

CARACTERÍSTICAS METALOGÉNÉTICAS DE LOS YACIMIENTOS ASOCIADOS AL GRUPO CALIPUY EN EL NORTE DEL PERÚ, DEPARTAMENTOS DE LA LIBERTAD Y ANCASH

Pedro NAVARRO
INGEMMET, Dirección de Geología Regional. Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú.
pnavarro@ingemmet.gob.pe

RESUMEN

Los yacimientos y ocurrencias minerales asociadas al volcanismo Calipuy se encuentran alojadas en los depósitos volcánicos emitidos por diferentes centros eruptivos emplazados a partir del Eoceno al Mioceno. Dichos depósitos presentan mineralización epitermal de alta y baja sulfuración y de tipo pórfido. Por ejemplo: Machacala, Salpo, Urumalqui, Alto Dorado y Tres Cruces.

Las principales estructuras que comprenden fallas y pliegues, tienen direcciones predominantes NO-SE y secundarias de E-O. Las cuales son cortadas casi perpendicularmente por fallas menores que tienen rumbos NE-SO y N-S. Precisamente en la intersección de estos sistemas estructurales se emplazan los cuerpos minerales. No obstante hay que sumar los factores litoestratigráfico, consistente en las rocas favorables que albergan la mineralización; y el mineralógico que permiten la reacción química entre los fluidos ascendentes y los componentes de las rocas, permitiendo la depositación de la mineralización.

De modo tal que en base a los factores antes mencionados, además de la caracterización mineralógica de cada depósito, se establecen los siguientes tipos de yacimientos relacionados al volcanismo Cenozoico del Grupo Calipuy: Epitermales en ambiente volcánico y sedimentario, Pórfidos y Pórfido-Epitermal. Por consiguiente se delimitan tres franjas metalogénéticas: Volcánica Aurífera, Sedimentaria Aurífera y Pórfido Cuprífera-Mo con enriquecimiento de Au y/o Ag.

Según las edades de mineralización localizados en la zona de estudios, comprendidas entre los 20 Ma (Michiquillay) hasta aproximadamente 10 Ma (Yanacocha), se establece una faja mineralizante del Mioceno.

ABSTRACT

Deposits and mineral occurrences related with Calipuy volcanism are hosted in volcanic sequences erupted from indistinct Eocene to Miocene eruptive centers. These deposits show high and low sulfidation epithermal mineralization and porphyry. For example: Machacala, Salpo, Urumalqui, Alto Dorado and Tres Cruces.

The main structural features are faults and folds with NW-SE and E-W trendings. Some of them are crossed by a minor fault system NE-SW and N-S trending. Indeed around the intersection between both structural systems are hosted mineral deposits. Despite, it necessary adds lithostratigraphy and mineralogical control, both allow mineralization.

So that, previous factors mentioned in addition mineralogical characterization of each deposit, established following kinds of mineral deposits: Volcanic and Sedimentary Epithermals, Porphyries and Porphyry-Epithermal. Therefore outcropping three metalogenetical belts: Auriferous Volcanic, Auriferous Sedimentary, Porphyry Cu-Mo enriched Au-Ag.

According to mineralization ages located in the zone, included from 20 Ma (Michiquillay) to 10 Ma (Yanacocha) a Miocene belt is established.

INTRODUCCIÓN

En el Norte del Perú, desde el departamento de Ancash, atravesando La Libertad y Cajamarca por la Andes Occidentales y extendiéndose hasta el Ecuador se reconoce la existencia de una franja metalogenética que tiene aproximadamente 40 a 75 Km. de ancho. En ella se encuentran un importante número de yacimientos minerales de oro, cobre-oro, y en menor proporción plata-oro-cobre-zinc-plomo (Kihien, 1997). Los yacimientos están albergados en centros volcánicos erosionados del Grupo Calipuy o en rocas sedimentarias del Mesozoico intruídas por cuerpos subvolcánicos y asociados a los eventos volcánicos. Generándose depósitos con características epitermales de alta y baja sulfuración, pórfidos, polimetálicos y zonas de alteración hidrotermal.

A principios de la década de los ochenta en la zona Norte del área de estudio se descubrió el yacimiento diseminado de Au-Ag de Yanacocha. Sus depósitos minerales se encuentran alojados en secuencias piroclásticas miocénicas asignadas al Grupo Calipuy. Habiendo registrado una producción de 3.3 Moz/Au en el 2005 y con reservas de 20 Moz/Au (Loayza, comunicación oral), considerando sólo los depósitos alojados en óxidos. En la década de los noventa en el departamento de Ancash se localiza un yacimiento con similares características a Yanacocha: Pierina. Este yacimiento se encuentra alojado también en secuencias piroclásticas miocénicas del Grupo Calipuy. En el año 2004 su producción fue de 0.65 Moz/Au. Para el año 2005, se estimó una producción entre 0.61 y 0.62 Moz/Au. Pierina tiene reservas estimadas en 2.5 Moz/Au (Barrick Gold Corporation, 2005).

Los yacimientos de Yanacocha, Sipán, Pierina y Tantahuatay se encuentran relacionados a centros eruptivos tales como volcanes, calderas y domos (Vidal & Cabos, 1983; Candiotti & Guerrero, 1997; Klein et al., 1997, Noble et al., 1997). Los yacimientos se han desarrollado generalmente en las intersecciones de fallas y fracturas con direcciones Noroeste y Noreste. Estos yacimientos se caracterizan por tener bajas leyes, las cuales oscilan entre 1 a 3 g/T Au, albergadas en rocas piroclásticas y lávicas. Los mayores valores de Au se encuentran asociados a zonas de sílice residual (*vuggy silica*, *massive silica*, *granular silica*). Por lo tanto el Grupo Calipuy, desde el punto de vista económico, se constituye en un metalotecto principalmente aurífero muy importante en el Norte del Perú.

Estudios recientes llevados a cabo por INGEMMET, correspondientes al Proyecto GR-4 "Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) y su asociación con los Yacimientos Epitermales, Norte del Perú" han identificado que los yacimientos minerales, como Machacala, Sulcha, Uromalqui, Quiruvilca, Tres Cruces, etc., están localizados en las inmediaciones de centros eruptivos.

Las principales estructuras que corresponden a fallas y pliegues, tienen direcciones principales NO-SE y secundarias de E-O, cortadas casi perpendicularmente por fallas menores que tienen rumbos NE-SO y N-S. Los factores litoestratigráficos, consistentes en las rocas favorables que albergan la mineralización y los factores mineralógicos que permiten la reacción química entre los fluidos ascendentes y los componentes de las rocas, han permitido la depositación de los minerales económicos.

Según los factores antes mencionados, sumados a la caracterización mineralógica de cada ocurrencia, es posible agrupar los distintos depósitos minerales en los siguientes tipos de yacimientos: epitermales en ambiente volcánico, en ambiente sedimentario, pórfidos y pórfido-epitermal.

UBICACIÓN

El área de estudios está situada en el Norte del Perú, comprendiendo parte de los departamentos de Cajamarca, La Libertad y Ancash. Entre las coordenadas: 7°20' - 9°25' Latitud Sur; 77° 30' - 78° 45' Longitud Oeste (Fig. 1).

MARCO GEOLÓGICO

Las unidades correspondientes al contexto geológico regional han sido agrupadas en: Pre-Cenozoicas y Cenozoicas, para su mejor entendimiento (Fig. 2).

PRE- CENOZOICO

Corresponde a numerosos depósitos de rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias e intrusivas que conforman el basamento del volcanismo Calipuy, cuyas edades comprenden desde el Titoniano al Maastrichtiano.

Las unidades sedimentarias se localizan principalmente al Este y NE de la zona de estudio y están constituídas por pizarras, areniscas, lutitas, calizas y conglomerados correspondientes al Grupo Chicama (Titoniano) y a las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat (Valanginiano - Aptiano) y Huaylas (Maastrichtiano). Forman sistemas de pliegues y fallas, cuyas direcciones oscilan entre N 135° y N 90°, conformando parte del sector Sur de la deflexión de Cajamarca.

Hacia la zona Oeste se han reconocido diversas secuencias volcano-sedimentarias correspondientes al Grupo Casma (Albiano). Consiste en lavas almohadilladas andesíticas, hialoclastitas, flujos piroclásticos, areniscas y calizas, intruídas por diques y sills andesíticos y basálticos emplazados en un medio marino (Petford & Atherton, 1995). Intruídas por el Batolito de la Costa, consistente en tonalitas, sienogranitos y granodioritas que representan dos eventos magmáticos: El primero, ocurrido entre 100 - 60 Ma. El segundo, de edad Eocena - Miocena, ocurrida a partir de 55 - 50 Ma (Vidal, 1980; Cobbing, 2000).

CENOZOICO

Corresponden principalmente a los depósitos lávicos y piroclásticos del Grupo Calipuy, emitidos por diversos centros eruptivos. Sus afloramientos se localizan a lo largo de la Cordillera Occidental de los Andes del Norte del Perú y fueron emplazados entre aproximadamente 54 y 8 Ma: Eoceno al Mioceno (Cossío, 1964; Wilson, 1975; Farrar & Noble, 1976; Noble et al., 1990).

El emplazamiento de los centros volcánicos Calipuy corresponde a cuatro etapas eruptivas separadas por ligeras discordancias erosionales vinculadas posiblemente a periodos de deformación.

Etapa I - Volcanismo Eoceno

Corresponde a la parte basal del volcanismo Calipuy, y está caracterizado por secuencias volcano-sedimentaria subhorizontales y plegadas, denominadas Secuencia Tablachaca. Está constituida por depósitos de flujos piroclásticos y lavas andesíticas, intercaladas en la parte media y superior con niveles de areniscas, limolitas, lutitas y calizas lacustrinas.

La secuencia Tablachaca está intruida en el sector de Pasachique por un cuerpo subvolcánico datado por el método Ar/Ar en cristales de biotita en 35.2 ± 0.4 Ma, por consiguiente se asume que probablemente se emplazó en el Eoceno.

Etapa II - Volcanismo Oligoceno Inferior - Medio

Agrupar a los depósitos lávicos y piroclásticos de los volcanes Ulto Cruz-Ticas, Macón, Matala, San Pedro y Salpo; a las secuencias piroclásticas y volcanoclásticas Pucacoto, Jatuncunca, Sogopegan, Huaraday, Pajillas, Monyugo y San José; y a los depósitos piroclásticos correspondientes a la Caldera Carabamba.

Los depósitos piroclásticos de la Caldera Carabamba están intruidos por cuerpos subvolcánicos datados por los métodos Ar/Ar y K/Ar en cristales de anfíbol y en roca total, respectivamente, reportando edades de 27.0 ± 0.4 Ma y 27.3 ± 0.9 Ma. Por lo tanto, se les asigna una edad correspondiente al Oligoceno Inferior.

Etapa III - Volcanismo Oligoceno Superior – Mioceno Temprano

En este periodo se emplazaron los volcanes Cururupa, Paccha, Alto Dorado, Totorá I y Upillao-Rushos; la secuencia piroclástica Angasmarca y la Caldera Calamarca.

Los depósitos lávicos de los volcanes han sido datados por el método Ar/Ar sobre cristales de anfíbol reportando una edad de 23.47 ± 0.3 Ma. Por consiguiente se asume que fue emplazado en el Oligoceno Superior.

Etapa IV - Volcanismo Mioceno

En esta etapa eruptiva se emplazaron los volcanes Payhual-Caupar, Quiruvilca, Quesquenda, Totorá II, Piedra Grande y Urumalqui.

Un flujo de lava emitido por el volcán Totorá II fue datado por el método Ar/Ar en cristales de plagioclasa, reportando una edad de 18.7 ± 0.4 Ma. Así mismo, una pómez tomada de un depósito de flujo piroclástico del Volcán Quesquenda fue datada por el método Ar/Ar en cristales de plagioclasa, reportando una edad de 19.5 ± 0.5 Ma. Correspondiendo al Mioceno Inferior.

Stocks

Corresponden a cuerpos subvolcánicos de composiciones andesíticas y dacíticas, que intruyen a rocas sedimentarias mesozoicas, así como a rocas volcánicas del Calipuy. Frecuentemente se han emplazado a lo largo de los ejes de los pliegues y en las zonas de falla.

Reportan edades Ar/Ar comprendidas entre 13.7 ± 0.2 Ma y 35.2 ± 0.4 Ma. Correspondiendo a periodos intrusivos desarrollados durante el Cenozoico (Eoceno Superior - Mioceno Medio).

PROVINCIAS METALOGENÉTICAS

Las Provincias Metalogenéticas son áreas caracterizadas por una agrupación de depósitos minerales que guardan relación entre sí, formados por uno o más episodios de mineralización.

De modo tal, que los depósitos minerales existentes en el área de estudio pueden ser agrupados por sus características en los siguientes tipos de yacimientos:

YACIMIENTOS EPITERMALES EN AMBIENTE VOLCÁNICO

Los yacimientos epitermales son producto de la actividad hidrotermal. La depositación original tiene lugar aproximadamente a un kilómetro de profundidad, a bajas temperaturas situadas entre 50° y 300° C. Se localizan en inmediaciones de los centros eruptivos sugiriendo la ubicación de los cuellos volcánicos antiguos, sean centrales o laterales, en los bordes de una caldera volcánica y en los flancos de los domos volcánicos. Comprenden los siguientes depósitos (Fig. 3).

Salpo - Milluachaqui

Se ubican a 70 Km al Este de Trujillo, en el distrito de Salpo, provincia de Julcán, departamento de La Libertad. Coordenadas UTM de Salpo: 9114786 N, 764729 E. Coordenadas UTM de Milluachaqui: 9115980 N, 764750 E.

Ambos yacimientos se encuentran albergados en lavas subhorizontales pertenecientes al centro volcánico Salpo. Este volcán ha sido erosionado y posteriormente cubierto por depósitos piroclásticos riolíticos provenientes de la Caldera Carabamba (Rivera et al., 2005). Están conformado por dos vetas: Salpo y Milluachaqui. Ambas tienen una dirección principal N 145° con buzamientos de 45° a 90°. La veta Salpo varía su inclinación de SO a NE, mientras que la veta Milluachaqui sólo buza al SO. Probablemente, ambas vetas en el Mioceno han sufrido un desplazamiento hacia el Sur, ligado a una falla de cizalla. También se reconocen pequeñas fallas transversales, que deben corresponder a un tercer evento compresivo. Estas estructuras están rellenas por vetillas que sugieren una nueva etapa de mineralización (Tumialán, 1982).

La veta Milluachaqui presenta abundante cuarzo, galena, esfalerita, minerales de Ag y minerales de metamorfismo como rodonita y fengita. Por su parte la veta Salpo presenta cuarzo, limonita, oro, pirita, esfalerita, galena, calcopirita, covelita y calcocina. Las vetas genéticamente son diferentes: en Milluachaqui son principalmente argentíferas, mientras que en Salpo son polimetálicas. Ambas vetas tienen leyes promedio de 4 - 6 g/t de Au y 420 - 560 g/t de Ag. Sus espesores varían de 0.6 a 1.0 metros y longitudes de 5 a 6 km (Tumialán, 1982).

Los depósitos volcánicos y en el basamento sedimentario presentan alteración argílica. Sin embargo la propilitización es más extendida, consistiendo en clorita, epidota y calcita. (Hollister & Entwistle, 1977; Kihien, 1997).

Una muestra tomada en la zona de alteración de la veta Milluachaqui (La Esperanza), reporta illita y fengita; caracterizando la alteración fílica en este sector. Además si consideramos la presencia de minerales de plata, como la argentita; se puede asumir a este yacimiento como tipo epitermal de baja sulfuración.

Urumalqui

Se localiza 11 Km al Sureste de Salpo y Milluachaqui, distrito y provincia de Julcán, departamento de La Libertad. Coordenadas UTM: 9106656 N, 776807 E.

El prospecto Urumalqui está emplazado en el flanco Este del complejo volcánico Paccha-Uromalqui (Rivera et al., 2005), donde se distinguen principalmente lavas andesíticas basálticas y flujos piroclásticos de cenizas cortados por numerosas vetillas de cuarzo y dos vetas con contenidos de minerales metálicos. En las inmediaciones no se han reconocido afloramientos de cuerpos subvolcánicos o rocas ígneas.

Estructuralmente las vetas conforman dos sistemas mineralizados. Uno tiene una dirección típicamente andina de N 120° y buzamientos casi verticales de 80° - 85° al SO; y el segundo tiene una dirección de N 170° a N - S. Estas vetas tienen espesores que varían entre 3 y 6 metros.

Mineralógicamente las vetas están constituidas por cuarzo, calcedonia, baritina, pocos minerales de hierro y minerales argentíferos (Tumialán, 1982).

Se observa una zona de oxidación con un diámetro aproximado de 2 km, así como brechas silíceas y vetas conformando un stockwork. Una de las vetas principales es visible en superficie a lo largo de 1.5 Km. Debido a los minerales argentíferos reportados en la vetas, se puede asumir a este yacimiento como epitermal de baja sulfuración.

Tres Cruces

Se localiza en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. A 85 Km al Este de Trujillo. Coordenadas UTM: 9111140 N, 799650 E.

El yacimiento se encuentra alojado en depósitos piroclásticos del centro volcánico Quiruvilca (Rivera et al., 2005) y en secuencias volcanoclásticas y sínter ligados a la presencia de una fuente geotermal extinta. Cuerpos subvolcánicos de composiciones andesíticas cortan las secuencias volcánicas.

Las fallas regionales son de rumbo NO-SE. Una falla principal denominada Quiruvilca-Huamachuco es vertical, con rumbo N 50°. También se reportan fallas de sobreescurremientos con vergencia al E (INGEMMET, 2001). Así mismo, las capas mesozoicas correspondientes al Grupo Goyllarisquiza ubicadas al NE del yacimiento, sugieren un levantamiento a través de una falla regional de dirección NO (Heyl & Livingston, 1998).

En la zona se distingue una alteración fílica, caracterizada por el ensamble cuarzo-illita± adularia. Dicha alteración es cortada por venillas de cuarzo y carbonatos, y algunas áreas se encuentran cubiertas por sínter silíceo. Se ha registrado la presencia de sulfuros como estibina, cinabrio, pirita, marcasita; entre otros. Por ello, se define a este yacimiento como de baja sulfuración. Sus reservas son de aproximadamente 1.9 millones de oz/Au con una ley de 2 g/t (Heyl & Livingston, 1998).

Machacala

Localizado a 12 km al Oeste de Carabamba, provincia de Julcán, departamento de La Libertad. A 42 km al E de Trujillo. Coordenadas UTM : 9098690 N, 758900 E.

Corresponde a una zona de alteración silico-argílica, donde se distingue un depósito tipo stockwork con contenido de Ag, Au, Cu y trazas de metales base. Las venillas son subverticales y tienen una longitud de 1 a 4.5 m, mientras que el stockwork alcanza amplitudes superiores a 40 metros. Las venillas son subparalelas y con rumbos NO. Debido a las asociaciones mineralógicas de mena y alteración, este yacimiento es considerado como epitermal de baja sulfuración.

Las fallas principales tienen rumbo andino N 135°, las cuales han sido rellenadas por cuarzo. Además se distinguen vetas que miden entre 1 y 2 m de ancho y tienen una orientación N 140°. La generación de esta zona de alteración fue influenciada

posiblemente por la intrusión de un stock microdiorítico que corta toda la secuencia lávica que aflora en la zona.

En base a los trabajos de exploración efectuados antes del año 2004, la compañía minera Gold Hawk Resources Inc., determinó la existencia de 0.635 millones de toneladas con promedios de 7.63 g/t Au y 216.6 g/t Ag, esto fue estimado en cuatro zonas de interés, que están incluidas dentro de 1.56 millones de toneladas de reservas.

San Pedro

Se localiza en el distrito de Huaso, provincia de Julcán, departamento de La Libertad. A una distancia de 85 Km al SE de Trujillo. Coordenadas UTM: 9077106 N, 779227 E.

El yacimiento se aloja en rocas lávicas del volcán San Pedro. Intruídas por stocks dioríticos a granodioríticos.

Corresponde a una zona de alteración argílica, donde la mineralización se presenta en forma de venillas y vetas delgadas de cuarzo con textura colofome y con contenidos de sulfuro de Fe. Las vetas varían entre 0.3 m y 5.0 m de potencia, con direcciones de N 160°. Este yacimiento es considerado como epitermal de baja sulfuración.

Quiruvilca

Se ubica a 80 km al Este de Trujillo, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. Coordenadas UTM: 9114046 N, 796084 E.

Este yacimiento se encuentra albergado en lavas andesíticas, brechas volcánicas, depósitos de flujos piroclásticos y rocas volcanoclásticas del Volcán Quiruvilca. La mineralización en esta parte está relacionada con la intrusión de stocks y diques porfiríticos de composición dacítica y andesítica.

Quiruvilca, es un centro volcánico erosionado donde se distinguen numerosas vetas con rumbo N 60° - 70°, con potencias entre 0.3 m y 2.5 m, conteniendo principalmente metales base como Zn-Pb-Cu-Ag, con algunos valores de Au (Bartos, 1987).

El yacimiento está atravesado por fallas que forman parte del alineamiento Quiruvilca – Huamachuco, el cual tiene una dirección de N 50°.

Las vetas están rodeadas por aureolas de alteración hidrotermal. En el contacto con los volcánicos se ha observado alteración filíca (cuarzo-sericita-pirita). Hacia las zonas exteriores se tiene argilización y propilitización.

La zonificación de la mineralización sugiere que la acidez y la sulfuración de los fluidos mineralizantes disminuyeron con el tiempo y que los fluidos se mezclaron en los estados finales con aguas subterráneas (Bartos, 1990).

Según Kihien (1997), corresponde a un yacimiento filoniano de plata-zinc-plomo-cobre de origen mesotermal a epitermal.

Las Princesas

Se localiza en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. A 105 km al Este de Trujillo. Coordenadas UTM: 9119200 N, 796900 E.

Este yacimiento se encuentra alojado en depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas pertenecientes al centro volcánico Quiruvilca. La alteración corresponde a una débil argilización, con sulfuros de Fe (pirita) y Cu diseminados.

Se ha analizado una muestra mediante difracción de rayos X, reportando minerales de cuarzo, calcita y óxidos de hierro. No se tienen argumentos necesarios para tipificar este yacimiento, pero debido a la cercanía con yacimientos epitermales de baja sulfuración, podría ser considerado dentro de dicho tipo.

Huacamarcanga

Se ubica a 90 km al Este de Trujillo, en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. Coordenadas UTM: 9104118 N, 799713 E.

Se encuentra emplazado en depósitos de flujos piroclásticos pertenecientes al flanco noroeste del centro volcánico Totorá (Rivera et al., 2005).

Corresponde a una zona de alteración fílica con minerales de sulfuros de Fe diseminados, donde además se distinguen vetas de rumbo E-O, que miden entre 30 a 60 cm de ancho y más de 300 m de longitud.

El análisis PIMA de una muestra representativa reporta sericita y montmorillonita, correspondiendo a una alteración fílica, que cubre un área aproximada de 3 Km². Aparentemente dicha asociación mineralógica correspondería al halo de alteración de un sistema epitermal de baja sulfuración.

Es necesario indicar que existen ocurrencias minerales abandonadas luego de haber extraído oro y plata en los depósitos volcánicos, como son Rey de Dinamarca, Rumicruz, Diómedes, Estrella Luminosa y Culebrilla.

YACIMIENTOS EPITERMALES EN AMBIENTE SEDIMENTARIO

El factor estructural y mineralógico son importantes para la formación de este tipo de yacimientos. El plegamiento de las capas sedimentarias, generalmente anticlinales en las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, y el alto grado de fracturamiento de la roca han permitido el entrapamiento de los fluidos hidrotermales, con la consiguiente precipitación de la mineralización principalmente aurífera (Fig. 4).

Lagunas Norte (Alto Chicama)

Se localiza en el distrito de Usquil, provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. A 140 km al Este de Trujillo. Coordenadas UTM: 9120843 N, 803357 E.

El yacimiento se encuentra hospedado en areniscas cuarzosas de la Formación Chimú y en depósitos de flujos piroclastos dacíticos del volcán Quesquenda. Intruídos por pequeños stocks dacíticos. Uno de los cuales fue datado por el método K/Ar reportando una edad de 18.9 ± 0.5 (Gauthier et al., 1999).

En la zona las capas de la Formación Chimú están plegadas y fracturadas, formando un anticlinal volcado con rumbo N 120°, y buzamientos y fallas inversas de alto ángulo (INGEMMET, 2001).

La mineralización es del tipo alta sulfuración, está diseminada y alojada en brechas sedimentarias, rocas piroclásticas y en óxidos de hierro. Cubre un área de 1600 m de largo por 750 m de ancho y más de 300 m de profundidad. Las reservas son de 9.1

Moz/Au (Barrick Gold Corporation, 2005). Se espera una producción anual de 800 mil onzas de Au por año en óxidos. También se tienen valores de Ag y Cu, en sulfuros.

Las alteraciones hidrotermales existentes son argílica avanzada y silicificación fuerte con textura “*vuggy silica*” que oblitera a la roca original.

Similares prospectos existentes en los alrededores de Lagunas Norte son: Lagunas Oeste, Lagunas Sur, Genusa y Los Angeles.

Santa Rosa

Se ubica en el distrito de Angasmarca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. A 135 km al Este de Trujillo. Coordenadas UTM: 9099267 N, 825799 E.

El yacimiento está emplazado en pelitas del Grupo Chicama y en areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, las cuales están intruídas por stocks porfíricos de composiciones dacíticas. También se reconocen brechas hidrotermales.

Las estructuras predominantes son anticlinales y fallas con direcciones N 165° - 160°, cortados por fallas que tienen direcciones N 30° - 50° y E-O. Desarrolladas en las capas sedimentarias del Grupo Chicama y de la Formación Chimú.

La mineralización está controlada por el sistema de fallamiento descrito anteriormente, el cual fue generado en varias fases: Una fase temprana producido por intenso fracturamiento con formación de brechas. Seguido por otra fase durante el cual ascendieron los fluidos mineralizantes posiblemente desde un cuerpo subvolcánico (stock) emplazado en profundidad. Posteriores procesos de oxidación (variaciones del nivel freático, etc.) afectaron el yacimiento. Los minerales que rellenan las fracturas son principalmente óxidos de hierro. El oro se encuentra en estado libre en la jarosita y goethita, y también asociado a la pirita y arsenopirita, con leyes promedio de 1 g/t Au.

Este yacimiento presenta una zona de alteración hidrotermal donde se distinguen minerales de cuarzo, pirofilita, caolín y alunita; propios de la zona argílica avanzada. Caracterizando al yacimiento como un epitermal alojado en rocas sedimentarias (Montoya, 2000; INGEMMET, 2001).

La Virgen

Se localiza en el distrito de Cachicadán, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. A 160 Km al Este de Trujillo. Coordenadas UTM: 9117500 N, 822000 E.

El yacimiento se encuentra alojado en areniscas cuarzosas de la Formación Chimú y en rocas volcánicas del Grupo Calipuy depositados en un graben limitado por dos fallas de rumbos N-S (Gauthier et al., 1999).

En la zona se distinguen un sistema de fallas predominantes con rumbo N-S y buzamientos verticales. Existen también fallas transversales con direcciones NE. La Formación Chimú se encuentran plegadas con rumbos N-NO.

La mineralización aurífera está asociada con los óxidos de Fe (hematita, jarosita y goethita). Otros minerales reconocidos son pirita, enargita, calcopirita, oro, casiterita, tetraedrita (INGEMMET, 2001).

Las alteraciones características del yacimiento corresponden a cuatro tipos: Silicificación con textura “*vuggy silica*”. Argílica avanzada con pirofilita, dickita y alunita.

Fílica con illita, esmectita. Propilitización con calcita, epidota, clorita y piritita (Gauthier et al., 1999).

La Virgen genéticamente es un yacimiento de tipo epitermal de oro y plata de alta sulfuración, por la presencia de enargita y las alteraciones hidrotermales descritas. Se encuentra actualmente en actividad. En el año 2004 obtuvo una producción de 52 000 onzas de Au. Sus reservas probadas y probables se estiman en 16 millones de toneladas con una ley promedio de 0,7 g/t Au (Compañía Minera San Simón, 2005).

Igor

Ubicado en el distrito de Huaranchal, provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. Se encuentra a 100 Km al NE de Trujillo. Coordenadas UTM: 9153556 N, 782253 E.

Está emplazado en areniscas, lutitas y limonitas de las formaciones Chimú y Santa, que son intruídas por un cuerpo dacítico que aflora hacia el Suroeste del yacimiento.

La principal estructura la constituye un anticlinal elongado NO-SE denominado Bola de Igor, con dirección N 135° y buzamientos de 32° al NE y SO, así como fallas de cizalla con rumbos N 175°, fallas longitudinales paralelas y fallas tensionales perpendiculares al anticlinal respectivamente (Guadalupe et al., 1991).

La mineralización está en vetas, mantos y brechas con minerales de cuarzo, piritita, electrum, arsenopiritita, galena, esfalerita y óxidos de hierro enriquecidos en Au y Ag. Las vetas siguen las direcciones de las fallas y fracturas (INGEMMET, 2001).

La silicificación, argilización y piritización constituyen los principales tipos de alteración distinguidos en Igor.

Shahuindo

Se localiza a 80 km al Sur de Cajamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Coordenadas UTM: 9158433 N, 807421 E

La estructura principal que controla la mineralización es el anticlinal abierto denominado Algamarca. Su eje tiene rumbo N 130° y sus flancos buzan 75° E y 70° O.

Las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú conforman el anticlinal, cuyas capas se tornan menos inclinados lejos de la cresta, son intruídas por cuerpos subvolcánicos andesíticos a dacíticos, espacialmente relacionados con la mineralización, y dispuestos paralelamente al eje del anticlinal.

La mineralización es de tipo epitermal alojada en las rocas sedimentarias, siendo el control estructural (pliegues) más importante que el estratigráfico.

Las zonas de interés son: Zona principal (San Jose), a 1.8 Km al NE del anticlinal, la mineralización está en el contacto brechado del pórfido cuarzo-feldespático con los sedimentos. En la Zona Este (Pampa de Arena), conformada por dos subzonas: una paralela al anticlinal y a la orientación de las capas sedimentarias; y la segunda con tendencias N-S con la apariencia de ser un techo para su propia mineralización. En ambos casos se aloja en areniscas, no se han encontrado pórfidos en el área. En la Zona Sur consiste de mineralización alojada a lo largo del contacto brechado entre el intrusivo porfirítico alterado y las limolitas y areniscas. La Mina antigua de Shahuindo,

se localiza a 2 Km al Norte de la zona principal, los depósitos consisten en venas emplazadas a lo largo de fallas inversas.

La mineralización de oro y plata ha sido reportada en el flanco NE del anticlinal. Las reservas estimadas son de 25.8 millones de toneladas de 1.07 g/t Au y 23.97 g/t Ag, para un total de 1.14 Moz/Au y 26.1 Moz/Ag (Sulliden Exploration Inc., 2006).

Algamarca

Está localizado en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Coordenadas UTM: 9158953 N, 804369 E.

Está emplazado en el flanco oeste de un anticlinal cuyo eje tiene una dirección N165° - 130°, afectado por fallas paralelas (Algamarca), transversal (Santo Cristo, La Cruz) y oblicuas (Los Alisos), las cuales controlaron el emplazamiento de los cuerpos intrusivos de Caupur, San José y La Cruz. Su producción en 45 años fue aproximadamente de 1.5 millones de toneladas de cobre (2.0%) y plata (680 g/t) obtenidos de vetas. El cuerpo intrusivo de Caupur (pórfido de cuarzo monzonítico) es el mineralizante, generó vetas que rellenaron fallas dextrales y sinestras por compresión perpendicular al eje del anticlinal, las vetas tienen rumbos N 30°-75° E (Tumialán et al, 1982).

Las vetas de plata y las alteraciones fílica y argílica, permiten clasificarlo como un epitermal alojado en rocas sedimentarias.

Cabana

Se localiza en el distrito de Cabana, provincia de Pallasca, departamento de Ancash. A 150 Km al Noroeste de Huaraz. Coordenadas UTM: 9069745 N, 829529 E.

Está emplazado en stocks de diorita cuarcífera y diques andesíticos, los cuales intruyen a las pizarras y areniscas del Grupo Chicama, conformando el Cerro Pashias.

Las estructuras principales son dos anticlinales y un sinclinal que tienen rumbos N-S; bordeados y cortados por fallas andinas y transversales, respectivamente. Las vetas tienen direcciones N 50° con buzamiento de 48° NO y rellenan las fallas transversales.

La mineralización se presenta en los stocks en forma de vetas y mantos, y excepcionalmente en el contacto con las pizarras del Grupo Chicama, siendo de relleno. El oro está asociado con el cuarzo, pirita, limonita y calcopirita (Tumialán, 2003). La alteración distinguida corresponde a sericitización y una débil piritización.

Callullin

Se localiza a 200 Km. al Este de Trujillo, distrito de Angasmarca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. Coordenadas UTM: 9105843 N, 831161 E.

El yacimiento está emplazado en la secuencia silicoclástica inferior de la Formación Chimú y en la parte superior del Grupo Chicama. Hacia el Norte del yacimiento aflora un cuerpo intrusivo de composición diorítica y un subvolcánico andesítico que corta a la secuencia sedimentaria.

Las estructuras del yacimiento comprenden fallas y pliegues. Las fallas conforman dos sistemas: Andino (N 130°) y Transversal (N 40° y N-S), con buzamientos subverticales. Los pliegues conforman anticlinales y sinclinales volcados con direcciones de N 130°.

Los minerales predominantes son óxidos e hidróxidos de hierro: limonita, hematita, goethita y jarosita. Se encuentran relleno de las fracturas desarrolladas en las areniscas cuarzosas. También se reconocen vetillas de cuarzo lechoso y calcedonia bandeada. El oro está asociado con los óxidos de hierro y cuarzo, y se encuentra principalmente en las fallas de dirección andina (Vicharra, 2003).

Las alteraciones reconocidas en el yacimiento son: Silicificación que forma vetillas irregulares emplazadas en las fallas andinas y transversales. Cloritización y argilización con un ensamble mineral de arcillas, caolín, cuarzo y pirita.

Es necesario indicar que otros depósitos que guardan relación genética con este tipo de mineralización son: Corimarca, Colpa, Minaspampa, María Angola, La Encantada, Agua Blanca, Calorco, Mumalca, Cochapampa, Oro Norte, Pallar de Oro y Señor de la Soledad.

YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO

Pashpap

Está localizado a 80 km al NE de Chimbote, distrito de Macate, provincia de Santa, departamento de Ancash. Coordenadas UTM: 9026917 N, 831498 E (Fig. 5).

Se encuentra alojado en pelitas del Grupo Chicama y conglomerados y areniscas de la Formación Huaylas, intruídos por plutones, en una primera fase por tonalitas-granodioritas, en una segunda por monzonitas y finalmente por granitos porfíricos, los cuales desarrollaron un fuerte stockwork.

Se han reconocido cinco cuerpos plutónicos que controlan la mineralización y que originan los siguientes blancos de exploración: El Bronce, Huacacuy Norte y Sur, Loma Blanca y 12 de Octubre (Cinits, 2003).

La mineralización es tipo pórfido de Cu-Mo. La alteración hidrotermal es zonada, típica de los pórfidos. De modo tal que en el Bronce, debido a la erosión profunda, se puede apreciar la parte central que corresponden a la zona potásica, caracterizados por biotita hidrotermal y fenocristales de ortosa. Envolviendo a esta alteración, se reconoce una zona mixta, con predominio de alteración fílica (cuarzo, sericita, pirita) con relictos de la alteración potásica (Cinits, 2003).

El control estructural del yacimiento lo definen fallas con direcciones de N 150° - 130° (andina) y N 40° - 60° E (transversal), la dirección E-O es secundaria pero con relación directa al stockwork. También se observan muchos pliegues correspondientes a las formaciones Carhuaz y Huaylas con direcciones N-NO.

Pachagón

Se encuentra localizado a 15 km al NO de Otuzco, en el cerro Pachagón, distrito de Marmot, provincia de Gran Chimú, departamento de La Libertad. Coordenadas UTM: 9140880 N, 762985 E (Fig. 5).

Hospedado en capas delgadas y plegadas de pelitas y areniscas del Neocomiano, intruídas por stocks granodioríticos y diques dacíticos post-mineralización.

Las estructuras predominantes reconocidas en el yacimiento son anticlinales y sinclinales con direcciones E – O. Las intrusiones se localizan en el flanco de un anticlinal, a lo largo de un corredor NNE, enmarcado por fallas sinestrales.

Las alteraciones hidrotermales incluyen tres principales asociaciones: Ensamblajes de cuarzo-sericita, alteración argílica (cuarzo-sericita-clorita) y alteración potásica (cuarzo, biotita secundaria).

En Pachagón se ha desarrollado un perfil supérgeno clásico: una capa lixiviada conteniendo jarosita, goethita y hematina; zona de mezcla con limonita y sulfuros; zona de enriquecimiento supérgeno irregular dominada por calcita y covelita, albergando el principal contenido de cobre y plata; y finalmente la zona primaria caracterizada por pirita, calcopirita y pirrotita. Se postula que se trata de un pórfido de Cu con valores de Ag (Perelló et al, 2003).

Para conocer la edad de la mineralización se realizó una datación radiométrica K/Ar en sericita hidrotermal, reportando una edad de 18.8 ± 1.6 Ma. Mientras que otra datación realizada en molibdenita, por el método Re/Os brinda una edad de 18.15 ± 0.06 Ma (Perelló et al, 2003 & Noble et al, 2004).

San José

Se localiza en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Coordenadas UTM: 9158187 N, 807232 E.

El yacimiento consiste en un pórfido alterado (caolinizado, limonitizado), con mineralización de Cu-Mo, con Au como subproducto.

Estructuralmente está controlado por fallas paralelas a la falla Algamarca, con rumbo de N 130°, las cuales posibilitaron el craquelamiento del cuerpo intrusivo generando un stockwork con venillas con rumbos predominantes E-O (Tumialán et al., 1982).

Los Latinos

Se localiza en el distrito de Shupluy, provincia de Yungay, departamento de Ancash. A 43 Km al NO de Huaraz. Coordenadas UTM: 8969651 N, 850210 E.

En la zona se reconocen rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, pertenecientes a las formaciones Chimú y Pariahuanca, cubiertas en discordancia angular por depósitos volcánicos del Grupo Calipuy. Diversos stocks, domos y diques básicos y ácidos cortan a estas secuencias.

El yacimiento Los Latinos comprende las siguientes zonas de interés: Chuntapunta-Palca, y Mangan-Ushco.

Chuntapunta es un sistema freatomagmático, con depósitos de flujos piroclásticos y lavas andesíticas. Estos depósitos volcánicos están intruídos por stocks graníticos, cuarzo-dioríticos y dioríticos; los cuales han generado un halo argílico y sericítico, característico de alteración hidrotermal distal tipo pórfido, con un contenido de Au mayor que Mo. En las zonas circundantes se han reconocido también vetas de Ag-Au.

Palca, corresponde a un pórfido granítico sericitizado-oxidado (cuarzo-sericita-muscovita-adularia-limonita-jarosita), con fuerte stockwork caracterizado por venillas de cuarzo tipo "D". La roca caja son piroclastos alterados y lavas frescas del Grupo Calipuy. También ha generado un halo sericítico típico de pórfidos.

En Mangan se tiene conocimiento de vetas con contenido de plata alojadas en rocas volcánicas explotadas en época colonial. Sin embargo tiene una débil mineralización diseminada de Au-Ag.

En Ushco, las alteraciones cuarzo-sericita y propilítica reconocidas en las rocas piroclásticas están ligadas a intrusiones dioríticas. En esta zona hay indicios de alteración potásica. Por lo tanto, estas características corresponden a sistemas de pórfidos de Cu-Mo.

El control estructural (fallas y fracturas) es andino y transversal. En la quebrada Ushco se distingue una estructura semicircular NE-N. Mientras que en las quebradas Cashma y Mangan se distinguen lineamientos con rumbos NE, aprovechadas por cuerpos dioríticos para su emplazamiento. Así mismo, se reporta un sistema de fallas N 105° a E-O en Pucacocha (INGEMMET, 2001).

El Toro

Se localiza en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad. A 144 km al NE de Trujillo. Coordenadas UTM: 9134797 N, 829970 E.

Está emplazado en areniscas cuarzosas y limolitas de la Formación Chimú, intruídas por cuerpos subvolcánicos dacíticos.

Las estructuras predominantes son pliegues con direcciones NO, cortados y rellenados por vetas y mantos angostos de 0.5 m de espesor promedio y mineralizados con cuarzo hialino, cuarzo lechoso, y limonitas. Esta mineralización es principalmente aurífera diseminada y de baja ley (Tumialán, 2003).

La alteración reportada es argilización, localizada en el contacto de los cuerpos intrusivos con la roca encajonante.

Otro yacimiento reconocido en el área de estudios es el prospecto de Tinguish, localizado en la misma franja de depósitos tipo pórfido (Quirita y Gauthier, 2000).

YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO – EPITERMAL

Corresponden a depósitos que presentan ambos tipos de mineralización (Fig 5).

Alto Dorado

Se ubica en el distrito y provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. A 110 km al Sureste de Trujillo. Coordenadas UTM: 9082184 N, 807595 E.

El yacimiento de Alto Dorado presenta mineralización tipo epitermal de alta sulfuración de Au y tipo pórfido Cu-Au. Emplazada en tres zonas: Toril, Ana y Olla (Candente Resource Corporation, 2005).

Se encuentra alojado en rocas piroclásticas (flujos de pómez y cenizas, y flujos de bloques y cenizas) y rocas lávicas del volcán Alto Dorado, que están intruídas por stocks y domos dacíticos y andesíticos.

Estructuralmente presenta fallas con direcciones NO y NE que han controlado la mineralización. Candente Resource Corporation (2005) reporta una estructura de colapso de caldera, la cual no ha sido reconocida en el campo.

En la zona denominada como Olla se reconoce mineralización típica de un pórfido de Cu-Au, y donde además se han reportado valores de Mo y Ag. Presencia de minerales de calcopirita y calcocita como disseminados, de enriquecimiento secundario y en stockwork.

En Toril, se reconocen ensamblajes típicos de alta sulfuración: silicificación tipo *vuggy silica*, sílice granular y calcedonia; y argílica avanzada con alunita, natroalunita, dickita, pirofilita, kaolinita, jarosita (Candente Resources Corporation, 2005). Cubre un área de 2.4 km por 1.8 km.

Ana es una segunda zona de alta sulfuración. Se ubica a 3 km al Oeste - NO de Toril. Cubre un área de 2.7 km. por 1 km. La alteración es *vuggy silica*, con minerales de alunita y ópalo; en las zonas con control estructural se reportan hematita y limonita.

La Arena

Se localiza en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad. A 125 km al NE de Trujillo. Coordenadas UTM: 9126000 N, 816000 E.

En la zona se distinguen rocas silico-clásticas de la Formación Chimú y algunos horizontes de lutitas carbonosas de la Formación Oyón, intruídas por stocks dacíticos. Estas rocas fueron posteriormente cubiertas por depósitos piroclásticos del Volcán Quesquenda.

Las estructuras principales corresponden a fallas normales de alto ángulo, las cuales tienen rumbos NO-SE. Estas están interceptadas por fallas menores con direcciones transversales NE-SO, E-O y N-S. Además de las fallas antes descritas, es importante indicar la existencia de un anticlinal con dirección NO-SE en la Formación Chimú. Por lo tanto es evidente que la mineralización responde al control estructural ejercido sobre el yacimiento.

En la Arena se tiene un sistema hidrotermal con dos tipos de mineralización: un pórfido Cu-Au (Mo) en profundidad dentro de los primeros 350 m, y un epitermal disseminado de Au en las areniscas cuarzosas brechadas. La razón por la cual este yacimiento es sui generis es que ambas mineralizaciones provienen de una misma fuente magmática, relacionada directamente al stock dacítico emplazado a lo largo de una falla principal NO-SE.

La mineralización consta de brechas con óxidos de hierro (hematita, jarosita y goethita) y relictos de pirita dentro del cual está el Au.

El Pórfido Cu-Au (Mo), es un cuerpo mineralizado alongado con dirección NO-SE, de 1400 m de largo por 400 m de ancho. La mineralización es básicamente de sulfuros en forma de pirita, calcopirita, disseminados en venillas de sílice. El Au está en las venillas de cuarzo con sulfuros. La alteración asociada es fílica y argílica (cuarzo, illita-esmectita, ankerita, siderita); y propilítica (clorita, epídota, pirita).

En el epitermal se observa una silicificación intensa con alunita, diáspora, illita y sericita. La mineralización aurífera se encuentra en las fracturas y brechas de los sedimentos clásticos. El Au se encuentra como electrum y en los óxidos: limonita, goethita, jarosita y hematita.

Se ha estimado reservas por 14 millones de toneladas con una ley promedio de 1 g/t de Au (Gauthier et al., 1999; INGEMMET, 2001).

Magistral

Se localiza en el distrito de Conchucos, provincia de Pallasca, departamento de Ancash. A 100 km al Este de Chimbote. Coordenadas UTM: 9090314 N, 856338 E.

Magistral, se ubica dentro de la franja metalogénica del Mioceno Medio que viene desde el Perú Central, y que comprende yacimientos como Cerro de Pasco, Pierina, Pashpap, Quiruvilca, Cerro Corona y La Granja (Perelló et al., 2001; Noble et al., 2004).

El yacimiento se aloja en rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación Jumasha. Estas rocas son intruídas por dos stocks granodioríticos denominados San Ernesto y Sara. Estos cuerpos tienen una inclinación de 60° al NO (Perelló et al., 2001).

Las estructuras predominantes que consisten en fallas y sobreescurrecimientos tienen direcciones N-S, con buzamientos de 40° al O. Es importante señalar que el yacimiento se encuentra precisamente en la deflexión menor de Conchucos (Torres & Enríquez, 1996) y en el alineamiento Casma – Pasto Bueno (Núñez, 1995) de dirección NE – SO.

El yacimiento es del tipo pórfido, su mineralización se presenta en dos ambientes bien definidos: un stockwork con cuarzo, pirita y molibdenita; y asociado a un skarn con calcopirita, pirrotita y magnetita. Las leyes están comprendidas entre los 0.5 -1.0 %Cu y 0.04 – 0.06 % Mo.

Este pórfido, tiene algunas vetas epitermales de alta sulfuración con minerales de Cu-As y de baja sulfuración con vetas de cuarzo-adularia-calcita (INGEMMET, 2001).

La alteración está zonada respecto a los cuerpos intrusivos. En la parte central es del tipo pórfido: potásica y argílica intermedia. En la zona de contacto está caracterizada por la fase endo y exoskarn, generando además depósitos de mármol en las calizas Jumasha.

Un cristal de biotita hidrotermal del cuerpo San Ernesto, según el método K/Ar reporta una edad de 15.3 + 0.3 Ma. Así mismo otro cristal de biotita magmática del stock Sara datada también por el método K/Ar reporta 15.0 + 0.5 Ma. Por lo tanto se asume que la edad del yacimiento pertenece al Mioceno medio.

Sayapullo

Localizado en el distrito de Sayapullo, provincia de Gran Chimú, departamento de La Libertad. A 80 km al Noreste Trujillo. Coordenadas UTM: 9160027 N, 779531 E (Fig. 5).

El yacimiento consiste en mantos singenéticos y vetas polimetálicas alojados en areniscas de la Formación Carhuaz, la cual está intruída por stocks dacíticos.

La estructura principal consiste en un sinclinal inclinado al SO, cuyo eje tiene una orientación N 115°. El fallamiento pre-mineral es inverso con dirección N 105° al SO, y es paralelo al río Sayapullo. Mientras que el post-mineral es mayormente sinistral. Por lo tanto los esfuerzos tectónicos fueron de compresión NE-SO, perpendicular al eje de los afloramientos (Tumialán et al., 1991).

La mineralización consiste en cuarzo, pirita, molibdenita, arsenopirita, luzonita, enargita, tetraedrita, esfalerita, galena, entre otros. Como minerales de enriquecimiento secundario se reconocen calcocina, bornita y covelita. Es por esto que se trata de un yacimiento polimetálico de Ag, Zn, Pb y Cu.

Las alteraciones del yacimiento comprenden silicificación y una ligera argilización.

Según Tumialán et al., (1991) en Sayapullo se conocen dos etapas metalogenéticas: Durante el Cretáceo inferior y medio se formaron mantos polimetálicos singenéticos. Mientras que en el Mioceno medio se formaron vetas polimetálicas meso a epitermales.

FRANJAS METALOGENÉTICAS

Para el establecimiento de las franjas metalogenéticas se ha tomado en cuenta los factores litológico, estructural y su asociación con los eventos magmáticos sucedidos a partir del Eoceno al Mioceno, además de los yacimientos descritos anteriormente.

La litología en el área de estudio es variada. Los depósitos volcánicos que consisten en flujos piroclásticos, lavas y domos lávicos, son muy buenos hospedantes de minerales diseminados, debido a la porosidad y permeabilidad de la roca. En estos depósitos se alojan los yacimientos epitermales de alta y baja sulfuración.

Las capas de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, constituyen otro buen huésped de minerales auríferos diseminados, debido al alto grado de fracturamiento reconocido en estas rocas, siendo el principal receptor de los fluidos mineralizantes, alojando a los yacimientos epitermales sedimentarios.

Del mismo modo, el emplazamiento de los diferentes cuerpos subvolcánicos y stocks de composiciones intermedias a ácidas ha permitido el ascenso de los diferentes fluidos mineralizantes, depositándose tanto en las rocas que intruyen como en ellos mismos, generando halos de mineralización epitermal y de tipo pórfido.

El factor estructural también condiciona el emplazamiento de depósitos minerales. Las principales estructuras reconocidas corresponden a sistemas de fallas de direcciones NO-SE, NE-SO y E-O, que son el resultado de la compresión desarrollada en el Eoceno por la subducción. Este sistema de fallas, posibilitó el emplazamiento de cámaras magmáticas, con la posterior generación de estructuras volcánicas entre el Eoceno al Mioceno, para finalmente permitir el emplazamiento de fluidos hidrotermales que se encuentran conformando vetas.

Otro importante sistema estructural corresponde al plegamiento desarrollado por efectos compresivos del Paleoceno en las capas silicoclásticas de la Formación Chimú. Al parecer, los anticlinales cerrados y fracturados que se originaron en esta formación, posibilitaron el entrapamiento de los fluidos mineralizantes.

En el presente estudio se presenta un mapa metalogenético del área de estudio, que fue elaborado tomando en cuenta los factores litológico y estructural que existen en la zona. Además el mapa metalogénético destaca las características relevantes de la mineralización y con una simbología apropiada para indicar la forma, tipo de mineralización. Con el propósito de proveer una base o punto de partida sólido para las exploraciones mineras regionales. De esta manera se han establecido por lo menos tres franjas metalogenéticas (Fig. 6) Epitermal Volcánica Aurífera, Epitermal Sedimentaria Aurífera y Pórfido Cuprífera con enriquecimiento de Au y/o Ag.

ÉPOCAS METALOGENÉTICAS

Las épocas metalogenéticas representan unidades de tiempo geológico favorables para la depositación de fluidos hidrotermales, están representadas por una agrupación particular de depósitos minerales, los cuales en una misma área pueden corresponder a varios pulsos mineralizantes.

Según las edades de mineralización reportadas en la zona de estudios comprendidas desde los 18.8 Ma hasta los 14 Ma, se establece una gran franja mineralizante ocurrida en el Mioceno (Noble & McKee, 1999; Noble et al., 2004), la cual puede dividirse a su vez en cuatro subfranjas (Fig. 7).

Subfranja El Toro – Michiquillay

Comprende principalmente los depósitos tipo pórfido de cobre y cobre-oro de El Toro, Michiquillay, Galeno y se prolonga al Norte, incluyendo muy probablemente los yacimientos de Minas Conga y La Carpa. Se localiza en la zona este del área de estudios, con edades de mineralización que oscilan entre 18.1 y los 20 Ma reportados en Michiquillay (Noble et al., 2004).

Subfranja Magistral – Algamarca

Enmarca la mineralización ocurrida entre los ~ 17 y 15.3 Ma, la cual es reconocida en los yacimientos de Algamarca, La Virgen y Magistral, que comprende depósitos tipo pórfidos de cobre como epitermales auríferos de alta sulfuración alojados en rocas sedimentarias y volcánicas. Se ubica hacia el Oeste de la subfranja El Toro – Michiquillay.

Subfranja Quiruvilca – Pierina

Corresponde a la mineralización principalmente epitermal aurífera alojada en rocas volcánicas, tanto de alta y baja sulfuración reconocida en Pierina y Quiruvilca, además se tiene el depósito tipo pórfido de cobre de Pashpap y Sayapullo. Las edades de mineralización de estos yacimientos están comprendidas entre ~ 14 y ~ 15 Ma. Está ubicada hacia el oeste de la zona de estudios.

Subfranja Pachagón – Cascabamba

Se ubica hacia el oeste de la subfranja Quiruvilca – Pierina, está conformada por un depósito tipo pórfido de cobre-plata. La edad reportada es de 18.8 Ma.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Considerando que el emplazamiento de cuerpos intrusivos al norte de los 9° S en la Cordillera Occidental se ha producido en los periodos de tiempo de 45 y 25 Ma, 23 y 18 Ma, los cuales coinciden con los eventos tectónicos Inca II (45 a 42 Ma), Inca III (30 a 27 Ma), Inca IV (25 a 24) y Quechua I (17 Ma) descritos por Benavides (1999), además, las etapas del volcanismo Calipuy (Rivera et al., 2005) está comprendido a partir del Eoceno (> 35 Ma) al Mioceno inferior (18 – 16 Ma), del mismo modo las diferentes épocas de mineralización presentes solo en el Mioceno inferior (Fig. 8). Se determina que en la zona de La Libertad el Mioceno inferior a medio es el período de tiempo idóneo para la prospección de nuevos yacimientos epitermales auríferos y del tipo pórfido de cobre y cobre-oro, alojados en rocas volcánicas o sedimentarias.

El arco volcánico Calipuy del Eoceno y Oligoceno, ha generado el emplazamiento de numerosos centros volcánicos y stocks ácidos, sin embargo la actividad hidrotermal asociada es muy débil, debido probablemente a procesos de fuerte erosión.

Se han identificado cuatro subfranjas de mineralización, localizados entre 70 y 140 Km de distancia desde la línea de costa, evidenciando una ligera migración de Este a Oeste de la mineralización, a excepción de la subfranja Pachagón – Cascabamba, la cual es

contemporánea con la subfranja El Toro – Michiquillay, quizás como resultado de una rápida subducción.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto de Investigación Geológica GR-4: “Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) y su Asociación con los Yacimientos Epitermales, Norte del Perú”, que ha realizado la Dirección de Geología Regional del INGEMMET a partir del año 2003 al 2005. Agradezco a los Drs. José Macharé, Víctor Carlotto, Hernando Núñez del Prado y Humberto Chirif, funcionarios del INGEMMET, por permitir la publicación del presente artículo, así como la revisión del manuscrito. Además a todos los colegas de la Institución por las sugerencias y recomendaciones vertidas durante la elaboración del presente.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRICK GOLD CORPORATION (2005).- Global Operations, South America, Lagunas Norte. <http://www.barrick.com/index.aspx?usesid=-1&sid=57>
- BARTOS, P. (1987).- Quiruvilca, Peru: Mineral zoning and timing of wall-rock alteration relative to Cu-Pb-Zn-Ag vein-fill deposition. *Economic Geology*, 82 (6), 1431 - 1452
- BARTOS, P. (1990).- Metal ratios of the Quiruvilca mining district, northern Peru. *Economic Geology*, 85 (7), 1629-1644
- BENAVIDES, V. (1999).- *Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle*. Society of Economic Geologists Special Publication, 7, 61 - 107
- CANDENTE RESOURCES CORPORATION (2005).- Projects. Peru. AltoDorado. http://www.candente.com/s/PeruProjects_Alto-Dorado.asp.
- CANDIOTTI, H., GUERRERO, T. (1997).- Descubrimiento y geología del yacimiento de oro diseminado Sipán-Cajamarca. IX Congreso Peruano de Geología, Lima, 9 - 13
- CINITS, R. (2003).- Technical Report on the Pashpap Property Ancash Department, Peru. 194 p.
- COBBING, E. (2000).- The Coastal Batholith and other aspects of Andean magmatism in Peru. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 88, 5 - 20
- COMPAÑÍA MINERA SAN SIMÓN S.A. (2005).- Bienvenidos. <http://www.minerasansimon.net/index2.php?secc=home>
- COSSÍO, A. (1964).- *Geología de los Cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa*. Boletín Ingemmet, 8 (Serie A), 69 p.
- DILL, H., BOSSE, R., HENNING, H., FRICKE, A., AHRENDT, H. (1997).- Mineralogical and chemical variations in hypogene and supergene kaolin deposits in a mobile fold belt the Central Andes of Northwestern Peru. *Mineralium Deposita*, 32 (2), 149 – 163
- FARRAR, E., NOBLE, D. (1976).- Timing of late Tertiary Deformation in the Andes of Peru. *Geology Society of America Bulletin*, 87 (9), 1247 - 1250
- GAUTHIER, A., DIAZ, N., QUIRITA, V. (1999).- Yacimiento La Arena - Virgen, Huamachuco, La Libertad – Perú. I Pro Explo, Conferencias, 73 – 92
- GUADALUPE, E. (1997).- *El Oro en óxidos - Mina Igor*. Tesis Profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, 124 p.
- GUADALUPE, E., GAMARRA, B., CHAPOÑAN, J. (1991).- Mineralización del yacimiento aurífero de Igor. VII Congreso Peruano de Geología, Lima, 117 – 121
- HEYL, A., LIVINGSTON, W. (1998).- The Tres Cruces Low Sulfidation disseminated gold deposit, La Libertad, Peru. III Simposium Internacional del Oro, Lima, 128 - 135
- HOLLISTER, V., ENTWISTLE, L. (1977).- The Milluachaqui epithermal silver district of Northern Peru. *Mineralium Deposita*, 12, 235 – 238
- INGEMMET (2001).- *Proyectos de Inversión Minera y Prospectos en Estudio*. Boletín Especial, 147 p.
- KIHIEN, A. (1997).- La Franja de oro-cobre del norte del Perú. IX Congreso Peruano de Geología, Lima, 51 – 56

- KLEIN, T., BARREDA, J., HARVEY, B. (1997).- San José Sur: High sulfidation gold deposit, Yanacocha district, northern Peru. IX Congreso Peruano de Geología, Lima, 57 - 60
- LANDIS, G., RYE, R. (1974).- Geologic, Fluid Inclusion, and Stable Isotope Studies of the Pasto Bueno Tungsten-Base metal ore deposit, Northern Peru. *Economic Geology*, 69 (7), 1025 - 1059
- LIVIA, V., MIRANDA, C. (1991).- Petrología del yacimiento "El Extraño" – Ancash. VII Congreso Peruano de Geología, Lima, 129 – 132
- MONTOYA, D. (2000).- Yacimiento aurífero Santa Rosa. I Pro Explo, Conferences, 93 – 100
- NOBLE, D., MCKEE, E. (1999).- *The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru*. Society of Economic Geologists Special Publication, Geology and Ore Deposits of the Central Andes, 7, 155 - 193
- NOBLE, D., MCKEE, E., MOURIER, T., MÉGARD, F. (1990).- *Cenozoic stratigraphy, magmatic activity compressive deformation, and uplift in Northern Peru*. Geological Society of America Bulletin, 102, 1105 - 1113
- NOBLE, D., PARK-LI, B., HENDERSON, W., VIDAL C. (1997).- Hypogene oxidation and late deposition of precious metals in the Pierina high-sulfidation deposit and other volcanic and sedimentary rock-hosted gold systems. IX Congreso Peruano de Geología, Lima, 121 – 127
- NOBLE, D., VIDAL, C., PERELLÓ, J., RODRÍGUEZ, O. (2004).- *Space-time Relationships of some porphyry Cu-Au, Epithermal Au, and other magmatic-related mineral deposits in Northern Peru*. Society of Economic Geologists Special Publication, 11, 313 – 318
- NÚÑEZ, F. (1995).- Rasgos Estructurales relacionados con la Metalogenia del Perú. XXVII Convención de Ingenieros de Minas, 65 - 72
- PERELLÓ, J., GARCÍA, A., RAMOS, P., GLOVER, K., NEYRA, C., MUHR, R., FUSTER, N., CABALLERO, A. (2001).- The Magistral Porphyry-Skarn Cu-Mo Deposit, Ancash, Peru. II Pro Explo 2001, 3 p.
- PERELLÓ, J., POSSO, H., ZÁRATE, A., NEYRA, C., CABALLERO, A., STEIN, H. (2003).- Syntectonic Ag-rich porphyry copper mineralization at Pachagón, Northern Peru. X Congreso Geológico Chileno, Concepción, 1 - 2
- PETFORD, N., ATHERTON, M. (1995).- *Cretaceous-Tertiary volcanism and syn-subducción crustal extensión in northern central Peru*. Volcanism Associated with Extensión at Consuming Plate Margins, Geological Society Special Publication, 81, 233 - 248
- QUIRITA, V., GAUTHIER, A. (2000).- Yacimientos de Oro en la Región Huamachuco, Norte del Perú. IV Simposio Internacional del Oro, Lima, 9 p.
- RIVERA, M., MONGE, R., NAVARRO, P. (2005).- Nuevos datos sobre el Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú: Departamentos de La Libertad y Ancash. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 99, 7 - 21
- STEWART, J., EVERNDEN, J., SNELLING, N. (1974).- Age determinations from Andean Peru: A reconnaissance survey. *Geological Society of America Bulletin*, 85, 1107 – 1116
- SULLIDEN EXPLORATION INC. (2006).- Mining projects. Shahuindo Project, Northern Peru. http://www.sulliden.com/ShahuindoProject_en.html
- TORRES, A., ENRIQUEZ, J. (1996).- Características estratigráficas, estructurales y tectónicas en relación con la mineralización de oro en el Perú. II Simposio Internacional del Oro, Lima, 118 – 123
- TUMIALÁN, P. (1982).- Casos de Exploración Geológica en la Pequeña Minería. Programa Científico Cultural Jueves Mineros VII Ciclo - 7 de Octubre, 15 – 24
- TUMIALÁN, P. (1985).- Mineralización de Plata en la Cordillera Negra (Ancash). *De Re Metallica*, 10, 4 – 8

- TUMIALÁN, P. (1999).- Geología económica del yacimiento de oro de Tumpa (Nueva California). *Revista de Investigación Instituto de Investigación Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, UNMSM*, 2 (4), 25 - 33
- TUMIALÁN, P. (2003).- *Compendio de Yacimientos Minerales del Perú*. Boletín Ingemet, 10(Serie B), 619 p.
- TUMIALÁN, P., GAMARRA, B. (1980).- Controles de mineralización del yacimiento de tungsteno de Pasto Bueno. XV Convención de Ingenieros de Minas, 10 p.
- TUMIALÁN, P., RÍOS, E., PÉREZ, J., VÉLEZ, E. (1982).- Mineralización del yacimiento polimetálico de Algamarca, Cajamarca. XVI Convención de Ingenieros de Minas del Perú, 9 p.
- TUMIALÁN, P., VILLAFUERTE, C., VALDEZ, R., BERNABÉ, H. (1991).- Mineralización del yacimiento polimetálico de Sayapullo, Cajamarca. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 82, 105 - 111
- VICHARRA, M. (2003).- Rasgos geológicos regionales de Quiruvilca, Huamachuco y Angamarca - Estudio del yacimiento epitermal de oro de baja sulfuración Callullin - La Libertad. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 96, 17 - 34
- VIDAL, C. (1980).- *Mineral deposits associated with the Peruvian Coastal Batholith and its volcanic country rocks - With special reference to the Huaura - Ica region, 11° - 14° S*. Ph.D. thesis, University of Liverpool, Liverpool, England, 240 p.
- VIDAL C., CABOS, R. (1983).- Zonamiento de las alteraciones y menas hidrotermales en Hualgayoc, Cajamarca. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 71, p. 117 - 120.
- WILSON, P. (1975).- *Potassium-argon age studies in Peru with special reference to the emplacement of the Coastal Batholith*. Ph.D. Thesis. University of Liverpool. 299 p.

FIGURAS

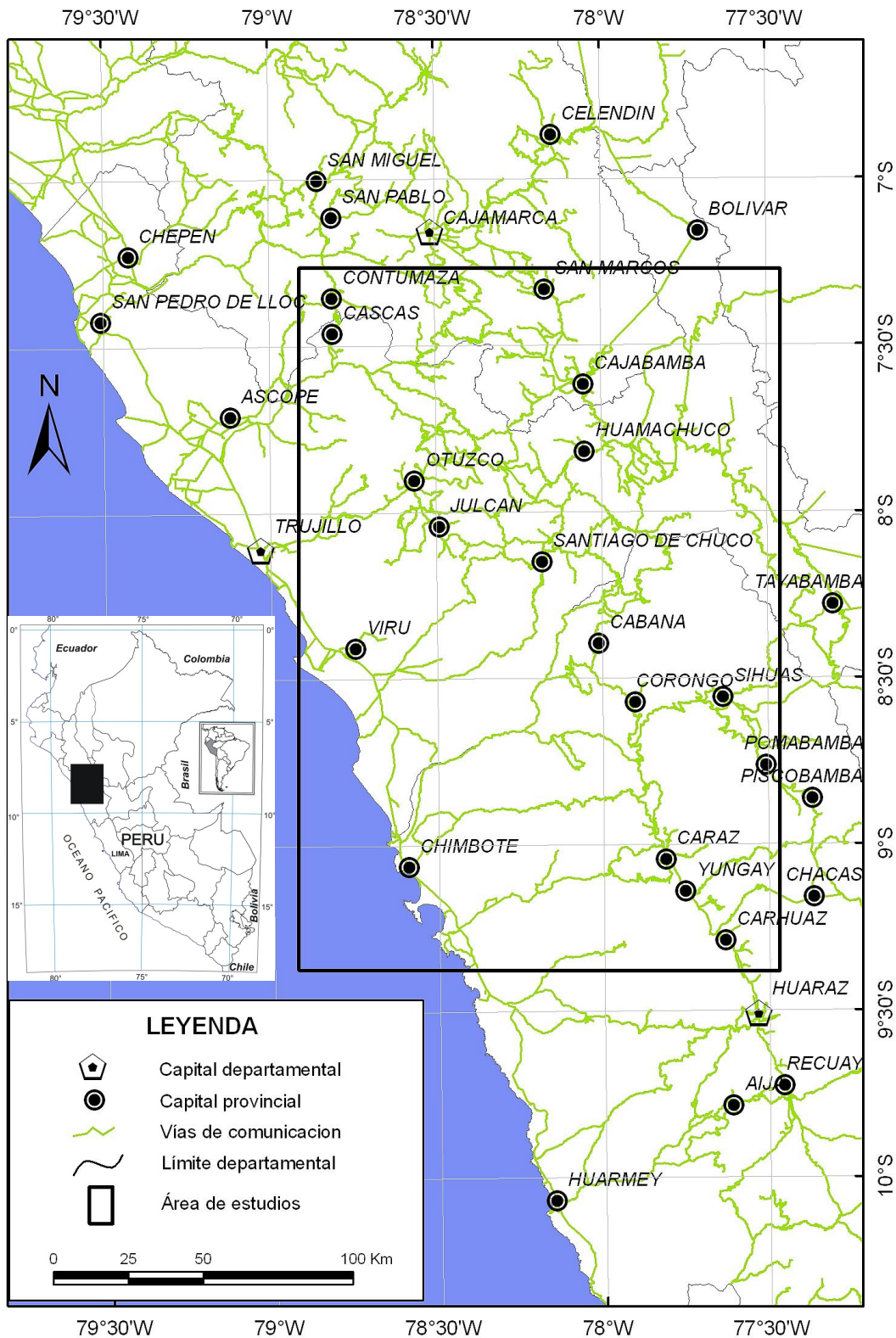


Figura. 1 Mapa de ubicación del área de estudio.

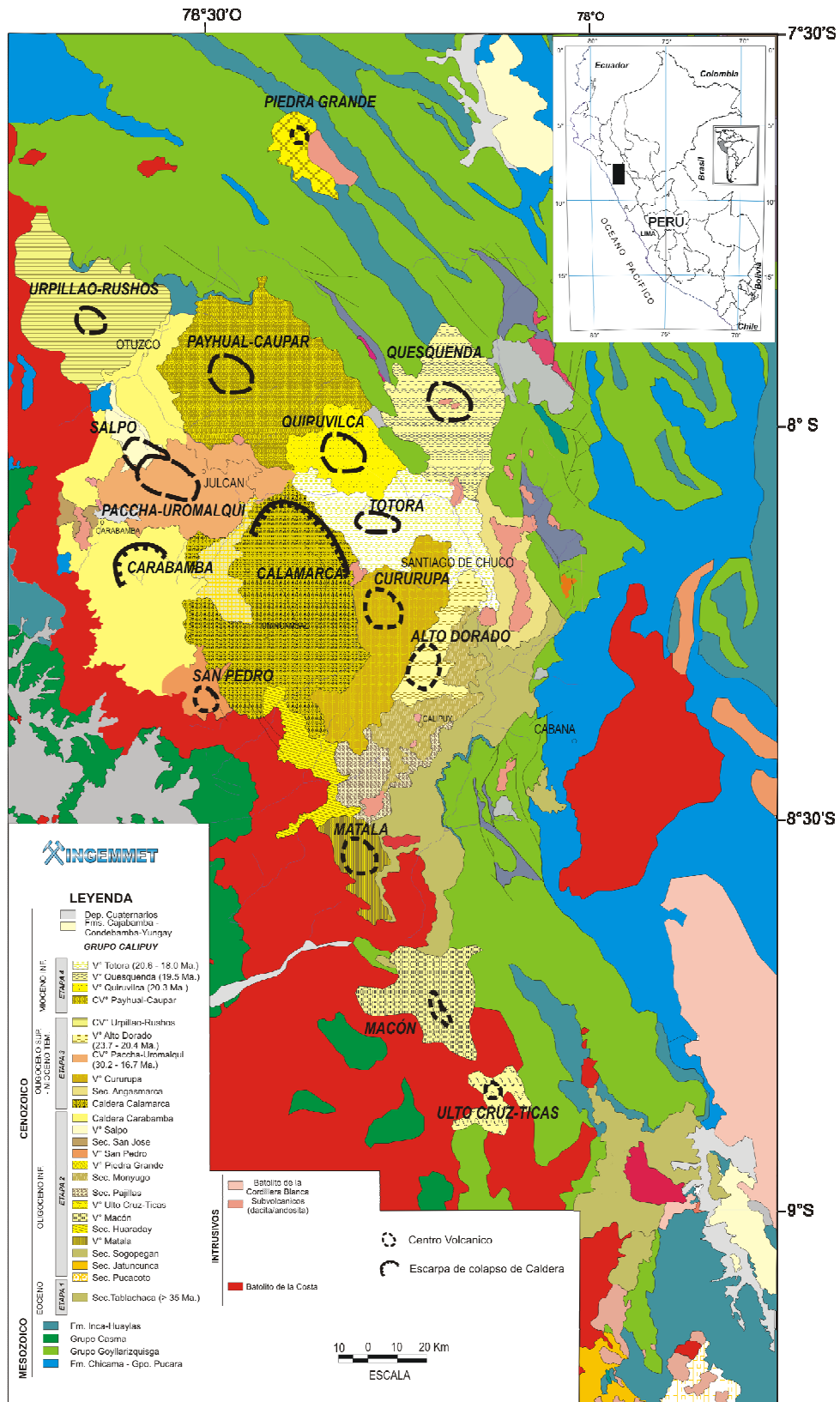


Figura 2. Mapa Geológico Generalizado del área de estudios

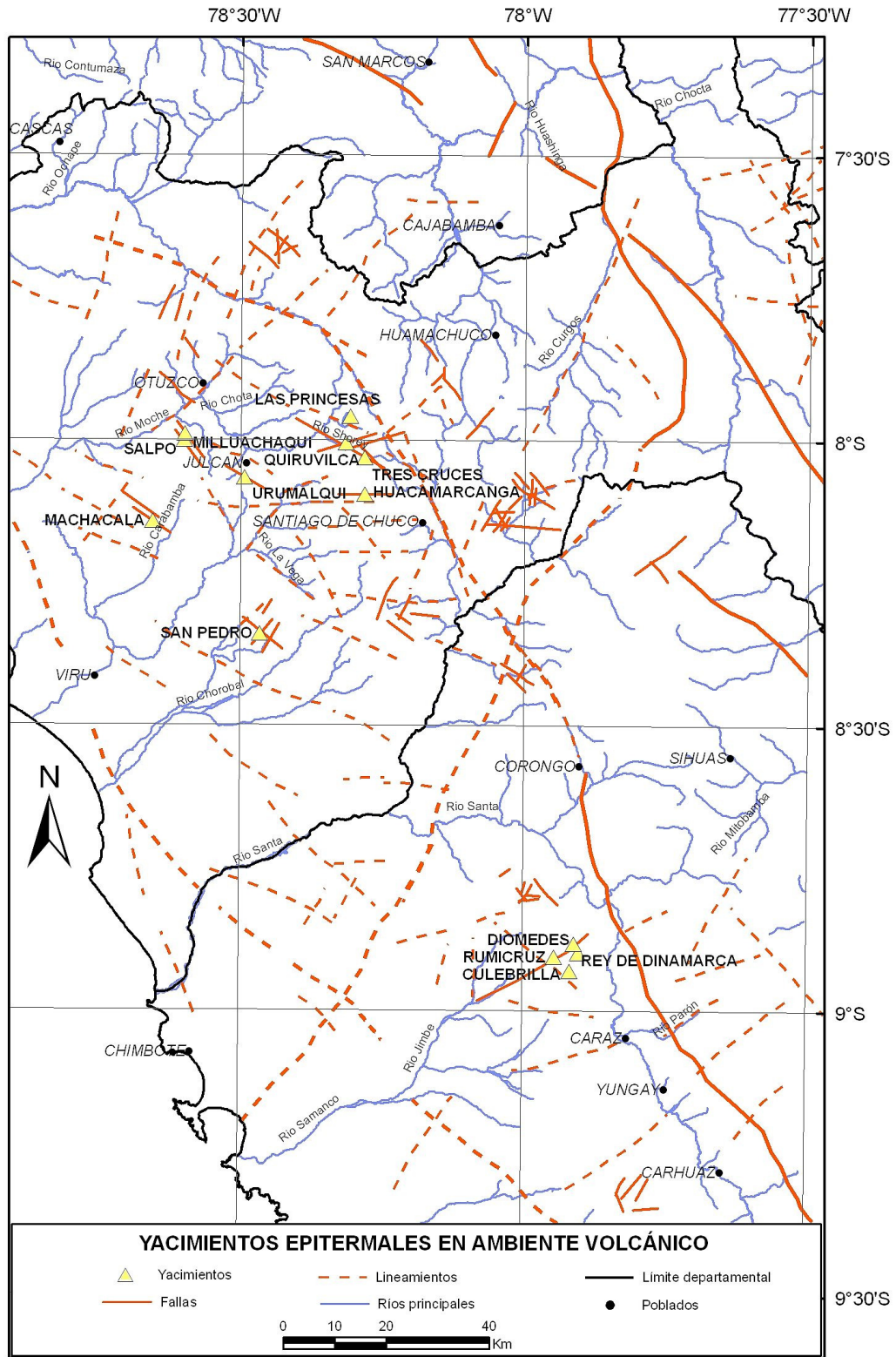


Figura 3. Ubicación de Yacimientos Epitermales en ambiente volcánico

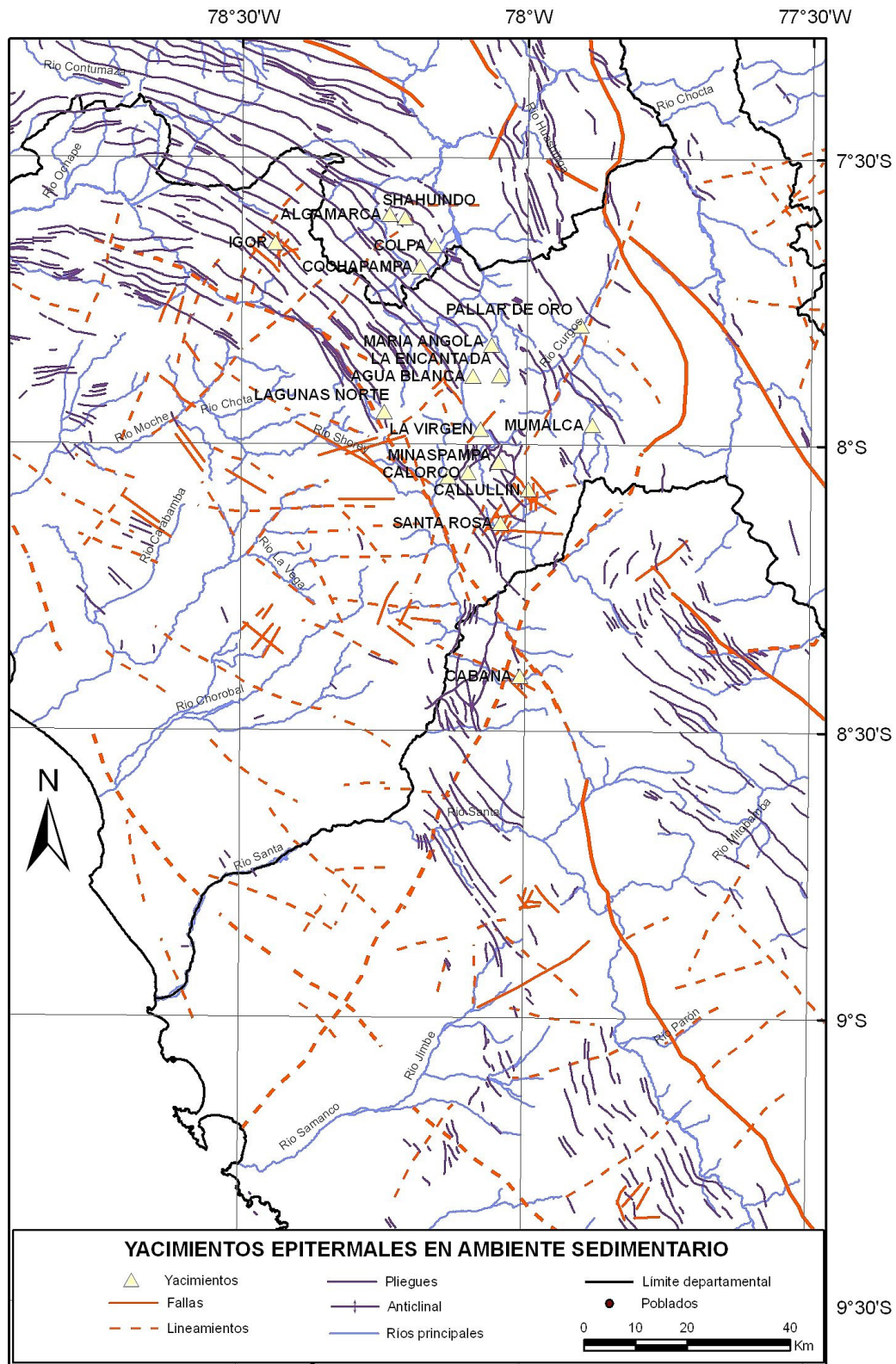


Figura 4. Ubicación de Yacimientos Epitermales en ambiente sedimentario

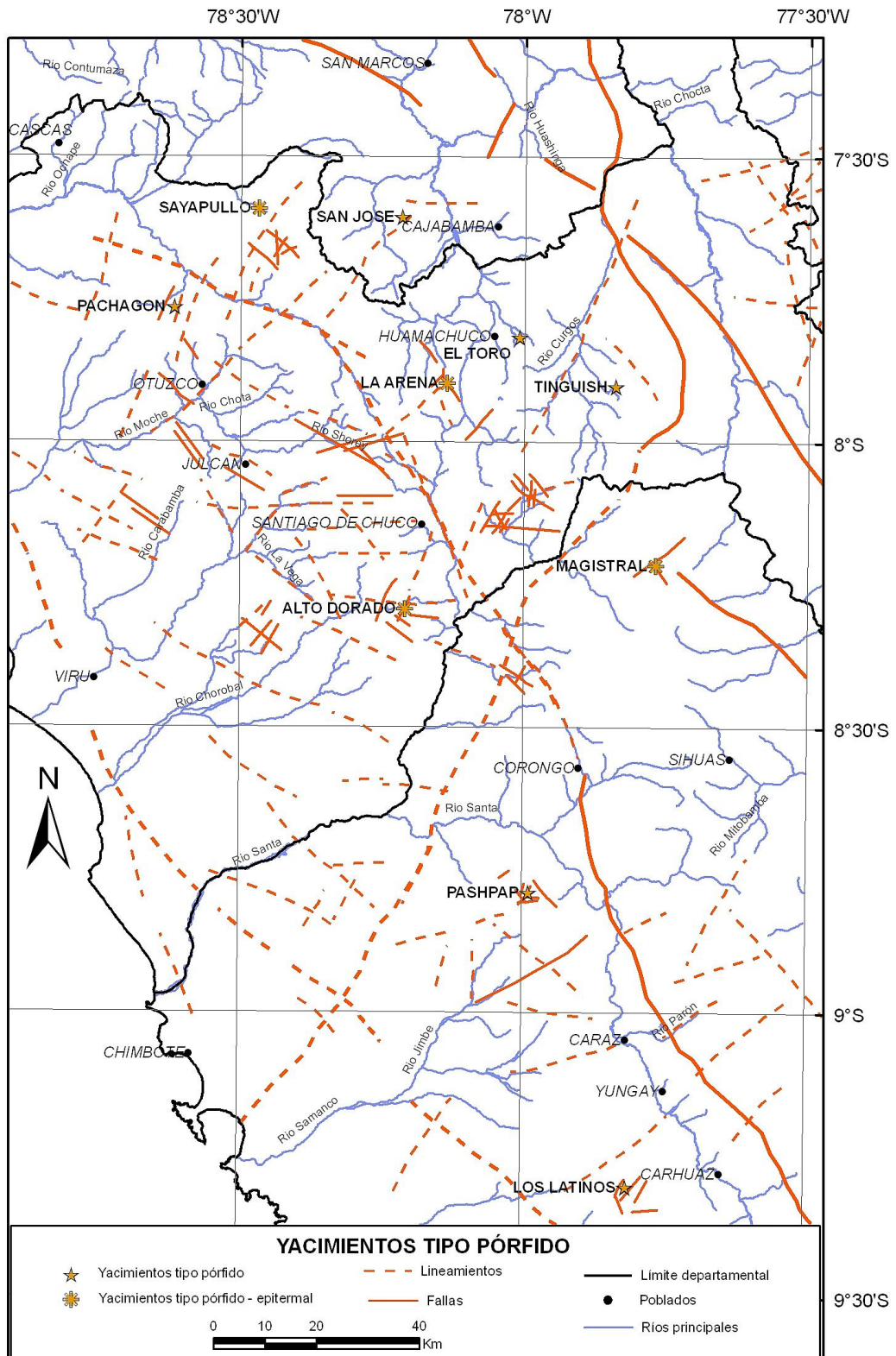


Figura 5. Ubicación de Yacimientos Tipo Pórfido y Pórfido-Epitermal

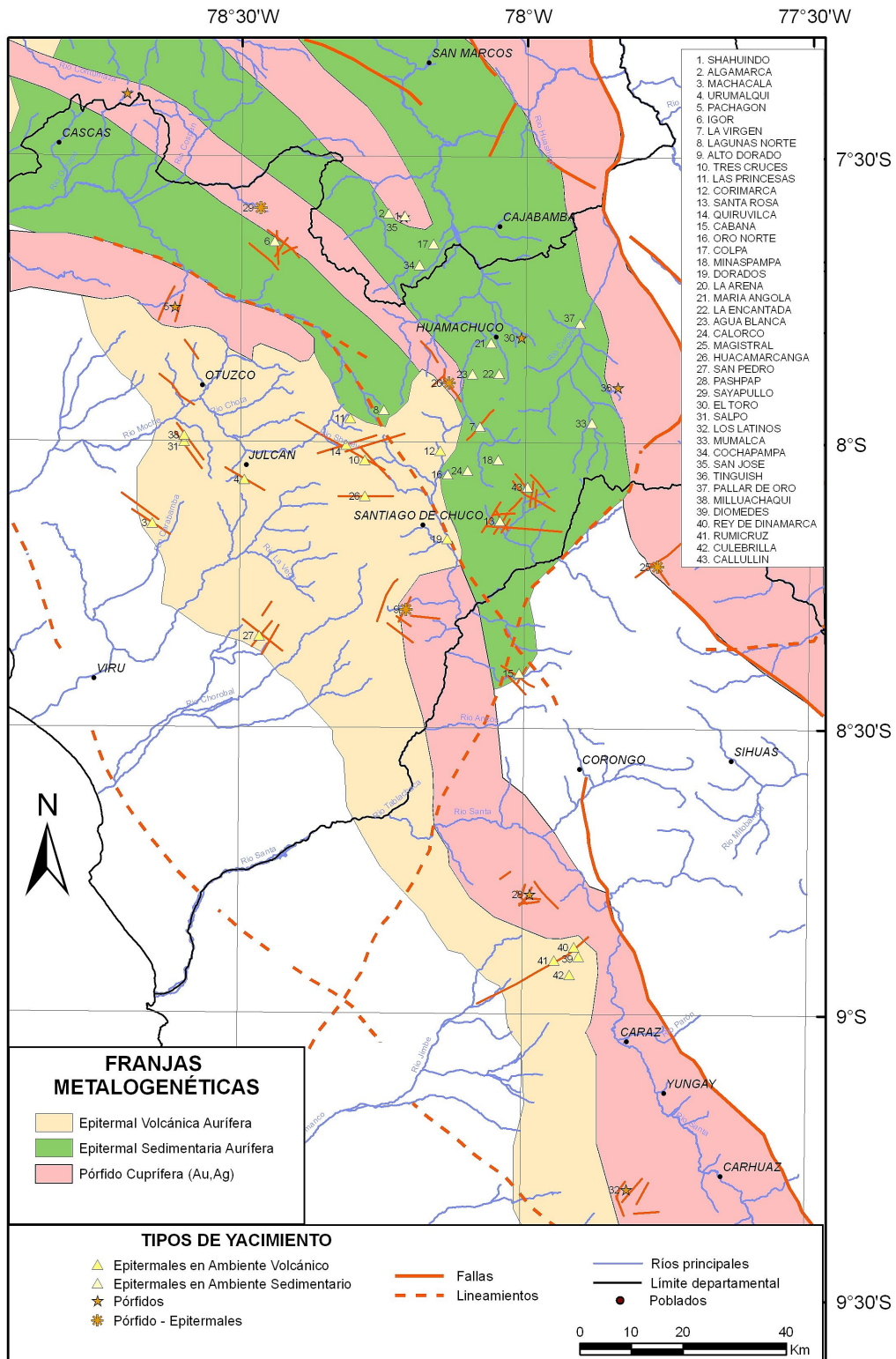


Figura 6. Mapa Metalogénico del área de estudios

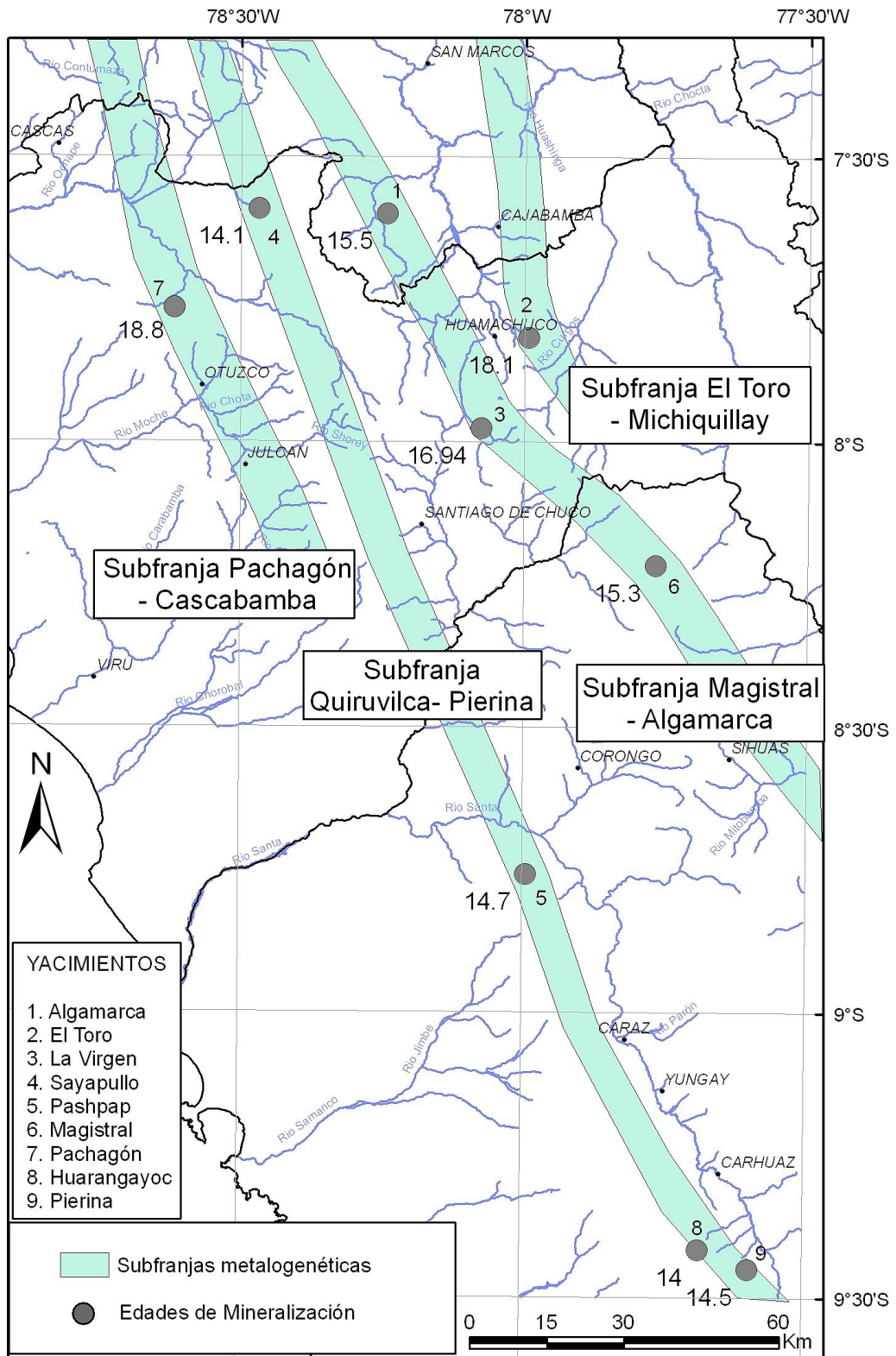


Figura 7. Mapa de Épocas Metalogenéticas del área de estudio (modificado de Noble et al., 2004)

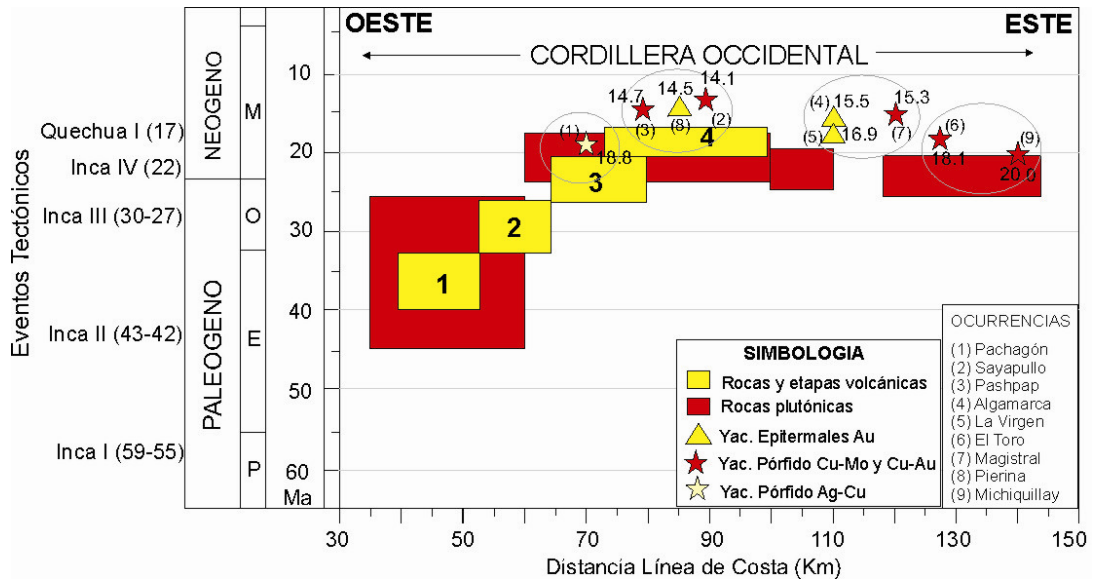


Figura 8. Relación espacio - tiempo de la mineralización y el magmatismo en el área de estudios