p. (disponible A.T. Ingemmet A1516).

ANEXOS

Tabla 1

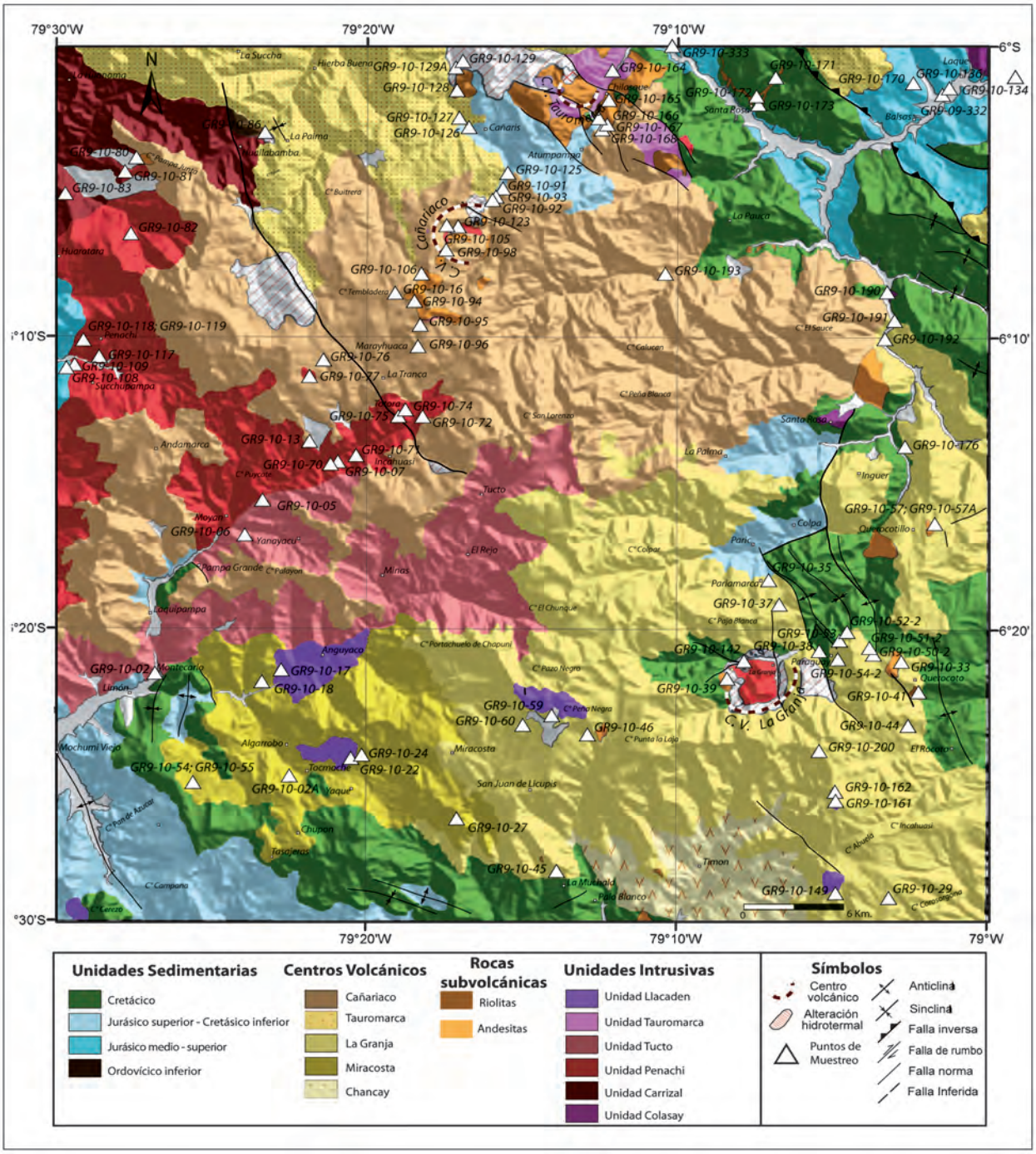
Principales unidades litoestratigráficas del cuadrángulo de Incahuasi 13-e y sus características metalogenéticas, hidrogeológicas y geotécnicas

Unidad	Litología	RMI y yacimientos	Aguas subterráneas	Peligros geológicos e ingeniería
Depósitos fluviales	arena, gravas en bancos y terrazas	Constituyen buenos agragados para la preparación de mezcla con cemento.	Son acuíferos continuos, de mediana profundidad. Son materiales porosos no consolidados de mediana a alta productividad.	Las terrazas bajas constituyen zonas propensas a inundaciones y erosiones.
Depósitos aluviales	gravas, arcillas, limos	No son recomendables.	Son acuitardos de escaso interés hidrogeológico, generalmente en laderas, de mínimo espesor y volumen.	Estas zonas son consideradas muy inestables para construcciones civiles en las laderas y, relativamente, estables en las llanuras.
Depósitos morrénicos	grandes bloques angulosos a subredondeados envueltos en una matriz arena limosa	Pueden ser utilizados en muros de contención.	Es una unidad con moderada a alta permeabilidad y moderada productividad.	Depósitos muy variables, en presencia de agua, presentan problemas de estabilidad que pueden generar huaycos.
Rocas intrusivas	gabros, dioritas, granodioritas, tonalitas, cuarzomonzodioritas, granito, cuarzo monzonitas	En rocas alteradas, presentan indicios de mineralización. En roca fresca, tanto el granito, la tonalita como el gabro, se pueden utilizar como cimientos en obras civiles.	Son formaciones de baja permeabilidad o impermeables, generalmente, extensas y que pueden albergar acuíferos puntuales por fracturas superficiales. Son rocas de escaso interés hidrogeológico.	En roca fresca muy compacta poseen buenas características para obras civiles. En rocas alteradas son muy inestables y en contacto con el agua pueden generar grandes deslizamientos.
Rocas volcánicas	flujos piroclásticos, lavas andesíticas y dacíticas	En rocas alteradas presentan indicios de mineralización, en roca fresca las andesitas y dacitas pueden utilizarse como cimiento en obras civiles.	Tienen buena permeabilidad, aunque su extensión es localizada y pueden ser consideradas de mediana productividad.	Son estables en rocas frescas con laderas de fuerte pendiente e inestable en zonas de fuerte fracturamiento y alteración, observándose deslizamientos.
Grupo Pulluicana	calizas, lutitas, areniscas	En contacto con rocas intrusivas pueden generar zonas mineralizadas tipo *skarn*.	Son acuíferos fisurados muy fracturados de mediana permeabilidad, en niveles lutíticos se comportan como roca impermeable.	Son rocas muy compactas, pero muy frágiles, en zonas con fuerte pendiente pueden generar deslizamientos de grandes bloques que aprovechan los niveles finos para deslizarse.
Formación Pariatambo	calizas	En contacto con intrusivos, se comporta como un importante yacimiento tipo *skarn.*	Son acuíferos permeables por fracturamiento de poca productividad.	Son materiales resistentes, ya que pueden soportar taludes subverticales. Cuando están fracturados son inestables y pueden generar escombros.

Tabla 1 (continuación)

Principales unidades litoestratigráficas del cuadrángulo de Incahuasi 13-e y sus características metalogenéticas, hidrogeológicas y geotécnicas

Formación Inca - Chulec	calizas	Sirven como canteras para el afirmado de carreteras. en bloques grandes se puede usar en la fabricación de rocas ornamentales	Acuíferos permeables por fisuras y karstificación.	Son materiales resistentes, rocas bastante duras y estables para la construcción de obras civiles que gran parte de estos afloramientos no implica peligros geológicos.
Grupo Goyllarisquizga	cuarcitas y areniscas cuarzosas	En niveles de cuarcitas sirve de cantera para la extracción de bloques y en niveles de arenas estas pueden ser usadas como agregados para la mezcla con cemento.	Son acuíferos permeables de alta productividad en niveles de areniscas, y acuíferos permeables por fracturamiento de baja productividad en niveles de cuarcitas.	No presentan fenómenos de movimientos en masa debido a su gran compactación y dureza, no implicando mayor peligro.
Formación Tinajones	basaltos, flujos piroclásticos, areniscas y lutitas	No registra importantes yacimientos económicos.	Son acuíferos fisurados muy fracturados de alta permeabilidad.	Son rocas bastante duras en basaltos, ligeramente compactas en flujos piroclásticos y areniscas, en basaltos recomendables como base para obras civiles, en general no implica peligros geológicos.
Formación Oyotún	andesitas, dacitas y flujos piroclásticos	Se usan en bloques grandes para muros de contención.	Son acuíferos fracturados de alta permeabilidad y baja productividad.	Son materiales resistentes, rocas bastante duras y estables para la construcción de obras civiles.
Complejo de Olmos	filitas	No registra importancia económica.	Son acuíferos fisurados muy fracturados de alta permeabilidad y baja productividad.	Presenta fenómenos de movimientos en masa como deslizamientos, huaycos, son muy inestables en obras civiles.



Mapa geológico con la ubicación de muestras con estudio de secciones delgadas.

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1 Mapa geológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e) Hojas 13-e-I.

Mapa 2 Mapa geológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e) Hojas 13-e-II.

Mapa 3 Mapa geológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e) Hojas 13-e-III.

Mapa 4 Mapa geológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e) Hojas 13-e-IV.

Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 2. Mapa geomorfológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 3. Cuadro de unidades litoestratigráficas del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 4. Columna estratigráfica de la Formación Oyotún levantada en la ruta Chiclayo – Chongoyape (Modificada de Mourier, 1988).

Figura 5. Clasificación de rocas volcánicas de las formaciones Oyotún y Tinajones, según Streckeisen, 1974.

Figura 6. Columna estratigráfica de la Formación Tinajones, levantada en el río La Leche.

Figura 7. Correlación de la Formación Tinajones de los sectores del valle del río Chicama y el valle del río Huancabamba (Modificada de Mourier, 1988).

Figura 8. Columna estratigráfica levantada en la margen izquierda del rio Huancabamba, sector de Pucara.

Figura 9. Columna estratigráfica del Cretácico, levantada en la localidad de Pucará (modificada de Quispesivana, 1986).

Figura 10. Mapa geológico del cuadrángulo de Incahuasi (13-e), donde muestran los centros volcánicos y sus productos.

Figura 11. Mapa del centro volcánico Tauromarca y la distribución de sus productos (área del cuadrángulo de Incahuasi 13-e).

Figura 12. Mapa geológico del centro volcánico La Granja con sus principales productos.

Figura 13. Mapa geológico del centro volcánico Cañariaco, donde se observa la distribución de sus principales productos.

Figura 14. Clasificación de las rocas volcánicas, correspondientes a los centros volcánicos, Cañariaco, La Granja, Tauromarca y Miracosta; según Streckeisen, 1974.

Figura 15. Mapa de unidades magmáticas del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 16. Clasificación de las rocas de las principales unidades intrusivas, del cuadrángulo de Incahuasi (13-e), según Streckeisen, 1974.

Figura 17. Mapa de dominios tectónicos del noroeste del Perú, mostrando el área del cuadrángulo Incahuasi (13-e).

Figura 18. Mapa de las unidades morfoestructurales del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 19. Mapa de ubicación de secciones estructurales por cuadrantes (cuadrángulo de Incahuasi 13-e).

Figura 20. Sección estructural SO-NE, correspondiente al cuadrante I del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 21. Sección estructural SO-NE, correspondiente al cuadrante II del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 22. Sección estructural E-O, correspondiente al cuadrante III del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Figura 23. Sección estructural SO-NE, correspondiente al cuadrante IV del cuadrángulo Incahuasi (13-e).

Figura 24. Mapa metalogenético del cuadrángulo de Incahuasi que muestra ocurrencias minerales y datos de anomalías espectrales.

Figura 25. Mapa geológico regional con la ubicación del área del cuadrángulo de Incahuasi y de los principales proyectos y prospectos mineros, y sus correspondientes yacimientos que se correlacionan al norte.

Figura 26. Mapa geológico local detallado del pórfido (Cu-Mo) La Granja. Modificado de Schwartz (1982).

Figura 27. Mapa geológico del pórfido Cañariaco norte y Cañariaco sur. Modificado de Candente Copper Corp. (2010).

Figura 28. Mapa geológico de la zona de Chilasque (Mamani & Jiménez, 1975).

Figura 29. Mapa geológico del pórfido de Cu de Pandachi (Müller & Steiner, 1976).

Figura 30. A) Mapa geológico detallado del prospecto Jehuamarca. B y C) Corte transversal NE-SO y NO-SE, respectivamente del área del prospecto, mostrando las zonas de alteración y la roca encajonante.

Figura 31. Mapa de rocas y minerales industriales del cuadrángulo de Incahuasi (13-e).

Fotos

Foto 1. Al fondo el cerro Andahuayla de la cordillera occidental en el sector de Palo Verde.

Foto 2. Altiplanicies, sector alto de Marayhuaca.

Foto 3. Valle del rio La Leche con zonas de cultivo, sector el Limón.

Foto 4. Valle del río Huancabamba, sector de Pucará.

Foto 5. Montañas de Mochumi, sector de Pampas.

Foto 6. Montañas de Pucará, sector del mismo nombre.

Foto 7. Secuencia estratigráfica que abarca el Jurásico medio a superior y gran parte de la secuencia del Cretácico inferior. Vista tomada desde el río Chotano, al frente (margen derecha del rio Huancabamba), se observa el cerro Lamparán.

Foto 8. Lavas andesíticas de la Formación Oyotún intensamente fracturadas, en la margen derecha del río Huancabamba sector de Playa Azul (cuadrante I).

Foto 9. NX **A)** GR9-10-108 **Andesita** con cristales de plagioclasas alterados por arcillas, carbonatos y minerales opacos (Plgs-Arcs-Cbs-Ops). Matriz de plagioclasas, cuarzo y arcillas (Plgs-Qz-Arc), con inclusiones de minerales opacos (Ops) diseminados. **B)** GR9-09-332 **Cuarzo andesita** con fenocristales de plagioclasas (Plgs), moldes de fenocristales alterados por cloritas, epidotas (Clos-Ep) y biotita (Bi); molde de cristal alterado por carbonatos (Cbs) en matriz de cuarzo, plagioclasas con epidotas intersticiales (Plgs-Qz-Ep); minerales opacos diseminados (Ops). **C)** GR9-09-334 **Riolita** con cristales de plagioclasas alterándose a arcillas (FKs-Arc), biotita (Bi) y esferulitos constituidos por feldespatos alterados a arcillas (FKs-Arcs). Ocurre también vetillas de calcedonia (Ccd) que corta a cristales de plagioclasas. **D)** GR9-09-336 **Cuarzo andesita porfirítica** con fenocristales de plagioclasas alterados a sericita y epídotas (Plgs-Ser-Ep), moldes de fenocristales alterados a carbonatos (Cbs) o cloritas (Clos) en matriz de plagioclasas, cuarzo, arcillas y cloritas; minerales opacos diseminados (Ops).

Foto 10. Secuencia estratigráfica de la Formación Tinajones debajo de cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga en el sector del Cerro El Cerezo (cuadrante III).

Foto 11. Secuencias de arenas cuarzo feldespáticas de la Formación Tinajones, a lo largo de la carretera Olmos-Jaén (cuadrángulo de Pomahuaca 12-e).

Foto 12. A) Lutitas negras. B) Flujos piroclásticos C) Flujos piroclásticos con troncos fósiles. D) Lutitas con restos de icnofósiles E) cuarcitas blancas con laminaciones paralelas. F) volcánicos retrabajadas con restos de especies sin determinar.

Foto 13. **A)** Andesitas basálticas de la Formación Tinajones (sector de Gramalote). **B)** GR9-10-125 **andesita basáltica**, ocurren fenocristales de plagioclasas (Plgs), piroxenos (Pxs) en matriz compuesta por plagioclasas con piroxenos y pequeños minerales opacos diseminados (Pgls-Pxs-Ops). **C)** GR9-10-93 **lutitas silicificadas** con bandas claras de sericita, cuarzo, arcillas y minerales opacos diseminados (Ser-QzIII-Arcs-Ops), intercaladas con bandas oscuras en las que se observa, arcillas y minerales opacos diseminados (Arcs-Ops), vetillas rellenas por cuarzo (Qz IV), en la que se pueden apreciar moldes alterados por micas y óxidos de hierro (Mcs-OxsFe).

Foto 14. Cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga en el valle del río La Leche que muestra paredes verticales en ambas márgenes del valle, al fondo presenta ligero plegamiento.

Foto 15. Anticlinal del sector El Palto, donde se observa en el núcleo afloramientos de cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga, cubiertos en su flanco izquierdo por secuencias carbonatadas de las formaciones Inca-Chulec y Pariatambo.

Foto 16. Contacto concordante de la Formación Oyotún y el Grupo Goyllarisquizga, noreste de Pucara.

Foto 17. Cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga, mostrando grandes laminaciones oblicuas (sector de Cabuyas).

Foto 18. Margen derecha del río Huancabamba, frente al poblado de Pucará que muestra afloramientos de rocas de la Formación Oyotún (Jurásico medio a superior), cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano), secuencias carbonatadas de las formaciones Inca-Chulec, Pariatambo y el Grupo Pulluicana (Cretácico inferior a superior).

Foto 19. Secuencias estratigráficas de las formaciones Inca-Chulec, mostrado en uno de los flancos del anticlinal del sector de Agua Colorada (cuadrante III), el núcleo corresponde a cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga.

Foto 20. **A)** Secuencia rítmica de calizas bituminosas en estratos delgados de la Formación Pariatambo, sector Sunsho - Tayal (cuadrante III). **B)** Cara frontal de ammonite dentro de nódulos esferoidales. **C)** Cara lateral del mismo ammonite *Oxytropidoceras* (*Oxytropidoceras*) cf. O. (O.) *carbunarium* (GABB).

Foto 21. Flujos piroclásticos del centro volcánico Tauromarca, sector de la quebrada Tocras. Vista tomada hacia el NE, desde la localidad del Sauce.

Foto 22. Secciones delgadas con luz polarizada. **A) Porfido andesítico** (GR9-10-126), con fenocristales de plagioclasas alterados por cloritas y arcillas (Plgs-Clos-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas (Clos) en matriz de feldespatos, vidrio volcánico, minerales opacos y cloritas (FKs-Vd-Ops-Clos). **B) Toba cristalolítica** (GR9-10-126), con fragmento de roca volcánica, fenocristales de plagioclasas en matriz también de plagioclasas con óxidos de fierro (Frag. Lítc.(Plgs-OxsFe)), cristales de plagioclasas silicificadas (Plgs-QzI) y minerales opacos (Ops) diseminados en matriz de plagioclasas, cuarzo y cloritas (Plg-QzII-Clos), finas venillas de cuarzo (QzIII). **C) Dacita** (GR9-10-128) con fenocristales de plagioclasas (Plgs) y cuarzo (Qz) en matriz constituida por cuarzo y plagioclasas (Qz-Plgs). **D) Latita** (GR-10-129A), con fenocristales de plagioclasas alterados por arcillas (Plgs- Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas (Clos) en matriz de feldespatos, cuarzo, vidrio volcánico y minerales opacos alterados por cuarzo, cloritas y arcillas (FKs-QzI-Vd-Ops-QzIII-Clos-Arcs). **E) Andesita** (GR9-10-165), con fenocristal de plagioclasas (Plgs) y molde de fenocristales alterado por sericita (Ser) en matriz de plagioclasas, anfíboles, vidrio volcánico, cuarzo y minerales opacos (Plgs-Anfs-Vd-QzI-Ops). Se observan vetillas rellenas por feldespatos potásicos, cuarzo y epídotas (FKs-QzII-Ep). **F) Porfido andesítico** (GR9-10-166), con fenocristales de plagioclasas alterados por sericita (Plgs-Ser) y de anfíboles alterados por cloritas y epídotas (Anfs-Clos-Ep) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico, cuarzo y anfíboles (Plgs-Vd-QzI-Anfs). Se observan vetillas de feldespatos potásicos con escasas epídotas (FKs-Ep).

Foto 23. Flujos piroclásticos con pómez y líticos del segundo evento, cerca al poblado de Huambos.

Foto 24. Flujos piroclásticos del tercer evento, correspondientes al centro volcánico La Granja, donde se encuentran cubriendo a secuencias sedimentarias cretácicas y cortados por cuerpos subvolcánicos andesíticos, al fondo el río Chotano y el sector de las Juntas.

Foto 25. Secuencias volcánosedimentarias del tercer evento, tomada de la parte alta de San Juan de Licupis.

Foto 26. Secuencia de flujos piroclásticos del quinto evento. Vista tomada desde el sector de Miracosta en dirección al NO hacia el cerro Portachuelo de Chapuni.

Foto 27. Centro volcánico La Granja y la ubicación de los principales productos: **A)** Pórfido cuarcífero, **B y C)** Zonas de alteración coronando las márgenes del pórfido, **D)** Flujos piroclásticos ricos en cristales de cuarzo, E) Roca intensamente alterada por cloritas y epidotas, **F)** Flujo litocristalino, donde se observa fragmentos líticos con óxidos de hierro, **G)** Tufo cristalolítico, **H)** Flujos piroclásticos ricos en cristales de cuarzo y biotita.

Foto 28. Con luz natural: **A) Andesita** (GR9-10-60), con fenocristales de plagioclasas alterados por epídotas y cloritas (Plgs-Ep-Clos) y moldes de fenocristales alterados por cloritas y epídotas (Clos-Ep), matriz de plagioclasas, cloritas, epídotas y minerales opacos finamente diseminados (Plgs-Clos-Ep-Ops), vetillas de epídotas (Ep). **B) Pórfido andesítico (**GR9-10-162), con fenocristales de plagioclasas (Plgs) y piroxenos (Pxs), algunos rodeados por minerales opacos (Pxs-Ops) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico y minerales opacos (Plgs-Vd-Ops). **C) Andesita porfirítica** (GR10-54-2), con fenocristales de plagioclasas alterados por arcillas (Plgs-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas, epídotas y minerales opacos (Clos-Ep-Ops) en matriz constituida por plagioclasas y vidrio volcánico (Plgs-Vd). **D) Dacita** (GR9-10-41), con fenocristales de cuarzo (QzI), plagioclasas alteradas por sericita y arcillas (Plgs-Ser-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por cloritas y epídotas, en matriz cuarzo feldespatos, vidrio volcánico, cloritas y arcillas (QzI-FKs-Vd-Clos-Arcs. **E) Porfido riolítico** (GR9-10-39), con fenocristales de cuarzo (Qz), muscovita (Mus) y moldes de fenocristales alterados por sericita, arcillas y óxidos de fierro (Ser-Arcs-Oxs-Fe) en matriz constituida por feldespatos, cuarzo, sericita y arcillas (FKs-Qz-Ser-Arcs). **F) Toba cristalolítica** (GR9-10-37), con fragmento de roca volcánica alterado por arcillas (Frag.Lítc. (Arcs)) y cristales de plagioclasas alterados por epídotas (Plgs-Ep) y molde alterado por epídotas (Ep) en matriz de feldespatos, vidrio volcánico, cuarzo secundario, sericita y arcillas (FKs-Vd-Qz-Ser-Arcs). **G) Toba de lapilli** (GR9-10-51-2), con fragmentos de roca volcánica (Frag. Lítc.) constituida por fenocristales de plagioclasas en matriz de vidrio volcánico y arcillas (Vd-Arcs), cristales de plagioclasas alterados por sericita (Plgs-Ser) y moldes alterados por cloritas (Clos) en matriz de plagioclasas y vidrio volcánico (Plgs-Vd). Ocurren minerales opacos diseminados (Ops). **H) Toba cristalo vitrica** (GR9-10-29), con cristales y fragmentos de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), de pumita (Pum) y de biotita (Bi) en matriz vítrea parcialmente devitrificada por arcillas y sericita (Vd-Arcs-Ser). **I) Toba litocristalina** (GR9-10-52-2), con moldes de fragmentos líticos (Frag. Lítc.) en el que se observa fenocristales de plagioclasas (Plgs) y moldes alterados por epídotas (Ep) en matriz de plagioclasas alteradas por arcillas y cloritas (Plgs-Arcs-Clos). La matriz de la roca está compuesta de plagioclasas, arcillas y epídotas (Plgs-Arcs-Ep).

Foto 29. Flujos piroclásticos de composición dacítica, correspondientes al primer evento eruptivo del centro volcánico Cañariaco, en el sector del cerro Concache (cuadrante IV).

Foto 30. Flujos piroclásticos del segundo evento eruptivo, correspondiente al centro volcánico Cañariaco. Vista mirando al sur de la localidad de Chilvaca (cuadrante IV).

Foto 31. Flujos piroclásticos cubriendo a granitos de la Unidad Carrizal, sector del Naranjo-Chimana (cuadrante IV).

Foto 32. Lavas andesíticas y andesitas basálticas bien estratificadas, del sector del cerro Tembladera, ruta hacia el Proyecto Cañariaco.

Foto 33. Al fondo en la parte alta el cerro Limpiag, se observa flujos piroclásticos en estratos gruesos correspondientes al quinto evento (cuadrante IV).

Foto 34. **A) Pórfido dacitico** (GR9-10-98), con fenocristales de cuarzo (Qz) microfracturado y ligeramente corroído por la matriz, plagioclasas (Plgs) fracturadas y alteradas, rellenado por arcillas-cloritas (Arcs-Clos), moldes (M) de fenocristales

ferromagnesianos, alterados totalmente por las cloritas, matriz microgranular de cuarzo-plagioclasas y feldespatos potásicos argilizados (Qz-Plgs-FKs), agregados de granos de arcillas criptocristalina, biotita (Bi) y minerales opacos diseminados (Ops). **B) Andesita porfirítica** (GR9-10-16), con fenocristales de plagioclasas (Plgs) en matriz de plagioclasas alteradas por cuarzo y cloritas (Plgs-Qz-Clos), epidotas y cuarzo (Ep-Qz) rellenando fractura. **C) Andesita basáltica** (GR9-10-76), con fenocristal de plagioclasas cloritizadas y microfracturas rellenas por óxidos de fierro (Plgs-Clos-OxsFe) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico, minerales opacos, piroxenos, cloritas y óxidos de fierro (Plgs-Vd-Ops-Pxs-Clos-OxsFe), vetillas rellenas por carbonatos (Cbs) y minerales opacos (Ops) en sus bordes. **D) Cuarzo andesita silicificada** (GR9-10-94), con fenocristales de plagioclasas alteradas por sericita, carbonatos, cloritas y arcillas (Plgs-Ser-Cbs-Clos-Arcs) y moldes de fenocristales alterados por epídotas (Ep) en matriz constituida por plagioclasas, cuarzo primario y alterada por cuarzo, carbonatos y arcillas (Plgs-QzI-QzIII-Cbs-Arcs). Se observan minerales opacos (Ops) diseminados. **E) Andesita porfirítica** (GR9-10-96), con fenocristales de plagioclasas alterados por carbonatos (Plgs-Cbs) o por epídotas (Plgs-Ep) y moldes alterados por epídotas (Ep) en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico y minerales opacos finamente diseminados (Plgs-Vd-Ops), vetillas de epídotas con cuarzo (Ep-Qz II) y cavidades rellenas por cloritas con epídotas en sus bordes (Clos-Ep). **F) Roca volcánica alterada a cuarzo y biotita** (GR9-10-13), con fragmentos de roca volcánica alterado por epídotas, cloritas, biotita y óxidos de fierro (Frag. Lítc.(Ep-Clos-Bi-OxsFe)) así como cristales de plagioclasas argilizadas. (Plgs-Arcs) en matriz de plagioclasas, cuarzo y biotita intersticial (Plgs-QzIII-Bi).

Foto 35. Flujos piroclásticos del tercer y cuarto evento. Al fondo flujos piroclásticos del quinto evento con estratificación en estratos gruesos. Vista tomada mirando al sureste el cerro Lipiag (cuadrante IV).

Foto 36. Secciones delgadas con nicoles cruzados: **A) Andesita (GR9-10-02A)**, con fenocristales de plagioclasas alterado por epidotas (Plgs-Ep), matriz de plagioclasas con minerales opacos diseminados y epidotas intersticiales (Plgs-Ops-Ep). **B) Dacita** (GR9-10-22), con fenocristales de plagioclasas (Plgs), piroxenos alterados por cloritas (Pxs-Clos) y anfíboles (Anfs) en matriz constituida por plagioclasas, cuarzo, vidrio volcánico, minerales opacos diseminados, cloritas y epídotas (Plgs-QzI-Vd-Ops-Clos-Ep). **C) Toba cristalolítica** (GR9-10-54), de fragmentos de areniscas con cemento de sericita (Frag. Lít.), cristal de plagioclasas alterados por carbonatos (Plgs-Cbs) y fragmentos de cuarzo (QzI) en matriz fluidal compuesta por vidrio volcánico, plagioclasas, cuarzo y arcillas (Vd-Plgs-QzIII-Arcs). **D) Toba andesítica** (GR9-10-27), con fragmento de roca volcánica, en la que se encuentran fenocristales de plagioclasas en matriz de plagioclasas alteradas por arcillas y óxidos de fierro (Frag. Lítc. (Plgs-Arcs-OxsFe)), observándose cristales de plagioclasas alterados por sericita (Plgs-Ser) en matriz constituida por plagioclasas, vidrio volcánico, cuarzo, micas y arcillas (Plgs-Vd-QzI-Mcs-Arcs). Se observan minerales opacos diseminados (Ops). **E) Toba litocristalina** (GR9-10-18), con fragmento de granito (Frag. Lít.), cristales de cuarzo primario (QzI), plagioclasas (Plgs) y molde de cristales alterados por epidotas (Ep), matriz de cuarzo, plagioclasas, arcillas y epidotas.

Foto 37. Afloramientos de la Unidad Carrizal, en el sector de Huanama, donde se observa la intensa alteración por intemperismo. Al lado derecho de la foto se puede ver el contacto fallado con el Complejo de Olmos; al lado izquierdo secuencias de flujos piroclásticos paleógenos cubriendo al cuerpo intrusivo.

Foto 38. Sección delgada con luz polarizada de una granodiorita (GR9-10-83) con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), feldespatos potásicos (FKs) y anfíboles (Anfs) parcialmente reemplazados por biotita (Bi) y minerales opacos (Ops) diseminados.

Foto 39. Sección delgada con luz polarizada de una granodiorita (GR9-10-134), con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), feldespatos potásicos (FKs) y biotitas alteradas por cloritas (Bi-Clos). Ocurren también minerales opacos (Ops) como inclusiones en biotita.

Foto 40. **A)** Sección delgada con nicoles cruzados de un **cuarzo diorita** (GR9-10-05), con cristales de plagioclasas (Plgs), anfíboles (Anfs) y biotita (Bi) con inclusiones de minerales opacos (Ops) y cuarzo (Qz). **B) Tonalita** (GR9-10-82), con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo primario (Qz), piroxenos (Pxs) parcialmente reemplazados por anfíboles (Anfs) y cristales de biotita (Bi) con inclusiones de minerales opacos (Ops). **C) Monzogranito** (GR9-10-109), constituido por cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), feldespatos potásicos (FKs), biotita (Bi) y anfíboles (Anfs), minerales opacos

(Ops) y biotita como inclusiones en anfíboles. **D) Cuarzo monzodiorita** (GR9-10-75), se observan cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), piroxenos (Pxs) y minerales opacos (Ops) diseminados.

Foto 41. Afloramiento de roca fresca de composición tonalítica, en la margen derecha del rio La Leche, cerca de la localidad de Puycate Alto.

Foto 42. Secciones delgadas con nicoles cruzados **A) Sienogranito** (GR9-10-06), con cristales de feldespatos potásicos (FKs), cuarzo primario (Qz) y de biotita (Bi) con inclusiones de plagioclasas (Plgs) y minerales opacos (Ops), también ocurre apatito (Ap) en intersticios. **B) Sienogranito** (GR9-10-02), con intercrecimiento gráfico de cuarzo con feldespatos potásicos (Qz-FKs), que se encuentran alterados por arcillas (Arcs), plagioclasas (Plgs) y biotita (Bi).

Foto 43. Sección delgada con nicoles cruzados **A)** Gabro (GR9-10-17), con cristales de plagioclasas (Plgs), opacos (Ops) reemplazando parcialmente a los piroxenos (Pxs). **B)** Granodiorita (GR9-10-59), con cristales de plagioclasas (Plgs), cuarzo (Qz), piroxenos (Pxs), así como, minerales opacos (Ops) diseminados.

Foto 44. **A)** Pórfido La Granja. Vista mirando al norte, donde muestra la zona de intensa alteración argílica. **B)** Roca volcánica intensamente alterada por cuarzo-sericita (GR9-10-142), donde se observa fenocristales de cuarzo primario (QzI) y moldes alterados por sericita (Ser) en matriz intensamente alterada por cuarzo y sericita (QzII-Ser). Se observan venillas de óxidos de fierro (OxsFe). **C)** Roca intensamente sericitizada y argilizada (GR9-10-39), con fenocristales de cuarzo (Qz), muscovita (Mus) y moldes de fenocristales alterados por sericita, arcillas y óxidos de fierro (Ser-Arcs-OxsFe) en matriz constituida por feldespatos, cuarzo, sericita y arcillas (FKs-Qz-Ser-Arcs).

Foto 45. **A)** Vetillas de turmalina cortando el pórfido dacítico. Vista tomada en la carretera hacia el campamento del Proyecto Cañariaco. **B)** Brecha de turmalina. **C)** Brechas de rocas intrusivas. **D)** Muestra (GR9-10-117), roca intensamente alterada por turmalina (Tur) y cuarzo (Qz), observándose minerales opacos (Ops) diseminados y en venilla.

Foto 46. A) Afloramiento de flujos brechosos. Vista tomada en el cerro Ventana. B) Alteración argílica en zonas brechosas con manchas de óxidos (limonitas).

Foto 47. Veta de cuarzo con geodas, cortando a intrusivos monzograniticos y flujos piroclásticos del centro volcánico Cañariaco (sector del Naranjo).

Foto 48. Cantera donde se extrae grandes bloques (flujos piroclásticos), que son usados en la construcción de muros de construcción de defensas ribereñas.

Foto 49. Pista asfaltada roto por el aumento del caudal del rio Huancabamba en el sector de Hualapamapa, en la imagen muestra la construcción de un muro de contensión con material extraido de la cantera (Foto 48).

Foto 50. Cantera de rocas piroclásticas muy fracturadas. Actualmente este material es extraido para el afirmado de la carretera hacia el prospecto Cañariaco.

Foto 51. Agregados de arenas y gravas en el cauce del rio Huancabamba, utilizados en la construcción del dique de la Represa de Olmos.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Av. Canadá 1470, San Borja, Lima 41, Perú
Teléfono:051-1-618-9800
Fax:051-1-225-3063 / 051-1-225-4540
http: www.ingemmet.gob.pe
e-mail: comunicacion@ingemmet.gob.pe