



Red DESIR

**MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS
RECURSOS MINERALES**

TESIS DE MAESTRÍA

*“El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias
Metalogenéticas entre 12°15' S y 13°30' S
(Huancavelica – Perú)”*

Rildo RODRÍGUEZ MEJÍA

Setiembre - 2008





Red DESIR

**MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS
RECURSOS MINERALES**

Línea:

Recursos Minerales

TESIS DE MAESTRÍA

*“El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias
Metalogenéticas entre 12°15´ S y 13°30´ S
(Huancavelica – Perú)”*

Rildo RODRÍGUEZ MEJÍA

Setiembre - 2008



CURSO 2007-2008

**MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
MINERALES**

Como director del Trabajo,

Autorizo la presentación de la Tesis de Maestría
***“El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias
Metalogenéticas entre 12°15´ S y 13°30´
(Huancavelica – Perú)***

Realizado por
Rildo Rodríguez Mejía

Bajo mi dirección
y

Jorge Luis Quispe Cangana

Darwin Romero Fernández

Firmado: **Dr. Victor Carlotto Caillaux**

Fecha:



Red DESIR

Constituido el tribunal nombrado por el Coordinador Internacional del Programa de Máster Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales, el día __ de _____ de 2008

Presidente: _____

Vocal: _____

: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis de Maestría el día el día __ de _____ de 2008

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO





***“El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias
Metalogenéticas entre 12°15´ S y 13°30´ S
(Huancavelica – Perú)”***

Memoria de la Tesis de Maestría, que para optar al Título de Master en “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales” impartido por la Red DESIR, presentada por el Ingeniero Geólogo Rildo RODRÍGUEZ MEJÍA

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Director

Dr. Victor Carlotto Caillaux

Tutoría

Jorge Quispe Cangana
Darwin Romero Fernández

Realizada en el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú, con la colaboración de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., Minera Calipuy S.A.C., Minera IRL S.A., Castrovirreyna Compañía Minera S.A., Compañía Minera San Valentín S.A. y Gitennes Exploraciones Perú S.A.

Setiembre 2008
Lima-Perú



ABSTRACT

The Chonta fault system is a regional structure with NW-SE orientation, which is developed along the Western Cordillera in Perú Central, from 12°30' south, to 8°00' north. The average direction of the Chonta fault system is N 135°, with vergence to southwest. The hingewall is characterized by Cenozoic outcrops, moreover the footwall correspond to Triassic-Cretaceous units outcrops. To the south, the Chonta fault system joins the Abancay-Andahuaylas-Totos fault system and constitutes the boundaries of the Precambrian basements of La Amazonía, Arequipa and Paracas.

During Jurassic-Cretaceous times, the tectonic activity of the Chonta fault system was normal and it controlled the dynamics of sedimentary basins. In upper Miocene times, the activity of the Chonta fault system is characterized by different deformation styles, we can distinguish four zones. Three of them correspond to rhombohedron shaped.

Since Late Miocene, we distinguish two events within the Chonta fault system. First event began in upper Miocene to lower Pliocene times (10.4-3.7 Ma), it's a sinistral-reverse system and consists of three subevents: IA, IB and IC. In the IA event (10.4-8.0 Ma), originated three zones rhombohedron in transtension and one tensional zone between the Chonta fault system and Huachocolpa-Huancavelica fault, where there are located the first products of the Apacheta Formation volcanism. In the IB event (8.0-6.0 Ma), there are located within the rhombohedron areas and tensional zone, plutons and subvolcanic domes related to at the final mineralization stages of the Huachocolpa district and the final stages of volcanism polymetallic and gold mineralization. In the IC event (6.0-3.7 Ma) these are located at the final products of the Apacheta Formation volcanism.

The second event, upper Pliocene (less than 3.7 Ma), correspond to dextral movements and affect the mineralization. The rhombohedron zone become transpressive areas, thus closing the structural systems related mineralization.

The sulfides from polymetallic deposits are more enriched in light and heavy rare earth within the Chonta fault system, it is assumed that, these were formed at higher temperatures in relation to bottom and top blocks. Instead light and heavy rare earth in high sulphidation epithermal deposits are more enriched in the footwall.

In factorial analysis, elements factors in high sulphidation epithermal deposits indicate that the hingewall deposits correspond to the highest parts of epithermal system (Picomachay project). In the Chonta fault system, also correspond to highest parts of a epithermal system with interventions of Porphyry systems flows (Corihuarmi mine). While in the footwall, elements correspond to low areas of epithermal systems, with a greater involvement of a Porphyry system. This indicates that gold deposits in the footwall are more eroded, which is confirmed by Mo/Ag-Cu/Au ratios showing a trend toward Cu-Mo to the footwall.

RESUMEN

El sistema de fallas Chonta es una estructura regional de dirección NO-SE que se sigue desde 12°30' al sur, hasta 8°00' al norte, en plena Cordillera Occidental del Perú Central. La dirección promedio del sistema de fallas es N135° y el buzamiento al suroeste. En el bloque techo afloran mayormente unidades cenozoicas y en el bloque piso unidades del Triásico al Cretácico. Al sur, el sistema de fallas Chonta se une con el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos y parece constituir el límite de los basamentos precámbricos de La Amazonía, Arequipa y Paracas.

La actividad del sistema de fallas Chonta desde el Jurásico superior al Cretácico, ha sido normal y ha controlado la dinámica de las cuencas sedimentarias de esta época. En el Mioceno superior, la actividad del sistema de fallas Chonta, ha originado diferentes estilos estructurales, diferenciándose 4 zonas, de las cuales 3 forman estructuras romboédricas.

Desde el Mioceno superior se tienen dos eventos dentro del sistema de fallas Chonta. El primer evento del Mioceno superior al Plioceno inferior (10.4-3.7 Ma), es sinistral inverso y consta de tres subeventos IA, IB y IC. En el evento IA, (10.4-8.0 Ma), se origina la apertura de 3 zonas romboédricas en transtensión y una zona tensional entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica, en donde se instalan los primeros productos del volcanismo de la Formación Apacheta. En el Evento IB (8.0-6.0 Ma), se emplazan, dentro de las zonas romboédricas y en la zona tensional, cuerpos plutónicos y domos subvolcánicos relacionados con la mineralización polimetálica y aurífera. En el evento IC (6.0-3.7 Ma) se emplazan las últimas etapas de mineralización del distrito minero de Huachocolpa y los últimos productos del volcanismo de la Formación Apacheta.

El Segundo evento del Plioceno superior (menor a 3.7 Ma), corresponde a movimientos dextrales y afectan a toda la mineralización relacionada con el sistema de fallas Chonta. Las zonas romboédricas se vuelven zonas transpresivas, y de esta forma se cierran los sistemas estructurales relacionados con la mineralización.

Los sulfuros de los depósitos polimetálicos son más enriquecidos en tierras raras ligeras y pesadas dentro del sistema de fallas Chonta, por lo que se asume que son de mayor temperatura, en relación con los depósitos del bloque piso y techo. En cambio las tierras raras ligeras y pesadas en los depósitos epitermales de alta sulfuración están más enriquecidas en los depósitos del bloque piso.

En el análisis factorial, los factores de elementos traza de los depósitos epitermales de alta sulfuración indican que en el bloque techo, los depósitos corresponden a partes altas de un sistema epitermal (proyecto Picomachay). Los depósitos en el mismo sistema de fallas Chonta, corresponden también a las partes altas de un sistema epitermal con intervenciones de fluidos de sistemas porfiríticos (mina Corihuarmi). En tanto que el bloque piso los depósitos, corresponden a zonas bajas de un sistema epitermal, con mayor intervención de un sistema porfirítico (proyectos Arcopunco y Terciopelo). Esto indica que los depósitos auríferos del bloque piso están más erosionados, lo cual es confirmado con los cocientes Mo/Ag-Cu/Au que muestran una tendencia a Cu-Mo hacia el bloque piso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), porque gracias a esta Institución fue posible la realización de la presente tesis.

Del mismo modo agradezco al Dr. Víctor Carlotto Caillaux, Director de Geología Regional del INGGEMMET y Director de la presente tesis, por su apoyo, críticas y asesoramiento, durante el desarrollo y culminación del estudio.

Igualmente agradezco al Dr. José Macharé quien fue Director Ejecutivo del INGGEMMET y propicio el inicio de la presente tesis.

A las siguientes empresas mineras: Cía. de minas Buenaventura S.A.A., Minera Calipuy S.A.C., Minera IRL S.A., Castrovirreyna Compañía Minera S.A., Compañía Minera San Valentín S.A. y Gitennes Exploraciones Perú S.A. por permitirme el ingreso a las minas y/o proyectos mineros que fueron estudiados en la presente tesis, igualmente por el apoyo en el campo y/o por brindarme la data geoquímica de elementos traza.

Al Dr. César Vidal, gerente de exploraciones de Cía. de minas Buenaventura S.A.A. por brindarme todas las facilidades para el presente trabajo, por sus consejos y recomendaciones.

A mis amigos Darwin Romero y Jorge Quispe por su apoyo, consejos y discusiones durante el desarrollo de la presente tesis.

A la Dra. Verónica Herrera por la revisión y consejos en el tema de geoquímica.

A mis compañeros del INGGEMMET, en especial a Harmuth Acosta y Luis Cerpa por sus críticas y ayudas que fueron necesarias.

Dedico este trabajo a mi hija Gabriela.

CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMIENTOS	III
1 INTRODUCCIÓN	
	1
1.1 PROBLEMÁTICA E INTERES DEL TEMA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 HIPÓTESIS	2
1.4 CONTEXTO TECTÓNICO DE LOS ANDES CENTRALES	2
2 FUNDAMENTO TEÓRICO Y METODOLOGIA DE ESTUDIO	6
2.1 ANALISIS ESTRUCTURAL	6
2.1.1 Toma de datos.	6
2.1.2 Análisis gráfico de fallas	6
2.2 ANÁLISIS GEOQUÍMICO	10
2.2.1 Método de muestreo y base de datos	10
2.2.2 Geoquímica de tierras raras (REE) en depósitos hidrotermales	10
2.2.3 Geoquímica de elementos traza	11
3 EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN EL CONTEXTO TECTÓNICO	13
3.1 EL BASAMENTO PRECÁMBRICO	13
3.1.1 Basamento de La Amazonía	13
3.1.2 Basamento de Arequipa-Antofalla	13
3.1.3 Basamento Paracas	15
3.1.4 Conclusiones del basamento Precámbrico	15
3.2 DOMINIOS ESTRATIGRÁFICOS	16
3.2.1 Dominio Occidental	18
3.2.2 Dominio Central	18
3.2.3 Dominio de las Altiplanicies	19
3.2.4 Dominio Sur	19
3.2.5 Dominio de Ayacucho	20
3.3 DESCRIPCIÓN DE SECCIONES ESTRUCTURALES	20
3.3.1 Sección A-A`	20
3.3.2 Sección B-B`	23
3.3.3 Sección C-C`	23
3.3.4 Sección D-D`	24
3.3.5 Sección E-E`	24
3.4 CONCLUSIONES DE LOS DOMINIOS ESTRATIGRÁFICOS	26
3.5 DISCUSIÓN	26
4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA	27
4.1 ZONAS ESTRUCTURALES Y DINÁMICA	27
4.1.1 Zona 1 (Minas Solitaria-Yauricocha)	27

4.1.2 Zona 2 (Ancochucco-Río Cachimayo)	32
4.1.3 Zona 3 (Pampamarca-El hallazgo)	38
4.1.4 Zona 4 (Licapa)	42
4.2 DINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA	46
5 EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA RELACIONADA CON OTRAS FALLAS REGIONALES Y EL EMPLAZAMIENTO DE DEPÓSITOS DE MINERALES	49
5.1 PERMO-TRIÁSICO	49
5.2 MESOZOICO	49
5.3 CENOZOICO	50
6 GEOQUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS DE MINERALES RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA	54
6.1 GEOQUÍMICA DE REE DE LOS DEPÓSITOS AURÍFEROS	54
6.1.1 Proyecto Tucumachay	54
6.1.2 Proyecto Picomachay	57
6.1.3 Proyecto Carmela	59
6.1.4 Proyecto Arcopunco	61
6.1.5 Proyecto Terciopelo	62
6.1.6 Relaciones entre zonas auríferas	63
6.2 GEOQUÍMICA DE REE DE DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS	65
6.2.1 Mina Solitaria.	65
6.2.2 Mina Recuperada	67
6.2.3 Mina San Genaro	68
6.2.4 Proyectos El Milagro y Titiminas	70
6.2.5 Relaciones entre zonas polimetálicas	71
6.3 ELEMENTOS TRAZA EN DEPÓSITOS EPITERMALES DE ALTA SULFURACIÓN (EXPLORADOS POR Au-Ag) RELACIONADOS AL SISTEMA DE FALLAS CHONTA	73
6.3.1 Abundancia de los elementos traza	74
6.3.2 Distribución de los elementos traza	75
6.3.3 Correlaciones Binarias	75
6.3.4 Grupos y Factores de Minerales	76
6.3.5 Implicancias de los elementos traza en la geodinámica y en la exploración de depósitos epitermales de alta sulfuración	80
6.4 LA GEOQUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS ASOCIADOS CON EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN RELACIÓN CON EL CONTEXTO TECTÓNICO	81
7 DISTRIBUCIÓN METALOGENÉTICA DE LOS DEPÓSITOS DE MINERALES ASOCIADOS AL SISTEMA DE FALLAS CHONTA	83
7.1 EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN RELACIÓN CON DISTRITOS MINEROS	83
7.1.1 Distrito minero de Huachocolpa	83
7.1.2 Distrito minero de Julcani	85
7.1.3 Distrito minero de Castrovirreyna	85
7.1.4 Distrito minero de Yauricocha-Solitaria	86

7.1.5 Distrito minero El Palomo	87
7.1.6 Distrito minero Santa Bárbara	87
7.1.7 Distrito minero de Corihuarmi	88
7.1.8 Distrito minero de Picomachay	89
7.1.9 Distrito minero de El Milagro	89
7.1.10 Proyectos epitermales de alta sulfuración	90
7.1.11 Proyectos auríferos relacionados con metales base emplazados en calizas	91
7.2 EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN EL CONTEXTO DEL MAPA METALOGENÉTICO DEL PERÚ	91
7.2.1 Franja XXI	92
7.2.2 Franja XXIII	92
8 CONCLUSIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa esquemático de América del Sur.

Figura 1.2: Esquema morfoestructural de los andes y esquema morfoestructural de la zona de estudio.

Figura 2.1: Principales indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas.

Figura 2.2: Esquema de movimientos en una zona transcurrente.

Figura 2.3: Relación geométrica de fallas en el modelo de cizallamiento.

Figura 2.4: Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red de estereografía de Schmit.

Figura 2.5: Planos nodales, trazados a partir de poblaciones de polos. Círculos blancos son polos extensivos y círculos negros son polos compresivos.

Figura 2.6: Distinto tipos de movimientos representados en la representación gráfica de planos modales.

Figura 2.7: Cálculo de matrices de similitud y construcción de dendograma.

Figura 2.8: Ejemplo de análisis de de Factores.

Figura 3.2: Límites aproximados de los basamento del Precámbrico asociado a fallas regionales en el centro del Perú.

Figura 3.3: Dominios tecto-estratigráficos de la zona de estudio controlados por fallas regionales.

Figura 3.4: Columnas estratigráficas de los dominios tecto-estratigráficos relacionados al sistema de fallas Chonta.

Figura 3.4: Secciones estructurales mostrando la relación del sistema de fallas Chonta con otras fallas regionales.

Figura 3.5: Esquema paleogeográfico para el Jurasico medio-Cretácico.

Figura 4.1: El sistema de fallas Chonta, en relación con los depósitos de minerales.

Figura 4.2: El sistema de fallas Chonta en la Zona 1. Mina Solitaria-Yauricocha.

Figura 4.3: Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta en la zona 1. Mina Solitaria-Yauricocha.

Figura 4.4: El sistema de fallas Chonta en la Zona 2. Ancochuco-Río Cachimayo.

Figura 4.5. Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta en la zona 2, Ancochuco-Río Cachimayo.

Foto 4.2: Arriba, falla F1, de la estructura romboédrica de la Zona 2, al sur de la mina Mi Recuerdo, pone en contacto a la Formación Chulec (Cretácico inferior) con la Formación Sacsaquero. Abajo, detalle de fallas menores del sistema de fallas Chonta.

Figura 4.6: El sistema de fallas Chonta en la Zona 3. Pampamarca-El Hallazgo.

Figura 4.7: Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta en la zona 3, Pampamarca-El Hallazgo.

Figura 4.8: Croquis del proyecto El Hallazgo.

Figura 4.9: El sistema de fallas Chonta en la Zona 4. Licapa.

Figura 4.10: Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta la Zona 4. Licapa.

Figura 4.11: Análisis cinemática de la falla Los Libertadores en la carretera del mismo nombre.

Figura 4.12: Eventos de deformación registrados en el sistema de fallas Chonta.

Figura 4.13: Manifestación magmática y mineralización acompañada de la dirección de movimiento de apertura y cierre en las 4 zonas del sistema de fallas Chonta.

Figura 5.1: Representación esquemática del cambio de facies, controlado por fallas normales, desde el Jurásico al Cretácico entre el Dominio Occidental y el Dominio Central. El sistema de fallas Chonta corresponde a reactivaciones en el Mioceno.

Figura 5.2: Evolución del sistema de Fallas Chonta en relación con otras fallas regionales y el emplazamiento de yacimientos de minerales.

Figura 6.1 Mapa geológico del Proyecto Tucumachay.

Figura 6.2 Diagramas de araña normalizados al condrito del proyecto Tucumachay.

Figura 6.3 Esquema geológico del proyecto Picomachay.

Figura 6.4 Diagrama de araña normalizado al condrito del proyecto Picomachay.

Figura 6.5 Croquis del proyecto Carmela.

Figura 6.6 Diagrama de araña normalizado al condrito del proyecto Carmela.

Figura 6.7 Croquis del proyecto Arcopunco.

Figura 6.8 Diagrama de araña normalizado al condrito del proyecto Arcopunco.

Figura 6.9 Croquis del proyecto Terciopelo.

Figura 6.10 Diagrama de araña normalizado al condrito del proyecto Terciopelo.

Figura 6.11 Comparación de las REE en los depósitos de oro relacionados al sistema de fallas Chonta.

Figura 6.12 Mapa Geológico de la mina Solitaria.

Figura 6.13 Diagrama de araña normalizado al condrito de la mina Solitaria.

Figura 6.14 Distribución de vetas de la unidad minera Recuperada.

Figura 6.15 Diagrama de araña normalizado al condrito de la unidad minera Recuperada.

Figura 6.16 Distribución de las vetas de baja sulfuración en la mina San Genaro.

Figura 6.17 Diagrama de araña normalizado al condrito de la mina San Genaro.

Figura 6.18 Mapa geológico de los proyectos El Milagro y Titiminas.

Figura 6.19 Diagrama de araña normalizado al condrito de los proyectos El Milagro y Titiminas.

Figura 6.20: Comparación de las REE en los depósitos polimetálicos relacionados al sistema de fallas Chonta.

Figura 6.21: Media aritmética en ppm de la distribución de elementos traza en los depósitos epitermales relacionados al sistema de fallas Chonta.

Figura 6.22. Distribución del oro en los depósitos epitermales de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta.

Figura 6.23: Denodogramas de los depósitos auríferos asociados al sistema de fallas Chonta.

Figura 6.24: Análisis de factores de las muestras de depósitos auríferos relacionados al sistema de fallas Chonta.

Tabla 6.3: Grupo de elementos y factores dentro de los depósitos auríferos de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta.

Figura 6.25: Comparación de ratios Mo/Ag-Cu/Au de los depósitos auríferos del sistema de fallas Chonta.

Figura 6.26: El sistema de fallas Chonta en relación con el contenido de cromo de los yacimientos epitermales de alta sulfuración, con las provincias isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y plomo y con los límites de basamentos Precámbricos.

Figura 7.1: El sistema de fallas Chonta en relación con el los distritos metalogenéticos de la región.

Figura 7.2: Mapa Metalogenético del Perú e influencia del sistema de fallas Chonta en las franjas metalogenéticas.

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de muestras tratadas en el estudio geoestadístico de los depósitos auríferos relacionados al sistema de fallas Chonta.

Tabla 6.1 Base de datos de elementos preciosos, metales base y REE de los depósitos de oro y polimetálicos.

Tabla 6.2 Correlaciones binarias del oro en los depósitos epitermales de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta.

Tabla 6.3: Grupos de elementos y factores dentro de los depósitos auríferos de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta.

RELACIÓN DE FOTOS

Foto 4.1. Estrías de fallas en un dique dacítico correspondientes de la estación microtectónica YA.

Foto 4.2: Falla F1, de la estructura romboédrica de la Zona 2 y detalle de fallas menores del sistema de fallas Chonta.

Foto 4.3. Los volcánicos de la Formación Apacheta, sellan en sistema de fallas Chonta.

Foto 4.4: La falla F1 del sistema de fallas Chonta (Zona 4), pone en contacto a las calizas de la Formación Chunumayo sobre las areniscas de la Formación Casapalca.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA E INTERÉS DEL TEMA

Los principales estudios regionales que abarca el sistema de fallas Chonta son de Mégard (1978) y Soler (1991) quienes realizaron estudios con la finalidad de determinar la evolución geodinámica del centro del Perú. Posteriormente Salazar y Landa (1993) cartografiaron las unidades litológicas a ambos lados del sistema de fallas Chonta.

Soulas (1977) determinó para las fallas regionales de Huancavelica movimientos sinestrales y un evento dextral. Posteriormente Ángeles (1987) realiza el primer estudio en sistema de fallas Chonta, precisamente en los alrededores de la Mina Yauricocha. Este autor determinó un sistema de sobre-escurrimientos NO-SE con vergencia al noreste y que afectan a rocas del Jurásico superior y del Cretácico, además confirma una dirección del estado de esfuerzos N55°E en el Mioceno superior, la cual es compatible para producir un movimiento dextral en el sistema de fallas Chonta. Igualmente Ángeles (1987) establece para el Jurásico superior-Cretácico un límite paleogeográfico activo conformado a la época por fallas normales que corresponden al sistema de fallas Chonta. Posteriormente Wise y Noble (2001) realizaron estudios entre Licapa y Pampamarca., al sur de la zona de estudio, donde determinaron sólo movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta que afectan a rocas del Cenozoico. Así mismo, estos autores afirman que el sistema de fallas Chonta no está relacionado con los yacimientos polimetálicos de gran tonelaje que se encuentran en la zona de estudio.

El Centro del Perú se caracteriza por la presencia de yacimientos polimetálicos (Soler, 1982, 1986; Soler y Lara, 1990; Petersen, 1965; 1999, Noble 1999; Vidal y Noble 1994 entre otros). En la zona de estudio se encuentran 4 distritos mineros con contenido polimetálico, ellos son, Castovirreyna (Lewis, 1964 y Wise, 2005), Huachocolpa (Injoque et al., 1988; Meza et al., 2002, Cabos 2005), Julcani (Petersen et al., 1977; Noble y Silberman, 1984; Deen et al., 1994) y Yauricocha (Thomson, 1960; Valdivia, 1996 y Rado 1997).

En los últimos años, en el límite Cordillera Occidental y Altiplanicies, se vienen descubriendo yacimientos auríferos diseminados del tipo alta sulfuración (Valdivia y Meza 1998), tales como Corihuarmi (Gonzales, inédito), Picomachay (Kelso, 2006; Martínez et al., 2006), Huamanraso (Chenau, 1998), Terciopelo, Arcopunco, entre otros, también yacimientos auríferos semejantes a un tipo Carlin como Tucumachay (Blackwell et al., 2005; Fernández-Baca et al., 2006) y al norte de la mina Yauricocha (Rado 1997). Igualmente, se ha descubierto el depósito polimetálico El Milagro (Valdivia y Paullo, 2006). Todos estos yacimientos se encuentran relacionados al sistema de fallas Chonta.

De lo descrito líneas arriba, se puede apreciar que a pesar de la existir numerosos yacimientos y prospectos a lo largo de la zona de influencia del sistema de fallas Chonta, no existen estudios estructurales que muestren la relación entre la tectónica y la mineralización, por lo tanto, un estudio estructural regional a lo largo del sistema de fallas Chonta, acompañado de un estudio geoquímico de los yacimientos asociados, permitirá determinar zonas estructurales con diferentes características geoquímicas, con la finalidad de poder identificar nuevas áreas con interés exploratorio en yacimientos auríferos o polimetálicos.

1.2 OBJETIVOS

- Realizar el análisis estructural del sistema de fallas Chonta y determinar sus relaciones con los depósitos de minerales adyacentes.
- Determinar las características geoquímicas de los depósitos de minerales que están relacionados al sistema de falla Chonta.
- Determinar la evolución cinemática del sistema de fallas Chonta como control de cuencas sedimentarias y el emplazamiento de depósitos de minerales.
- Proponer límites de los distritos metalogenéticos influenciados por el sistema de fallas Chonta.

1.3 HIPOTESIS

De acuerdo con los estudios anteriores del sistema de fallas Chonta, se plantea las siguientes hipótesis.

- El sistema de fallas Chonta, corresponde a una estructura cortical, la cual ha controlado la evolución de las cuencas sedimentarias del Jurásico hasta al Mioceno y además, el emplazamiento de magmatismo en el Mioceno.
- Los yacimientos presentan diferente composición química a ambos lados del sistema de fallas Chonta, pues el basamento precámbrico, de un lado y otro de esta estructura, está conformado de diferentes bloques litosféricos, y por lo tanto, el enriquecimiento mineralógico es diferente a ambos lados del sistema de fallas Chonta.
- El periodo de actividad más importante, desde el punto de vista económico, del sistema de Fallas Chonta, es a partir del Eoceno, pues se emplazan los depósitos de minerales del tipo epitermal. Es también en este periodo que se desarrollan cuencas continentales sin-orogénicas controladas por el sistema de fallas Chonta.
- El sistema de fallas Chonta, constituye el límite entre el borde occidental del basamento litosférico Amazonia y el basamento Paracas (Ramos, 2008)

1.4 CONTEXTO TECTÓNICO DE LOS ANDES CENTRALES

La Cordillera de los Andes se encuentra en la parte occidental del continente sudamericano, abarca cerca de 8000 km de longitud desde el mar del Caribe por el norte, hasta el mar de Scotia por el sur, con elevaciones que llegan a los 7000 msnm. El origen de los Andes es una consecuencia de la actividad tectónica, producto de la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental de Sudamérica (Dewey y Bird, 1970; James, 1971). Los Andes pueden ser divididos en tres partes (Figura 1.1-Garsser, 1973)

- Los Andes Septentrionales, se extienden desde el norte de Venezuela (12° de latitud norte) hasta el norte del Perú (4° de latitud sur). Son el resultado de una importante acreción de corteza oceánica entre el Jurásico y el Paleoceno (Bosch y Rodríguez, 1992; Kellogg y Bonini, 1982; Jaillard, 2004).
- Los Andes Centrales se prolongan del norte Perú (4° de latitud S) hasta la Argentina (44° de latitud S). Son el resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa de Sudamérica, acompañado del arco volcánico, ubicado entre el sur del Perú y norte

de Chile. Los Andes Centrales puede ser divididos en tres sectores: Norte, Centro y Sur (Sévrier y Soler, 1991, Isacks, 1988, Allmendinger et al., 1997).

- Los Andes Australes o Meridionales se desarrollan entre 40° y 55° de latitud S. Este segmento de la Cordillera de los Andes está interpretado como el resultado de la subducción de las placas oceánicas Nazca, Antártica y Scotia bajo el continente Sudamericano.

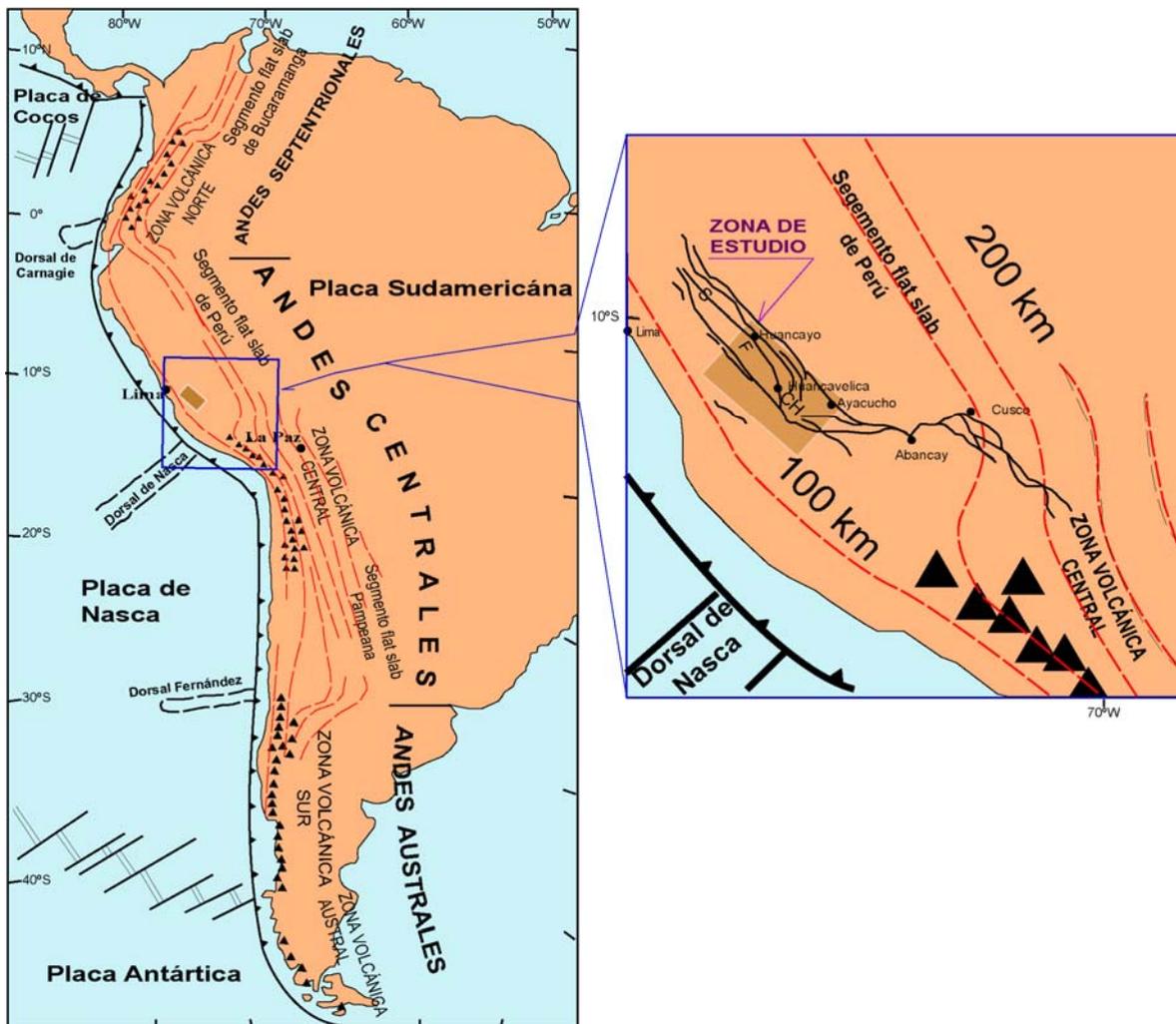


Figura 1.1: Izquierda: Mapa esquemático de América del Sur y las placas oceánicas del Pacífico, mostrando los cuatro segmentos volcánicamente activos y las 3 zonas de *flat slab*. Tomado de Stern (2004). Derecha: el sistema de fallas Chonta con relación a la zona Volcánica Central y a la zona de *flat slab* de Perú.. Las líneas rojas indican la geometría de subducción determinada por la profundidad en kilómetros a la zona de Benioff

La geometría del ángulo de subducción define 4 zonas con presencia de volcanismo activo cada uno con diferentes características (Figura 1.1): zona volcánica del norte (NVZ) entre 2° latitud sur y 5° latitud norte, zona volcánica central (CVZ) entre 15° y 28° latitud sur, zona volcánica del Sur (SVZ) entre 33° y 46° latitud sur y zona volcánica austral (AVZ) entre 47° y 54° latitud sur. (Ramos 1999; Thorpe y Francis, 1979; Thorpe, 1984; Stern y Kilian, 1996)

Entre las zonas volcánicas de la Cordillera de los Andes, se encuentran 3 zonas conocidas como zonas de *flat-slab* (Ramos, 1999, Stern, 2004), sin actividad volcánica y con ángulo de subducción bajo, estas zonas son: zona de *flat-slab* de Bucaramanga se desarrolla desde 5° latitud norte hasta llegar al océano Atlántico, zona de *flat-slab* de Perú entre 5° y 14° latitud sur y zona de *flat-slab* Pampeana entre 28° y 33° latitud sur.

La zona de estudio, pertenece al sector norte los Andes Centrales, este sector abarca desde la deflexión de Huancabamba por el norte, hasta deflexión de Abancay al sur y corresponde a la zona del *flat slab* actual de Perú. El sistema de fallas Chonta, se encuentra al norte del sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos (Carlotto, 2008a) el cual correspondería al límite entre los basamentos precámbricos de Arequipa-Antofalla y Paracas (Ramos, 2008, Carlotto, 2008a).

Morfoestructuralmente los Andes están divididos en Costa, Cordillera Occidental, Altiplano, Cordillera Oriental y Zona Subandina (Figura 1.2A). En la zona de estudios se encuentran la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental separadas por una zona denominada Altiplanicies interandinas (Figura 1.2B). Esta última unidad está controlada, al noreste por el sistema de fallas Ayacucho-Cerro de Pasco y al suroeste por el sistema de fallas Chonta y el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

La Cordillera Occidental está formada por montañas que pueden llegar hasta los 5000 msnm y son cortadas por valles encañonados, donde afloran rocas de origen marino y continental, como las lutitas de la Formación Chicama (Jurásico superior) areniscas del Grupo Goyllarizquisga (Cretácico inferior), calizas de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín (Cretácico medio-superior) y rocas volcano-sedimentarias del Paleoceno-Mioceno de la Formación Casapalca, Formación Tantará, Grupo Sacsacero, Formación Castrovirreyna, Formación Auquivilca, Formación Caudalosa y Formación Astobamba.

Las Altiplanicies interandinas, están conformadas por relieves suaves con altura promedio de 4000 msnm, destacando las planicies de Ayacucho y Huancayo, las cuales están separadas por zona de valles profundos, entre Mariscal Cáceres y Huachocolpa. En las Altiplanicies interandinas afloran rocas metamórficas del Precámbrico?-Paleozoico inferior, secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Mitu (Pérmico superior-Triásico inferior), calizas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico inferior) y la Formación Chunumayo (Jurásico medio) areniscas de origen continental del Grupo Goyllarizquisga, calizas de las formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha (Cretácico) y rocas volcano-sedimentarias de la Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno y el Grupo Sacsacero del Eoceno superior.

La Cordillera Oriental está formada por montañas que pueden sobrepasar los 5000 msnm, y están compuestas por rocas metamórficas del Paleozoico inferior con núcleos de rocas del Precámbrico. En la parte central de la Cordillera Oriental, se encuentran cuerpos plutónicos de edad Pérmico superior-Jurásico, mientras que al límite con las Altiplanicies interandinas se encuentran rocas volcano-sedimentarias del Grupo Mitu y calizas del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior).

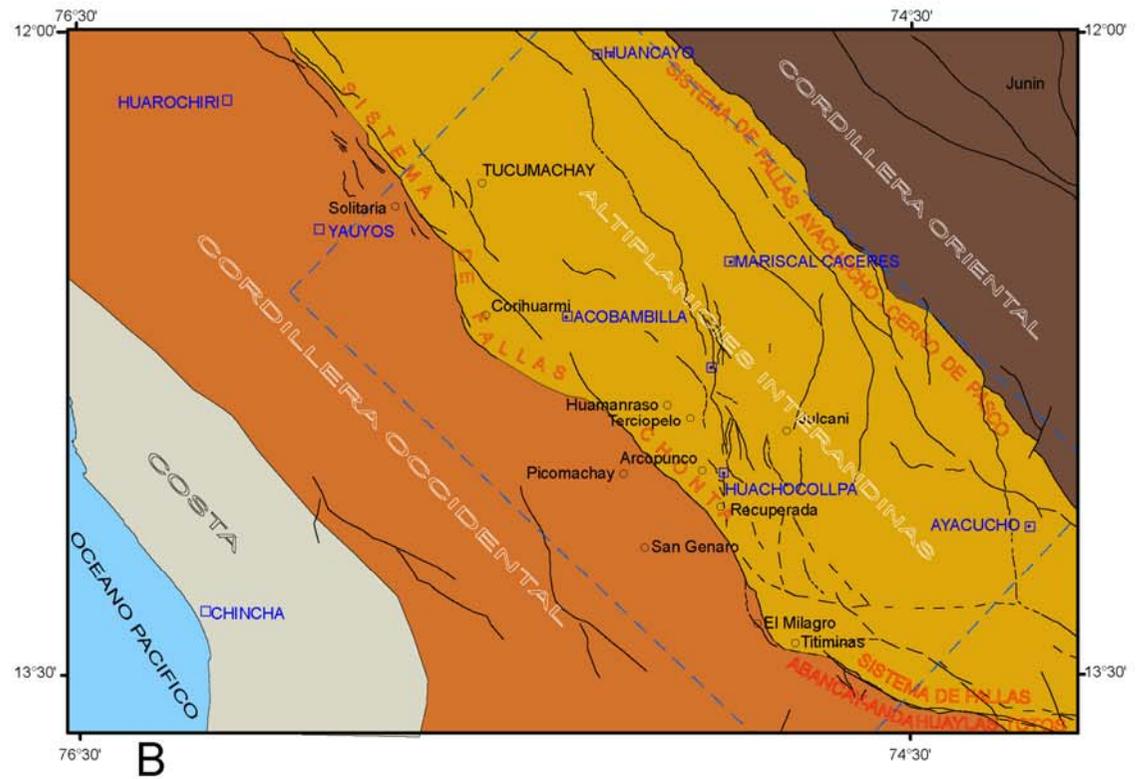
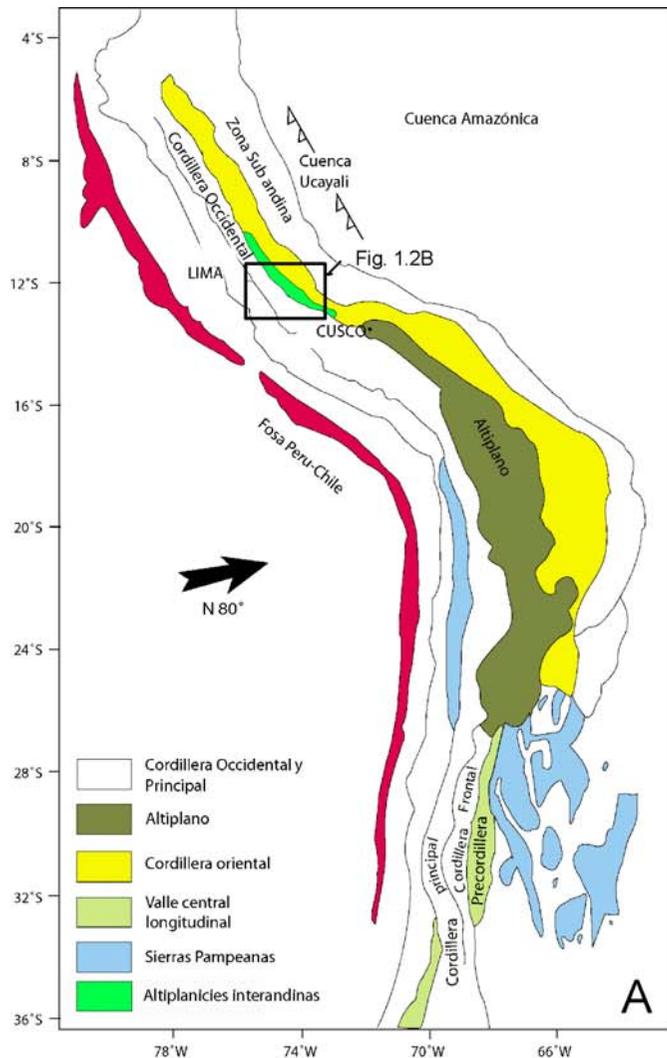


Figura 1.2: (A) Esquema morfoestructural de los andes mostrando las Altiplanicies interandinias (Tomado de Gansser, 1973; Jordan et al., 1983, modificado). (B) Esquema morfoestructural de la zona de estudio (cuadro de color azul) con la ubicación del sistema de fallas Chonta

2 FUNDAMENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El estudio del sistema de fallas Chonta está basado en dos disciplinas de las ciencias de la tierra: La geología estructural y la geoquímica, acompañados de la estratigrafía. En el siguiente capítulo se desarrolla de manera breve la parte teórica de las técnicas analíticas aplicadas en este estudio y los pasos que se han seguido para aplicar dichas técnicas.

2.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

2.1.1 Toma de datos.

Los datos obtenidos con la finalidad de realizar el análisis estructural fueron tomados en estaciones de microtectónica, tanto en la traza principal del sistema de fallas Chonta así como en fallas menores. Se han considerado el rumbo y buzamiento de los planos de fallas, el ángulo de *pitch* y el sentido de desplazamiento de las fallas, este último ha sido determinado en base a los indicadores cinemáticos de la figura 2.1. Luego los datos de las estaciones microtectónicas fueron tratados mediante análisis gráficos, tales como comparación geométrica en un modelo de cizalla y mediante la proyección de planos nodales en la red estereográfica equiareal de Schmit con el software Foulking 1.2.2.

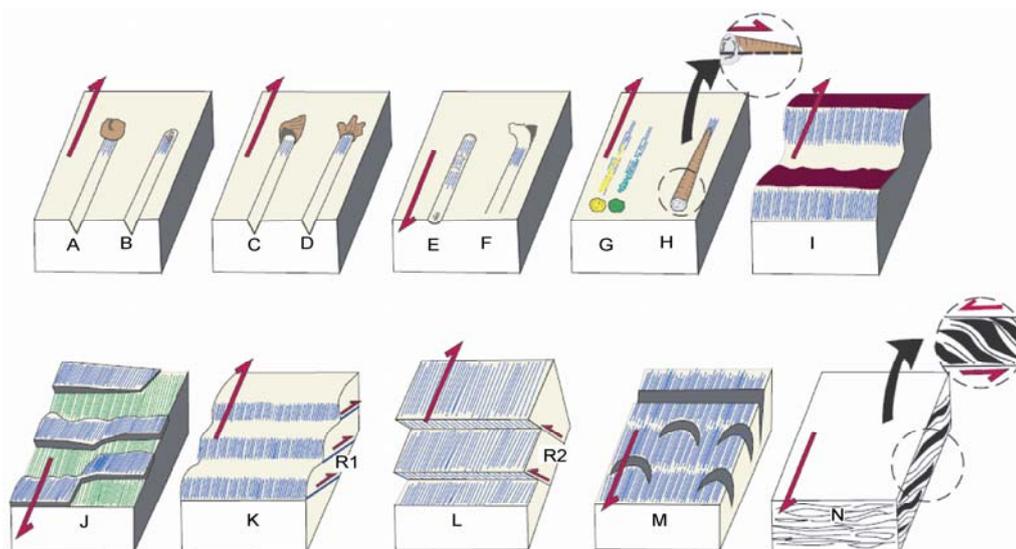


Figura 2.1: Principales indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas A) Elemento estriador al cabo de estría. B) Material triturado al cabo de estría. C) Banqueta al cabo de estría. D) escama de arrastre. E) Nichos de arranque F) Escama de arranque. G) Colas de mineral. H) Lomos al abrigo. I) Planos ondulados: Faceta estriada VS. J) Cristalización al abrigo. K) Ridel R1. L) Ridel R2. M) Lúnulas de tracción. N) Lenticulaciones. Tomado de Quispe, 2006.

2.1.2 Análisis gráfico de Fallas

Relación geométrica de fallas en el modelo cizallamiento

Los modelos de cizallamiento han sido obtenidos desde Cloos (1928) y Riedel (1929) a partir de múltiples observaciones de ensayos en el laboratorio de mecánica de rocas o en zonas de cizalla naturales. Estos autores determinaron 2 tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2, posteriormente fueron denominadas como falla sintética y antitética

(ej Harding, 1974). Las estructuras originadas por movimientos transcurrentes (Figura 2.2) son:

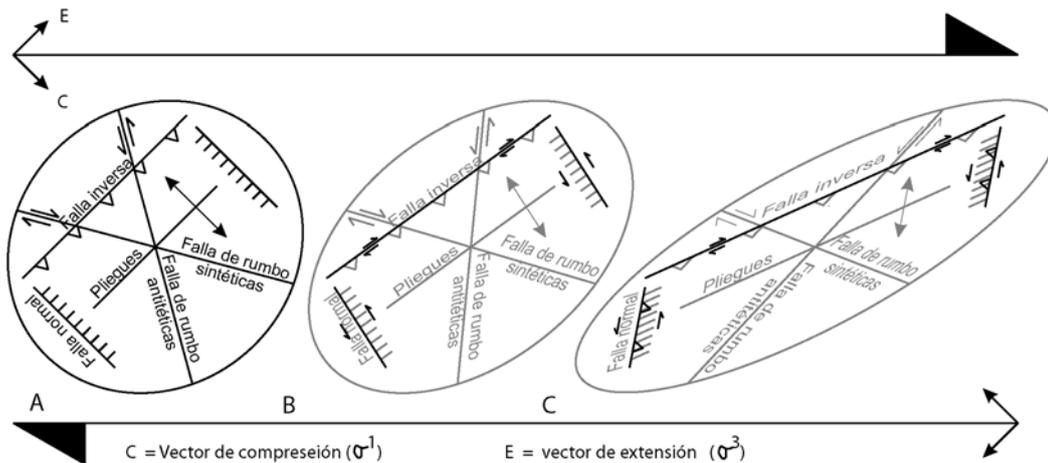


Figura 2.2: Esquema de movimientos en una zona transcurrente (Waldron, 2005). (A) Deformación asociada con el cizallamiento simple en una zona de transcurrente (Harding, 1974). (B) Modificación del (A) por la continuación de cizalla simple, las fallas de (A) en color gris, adquieren movimientos transcurrentes (negro). (C) incremento mayor del cizallamiento conduce a la inversión (negro) de las anteriores fallas normales (color gris).

— Fallas sintéticas, se forman a unos 12° a 18° con el límite de los bloques o de la dirección de movimiento del sistema transcurrente y tienen el mismo sentido de desplazamiento del dicho sistema.

— Fallas antitéticas se forman a unos 72° a 78° con respecto a la dirección de los bloques, su movimiento es al contrario de las fallas sintéticas.

— Fallas normales e inversas, se presentan en forma oblicua al sistema de fallas mayor, las fallas inversas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo principal y las fallas normales paralelas (Figura 2.2A). Al seguir el cizallamiento, una falla inversa cambia de orientación y adquiere un movimiento inverso con componente de transcurrente (Figura 2.2B). Si sigue el cizallamiento, la falla inversa rota y se convierte en falla transcurrente puro con su desplazamiento en el mismo sentido que el desplazamiento del sistema mayor, o sea pasa a ser una falla sintética (Figura 2.2C), En cambio una falla normal pasa a ser antitética (Waldron, 2005).

— Los Pliegues se encuentran paralelos a las fallas inversas debido a un acomodo del componente de acortamiento en una deformación dúctil asociada a fallas inversas.

En el centro del Perú, las fallas regionales de dirección NO-SE, han presentado y/o presentan movimientos transcurrentes y el sistema de fallas Chonta no es una excepción (Wise y Noble, 2001; Soulas, 1977; Mégard, 1978 entre otros). Los indicadores cinemáticos presentes en los planos de fallas del sistema de fallas Chonta, son consecuencia de movimientos conjugados de fallas transcurrentes con componente vertical, las cuales son características de un sistema de fallas de transcurrente con zonas de transpresión y transtensión. (Waldron, 2005; McClay y Dooley 1995, Krantz, 1995)

Como se mencionó anteriormente los datos de planos de fallas han sido tomado en fallas menores del sistema de fallas Chonta, la dirección promedio y movimiento de cada familia de fallas, han sido relacionadas con modelo de cizallamiento (Harding, 1974 y Waldron,

2005) orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta (Figura 2.3), seguidamente se determina en qué elipsoide puede estar cada una de las familias de fallas, en caso de la figura 2.3B, las dos familias de fallas pertenecen a un sistema transcurrente con movimiento dextral.

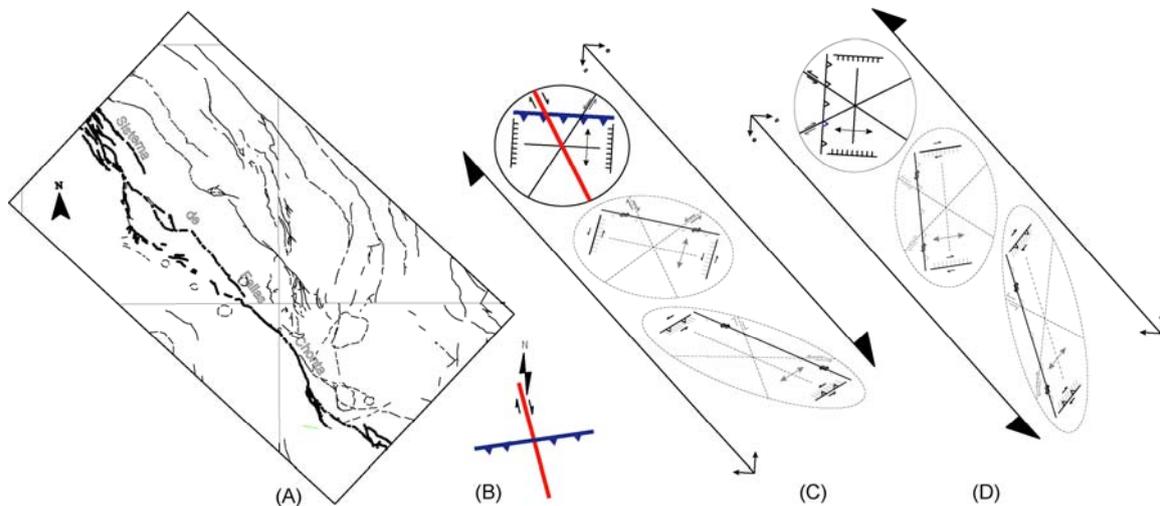


Figura 2.3: Relación geométrica de fallas en el modelo cizallamiento (A) esquema del sistema de fallas Chonta. (B) promedio de dos familias de fallas tomadas en una estación de microtectónica, las cuales fueron comparadas con el modelo de Harding (1974) y Waldron (2005) (C y D). En este caso las familias de fallas pertenecen a un movimiento dextral del sistema de fallas Chonta.

Planos nodales

El método de planos nodales, fue utilizado para confirmar el movimiento del sistema de fallas Chonta determinado preliminarmente a partir del análisis geométrico. Los planos nodales son conocidos como ejes P (acortamiento) y T (extensión). Este método es uno de los más sólidos, aunque carecen de precisión en comparación con otros métodos numéricos (Allmendinger, 1989). P y T representan los ejes que se encuentran a 45° con respecto a los planos nodales de una falla (Figura 2.4) y a 90° de la solución de la intersección de los planos nodales, la cual es conocida como el eje B (Figura 2.4).

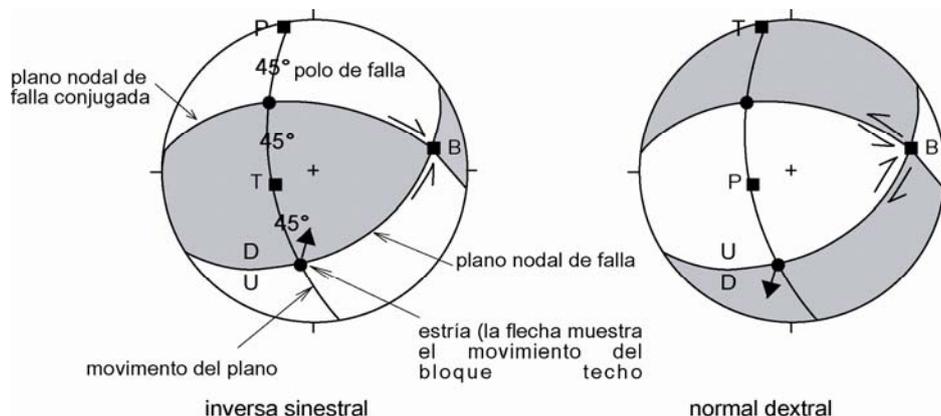


Figura 2.4: Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red de estereografía de Schmit (Tomado de Allmendinger, 1989)

P y T, han podido ser equiparados con las direcciones principales de esfuerzo, σ^1 y σ^3 respectivamente. De hecho, los ejes coinciden con las principales direcciones de esfuerzo sólo si el plano de falla y su conjugada son planos de máximo esfuerzo de cizalla. Esto es

poco probable, teniendo en cuenta que las fracturas de Coulomb y el mayor desplazamiento pueden ocurrir en fracturas pre-existentes (Allmendinger 1989).

Se debe tener en cuenta que el cálculo de P y T para una sola falla implica la suposición implícita de una falla de tensión, porque no hay desplazamiento en la dirección B (Figura 2.4). Los ejes P y T corresponden a los ejes principales de tensión finita de una región donde sólo muestra fallamiento a escala invariable y la deformación es pequeña o la deformación tiende a ser coaxial. Este método, es una primera aproximación a la determinación de la deformación por métodos cuantitativos y es siempre el primer análisis que se realiza Allmendinger (1989). Tal vez la mayor ventaja de los ejes P y T, independientemente de su cinemática o importancia dinámica, son una simple representación directa de la geometría de la falla y el sentido de desplazamiento. Es decir, uno puede verlas simplemente como una forma alternativa de mostrar los datos originales.

Para la representación gráfica de los planos nodales se debe determinar primero los polos de cada plano de falla y luego determinar las fallas con componente inversa o normal, de tal forma que se determinen poblaciones y realizar 4 cuadrantes (Figura 2.5).

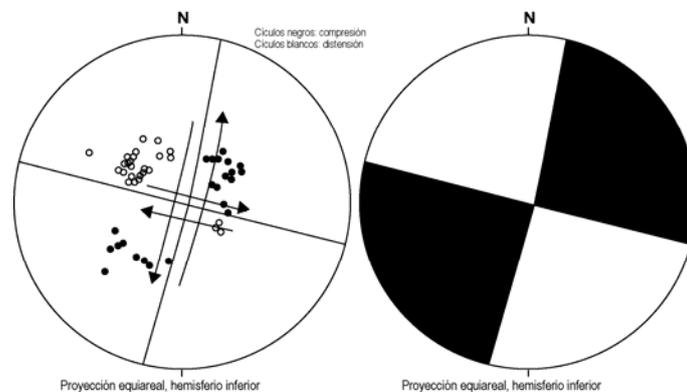


Figura 2.5: Planos nodales, trazados a partir de poblaciones de polos. Círculos blancos son polos extensivos y círculos negros son polos compresivos.

Para encontrar las orientaciones de los ejes de esfuerzos, podemos bisectar los cuadrantes compresivos y distensivos, si se denomina P al eje de máxima compresión y T al eje de compresión mínima, se puede les puede asignar por analogía de los criterios de mecánica de rocas σ^1 y σ^3 respectivamente, El eje P se puede asignar como la bisectriz de los cuadrantes distensivos y T como la bisectriz de los cuadrantes compresivos (Figura 2.4). En la figura 2.6 podemos observar la correspondencia entre las distintas configuraciones de los tipos de fallas que pueden existir en el presente estudio

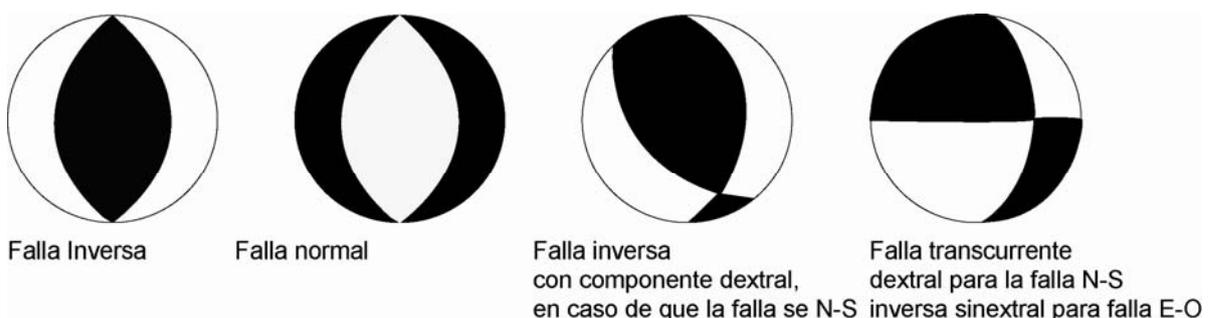


Figura 2.6: Distinto tipos de movimientos representados en la representación gráfica de planos modales.

2.2 ANÁLISIS GEOQUÍMICO

2.2.1 Método de muestreo y base de datos.

Para la caracterización geoquímica mediante tierras raras de los yacimientos relacionados con en el sistema de fallas Chonta, se han tomado 26 muestras de yacimientos auríferos y 10 muestras de yacimientos polimetálicos, haciendo un total de 36 muestras.

Para los yacimientos auríferos, se han tomado muestras separadas de las alteraciones hidrotermales: silificación y argilización. Para los depósitos polimetálicos, se han utilizado muestras de sulfuros concentrados las cuales han sido extraídas de labores mineras, ya sea en bandas de sulfuros en el caso de las vetas y/o zonas de concentración de puro sulfuros en el caso de cuerpos mineralizados. Estas muestras han sido analizadas para determinar las cantidades de elementos traza y tierras raras mediante el método ICP-MS 90A, y el para determinar el contenido de oro se ha determinado por ensayo al fuego Au50.

Para el estudio geoestadístico de elementos traza, la base de datos ha sido proporcionada por las empresas mineras propietarias de las concesiones mineras (Tabla 2.1) y corresponden a 6 depósito de minerales, de los cuales los proyectos Huamanraso y Carmela solamente serán considerados como referencia, puesto que no tienen el suficiente numero de datos.

Tabla 2.1: Cantidad de muestras tratadas en el estudio geoestadístico de los depósitos auríferos relacionados al sistema de fallas Chonta. Los depósitos de Huamanraso y Carmela solo serán tratados de manera referencial.

Proyecto	Muestras
Corihuarmi	36
Picomachay	76
Terciopelo	80
Arcopunco	749
Huamanraso	11
Carmela	9
Total	961

2.2.2 Geoquímica de tierras raras (REE) en depósitos hidrotermales

Los elementos de tierras raras (REE), han sido ampliamente utilizados en estudios petrogenéticos debido a que son excelentes indicadores y pueden ser utilizadas como indicadores de la mineralización en los depósitos hidrotermales (Giritharan y Rajamani, 2001; Heath y Campbell, 2004, Eppinger y Graham., 1990, Figueiredo, 1986 entre otros).

La movilidad del grupo de REE en soluciones hidrotermales depende de de tres factores: (a) las condiciones fisicoquímicas del medio ambiente en donde se emplaza el fluido hidrotermal, siendo lo más importante la temperatura, fO₂ (b) el pH del fluido y (c) el ratio agua/roca (Michard y Albarede 1986; Shenberger y Barnes 1989; Sanjuan et al 1988 y Michard 1989).

Michard y Albarede (1986) mostraron que el fondo marino los fluidos hidrotermales son preferentemente enriquecidos en tierras raras ligeras (LREE) y Eu²⁺ y empobrecidos en tierras raras pesadas (HREE). Estos autores concluyeron que las concentraciones preexistentes de REE en las rocas se mantienen relativamente sin cambios a menos que los

ratios de agua/roca sean muy elevados ($> 10^6$). Estos autores también sugirieron que la alta temperatura de los fluidos puede movilizar más de LREE que HREE y que la baja temperatura en los fluidos ricos de CO₂ pueden movilizar más HREE en relación con LREE.

En el presente estudio se toman estas consideraciones para determinar las zonas del área de influencia del sistema de fallas Chonta, los fluidos han podido tener mayor temperatura, tanto para la mineralización polimetálica como aurífera y determinar si es que a ambos lados del sistema de fallas Chonta el substrato es el mismo.

2.2.3 Geoquímica de elementos traza.

El estudio de elementos traza se realizó en base a los resultados de análisis químico multielemental generados a partir de la exploración geoquímica de 6 yacimientos auríferos. En base a estos resultados se ha elaborado una base de datos con 15 elementos, la cual se ha estudiado para obtener parámetros de estadística descriptiva y posteriormente parámetros de estadística analítica que continuación se hace una breve explicación.

Análisis de grupos

El análisis de grupos o *cluster*, es un método que permite encontrar interrelaciones entre elementos y definir grupos que generalmente no son identificables a simple vista, es un método basado en el coeficiente de correlación como medida de la semejanza de las variables y se utiliza para clasificar datos geoquímicos por grupos, de tal manera que cada grupo sea más o menos homogéneo y distinto de otros; a partir de este análisis se pueden interpretar cuales son los factores que influyen en la distribución de los elementos estudiados (Siegel 1992). La expresión gráfica de los resultados son los dendogramas (Figura 2.7)

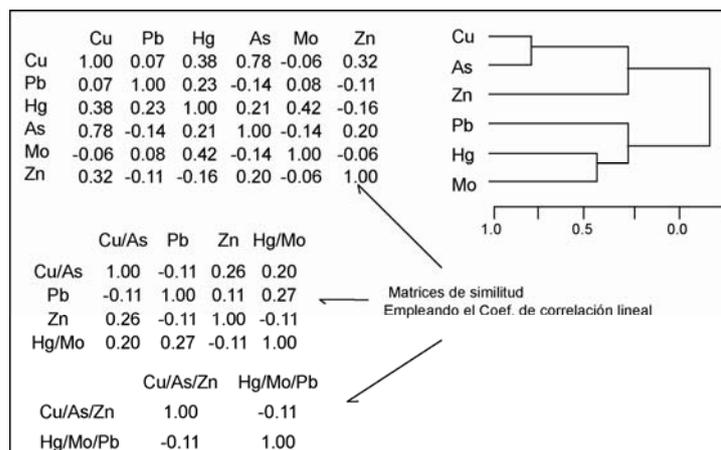


Figura 2.7: Cálculo de matrices de similitud y construcción del respectivo dendograma. Tomado de Canchaya (2000).

Análisis de factores

El análisis de factores, nos determina el grado de dependencia que tienen unos elementos con otros. Tiene como objetivo expresar la relación de un grupo de variables por un número mínimo de variables causales o de control que se denominan factores; el método "R", que utilizamos en este trabajo, hace comparaciones entre variables. De la matriz de

correlación se extrae la componente principal que luego es rotada de acuerdo a criterios matemáticos específicos; cada eje en esta nueva posición es conocido como factor y cada factor representa la variación generada por un solo proceso geológico-geoquímico (Figura 4.4), teniendo en cuenta que la concentración geoquímica de un elemento representa con más frecuencia la suma de varios procesos geológicos y geoquímicos (Saager y Sinclair 1974, Siegel 1992).

FARALLÓN
Factor de Carga ("Varimax" normalizado)
Extracción: Componentes principales
(Es significativo: >0,7)

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Au	0,221174	0,910691	0,093042
Ag	0,802412	-0,071886	-0,071221
Cu	0,381190	0,313384	0,678116
Pb	0,865210	0,005725	0,169499
Zn	0,681142	0,256092	-0,164019
Mn	-0,028904	0,895667	-0,135857
Mo	0,297483	0,356418	-0,719353
As	0,591082	0,324990	0,118528
Expl. Var	2.489341	2,033222	1,079178
Prp Total	0,311168	0,254153	0,134897

Figura 2.8: Ejemplo de análisis de de Factores en el distrito minero de San Dionisio-Argentina. Se observa el primer factor Ag-Pb y el segundo factor Au-Mn, cada uno de ellos representa una etapa de mineralización. Tomado de Gutiérrez et al., 2006.

3 EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN EL CONTEXTO TECTÓNICO

En el presente capítulo trata de las relaciones geológicas y estructurales que presenta el área de influencia del sistema de fallas Chonta, para lo cual se ha elaborado un mapa geológico regional (Figura 3.1). En la primera parte de este capítulo se hace referencia a los bloques del basamento Precámbrico que pueden estar relacionados con la zona de estudio.

En la segunda parte, se ha realizado en base a estudios anteriores y observaciones de campo, un agrupamiento de unidades estratigráficas en 5 dominios tecto-estratigráficos. En la tercera parte se realiza la descripción de 5 secciones estructurales, las cuales cortan al sistema de fallas Chonta. Finalmente se realizan las conclusiones y discusiones de los dominios tecto-estratigráficos.

3.1 EL BASAMENTO PRECÁMBRICO

El estudio del basamento Precámbrico es importante debido a que el enriquecimiento de los yacimientos metálicos depende de la composición del basamento. Ramos (1988), muestra que el continente sudamericano está compuesto por varios substratos de edad Precámbrica los cuales ha sido acretados. Recientemente, estudios de Carlier et al. (2005); Schaltegger et al. (2006); Chew et al. (2007); Ramos (2008) y Carlotto et al. (2008a) han determinado el límite de bloques precámbricos en el centro y sur del Perú. La existencia de diferentes tipos de substratos y la determinación de los límites de estos son de mucha importancia en la exploración de yacimientos de minerales, por lo que consideraremos también los substratos situados en los límites de zona de estudio.

3.1.1 Basamento de La Amazonía

Al noreste del río Marañon entre las sistema de Fallas Ayacucho-Cerro de Pasco y Julcani-Huancayo, afloran rocas metamórficas compuestas por gneises, esquistos y pizarras (Romero y Torres, 2003). Esta secuencia es atribuida al Precámbrico y correspondería al basamento de la Amazonia.

El basamento de La Amazonía en el centro del Perú, está compuesto por gneis granulíticos kondalítico-kinsigiticos, zoicitas, pelitas feldespáticas, micaesquistos, algunos niveles de carbonatos impuros (Mégard, 1973; Dalmayrac et al., 1977). Dataciones realizadas por Dalmayrac et al. (1977) en el río Pichari indican, por un lado, que las granulitas se cristalizaron hace 1140 Ma y que no han sufrido pérdidas de plomo en su formación; esto está de acuerdo con observaciones petrográficas que indican que no han sido afectadas por fuerte metamorfismo sino por un retrometamorfismo. La segunda posibilidad indica una cristalización de 2000 Ma con una pérdida intensa de plomo hace 1000 Ma, es decir estas rocas estarían afectadas por un evento metamórfico hace 1000 Ma.

3.1.2 Basamento de Arequipa-Antofalla

Los afloramientos Precámbricos de Arequipa, corresponde al dominio norte del basamento de Arequipa-Antofalla (Loewy et al., 2004). Se presentan en la parte sur-occidental de la margen continental actual del Perú, entre Tacna y la Península de Paracas formando una línea de dirección NO-SE.

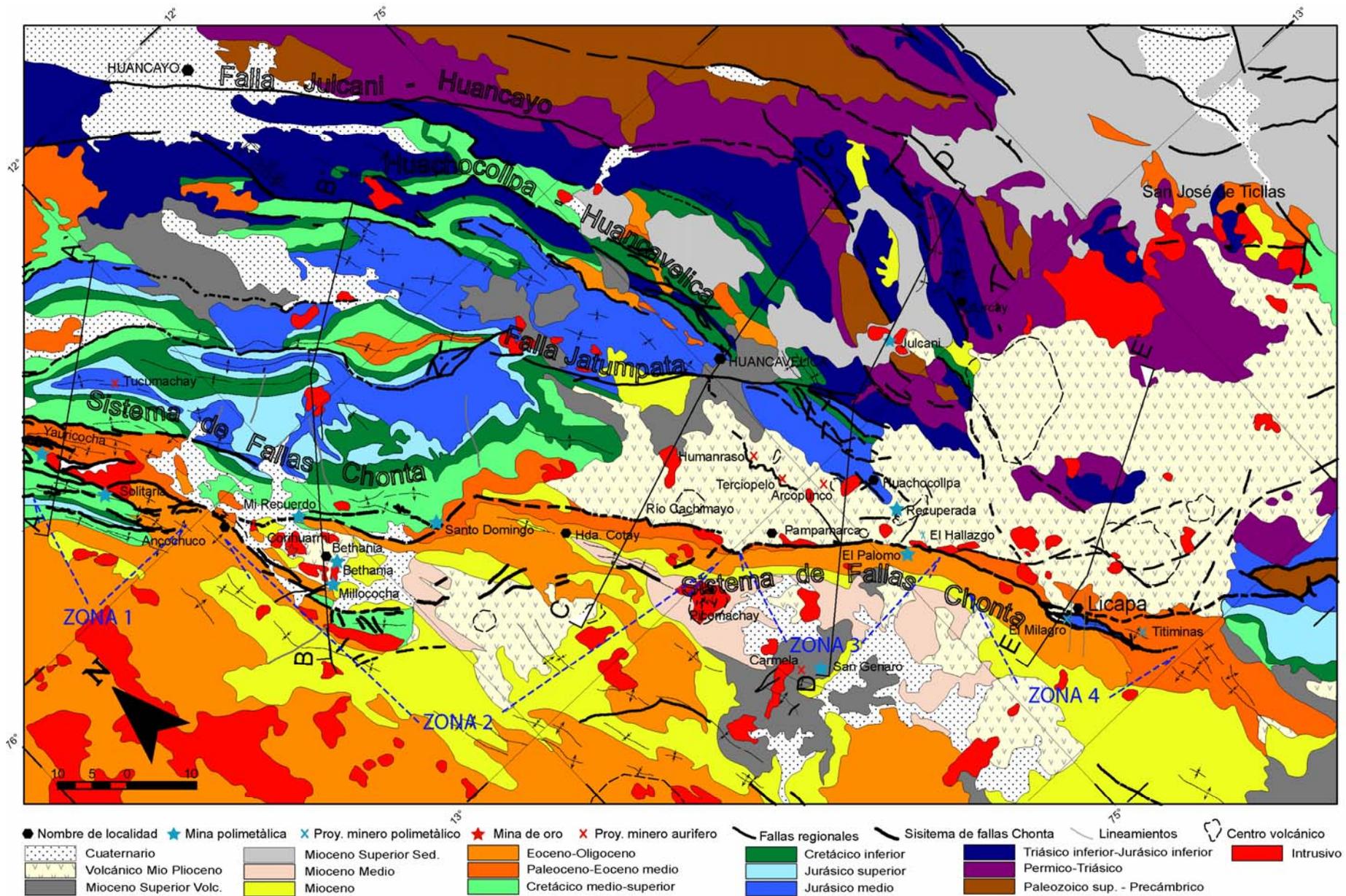


Figura 3.1: Marco geológico del sistema de fallas Chonta - zona de estudio

El basamento de Arequipa está constituido por gneis migmatíticos de facies granulíticas, esquistos de andalucita-estaurolita correspondientes al evento metamórfico de 1900-1950 Ma (Cobbing et al., 1977; Dalmayrac et al., 1977; Shackleton et al., 1979). En las localidades cercanas a San Juan se encuentran tillitas y secuencias carbonatas atribuidas a la Formaciones Chiquerio y San Juan respectivamente (Caldas, 1978, Chew et al., 2007).

3.1.3 Basamento Paracas

Sobre la región de la Costa en *offshore*, se encuentran granitos cataclásticos asociadas a una secuencia detrítica metamórfica, la cual ha sido comprobada por registros de geofísica, reportes de perforación y afloramientos en la isla Las Hormigas (Kulm et al., 1981; Thonburg y Kulm, 1981 en Soler, 1991). Estos afloramientos son considerados como parte del bloque aloctono de Oaxáquia o llamado terreno de Paracas (Ramos, 2008), el que chocó contra Gondwana occidental en el Ordovícico medio-superior, para formar el Complejo del Marañón durante el ciclo Famatiniano (Ramos, 2008).

No se conocen datos isotópicos, aunque los estudios de Mamani et al. (2007) indican diferente composición isotópica de plomo al norte del dominio de Arequipa. El basamento de Paracas podría interpretarse bien como un bloque para-autóctono, como Arequipa-Antofalla (Ramos y Basei 1997), y por tanto, la continuación del basamento de Grenville más al sur, o como un terreno exótico.

Macfarlane et al. (1990) y Haeberlin (2002) base a estudios isotópicos de plomo y estroncio respectivamente, interpretan que los plutones de la Cordillera Occidental no han sufrido contaminación de corteza continental, en consecuencia asumen que el substrato de la Cordillera Occidental está compuesto por una corteza oceánica. Sin embargo en este estudio, se considera a los afloramientos de las Islas de las Hormigas y al substrato (interpretado) de la Cordillera Occidental como basamento de Paracas.

3.1.4 Conclusiones del basamento Precámbrico.

El basamento Precámbrico está conformado por bloques que se han acretao hace 1000 Ma (Ramos, 1999; Carlier et al., 2005; Chew et al., 2007; Ramos, 2008), los cuales han formado el basamento occidental de continente Sudamericano. Para el caso de Perú estos bloques son Arequipa-Antofalla, Paracas y de La Amazonía.

El contacto entre el basamento de La Amazonía (incluyendo el Complejo Metamórfico del Marañón) y el basamento de Paracas, se encuentra entre Licapa y Yauricocha y estaría marcado por el sistema de fallas Chonta de dirección NO-SE (Figura 3.2).

El contacto entre el basamento de Arequipa y el basamento Paracas corresponde a una zona de transferencia de dirección E-O y está reflejada en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos (Ramos 2008; Carlotto, 2008a), el cual queda al sur del sistema de fallas Chonta (Figura 3.3).

En consecuencia, la zona de estudio se encuentra en la unión de tres distintos basamentos del Precámbrico (Figura 3.2) que son el Basamento de La Amazonía y el Basamento de Paracas, separados por los sistemas de fallas Chonta; y el Basamento de Arequipa separado de los otros dos basamentos por el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos (Ramos 2008; Carlotto 2008a).

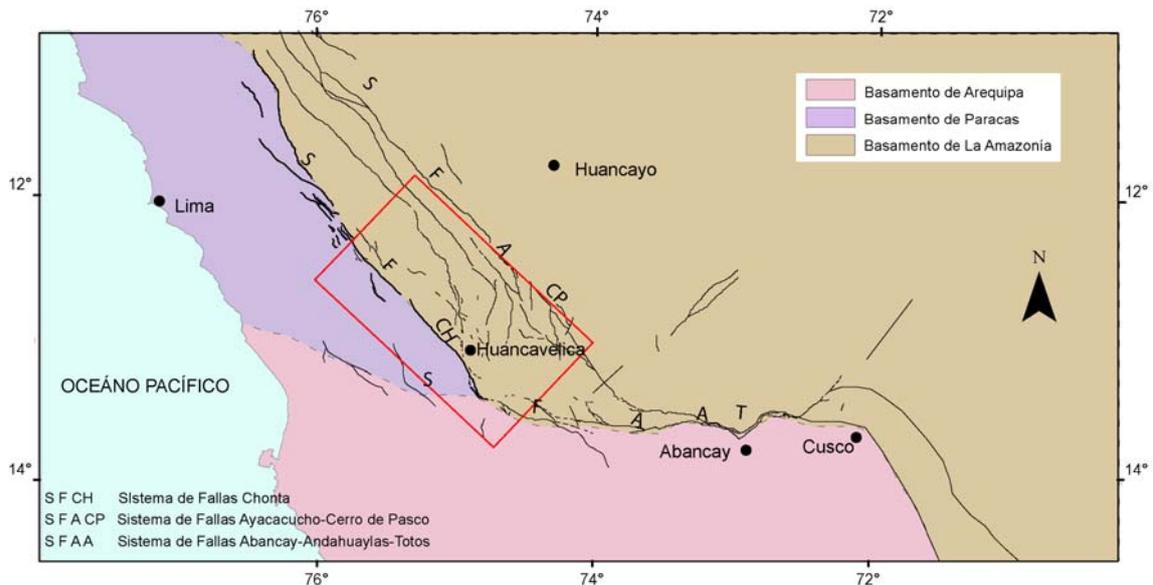


Figura 3.2: Límites aproximados de los basamento del Precámbrico asociado a fallas regionales en el centro del Perú, tomando como referencia los trabajos de Ramos (2008) y Carlotto et al. (2008a)

3.2 DOMINIOS ESTRATIGRÁFICOS

Teniendo referencia los estudios de Mégard (1978, 1983), Mégard et al. (1984), Ángeles (1987), Salazar y Landa (1993), Palacios (1994), Morche et al. (1996 a y b), Mégard et al. (1996), Romero y Torres (2003), Rodríguez y Chacaltana (2003), Valencia y Atencio (2003), Wise (2005) y Carlotto et al. (2008b) y las observaciones en este estudio, se han determinado 5 dominios tecto-estratigráficos (Figuras 3.3 y 3.4).

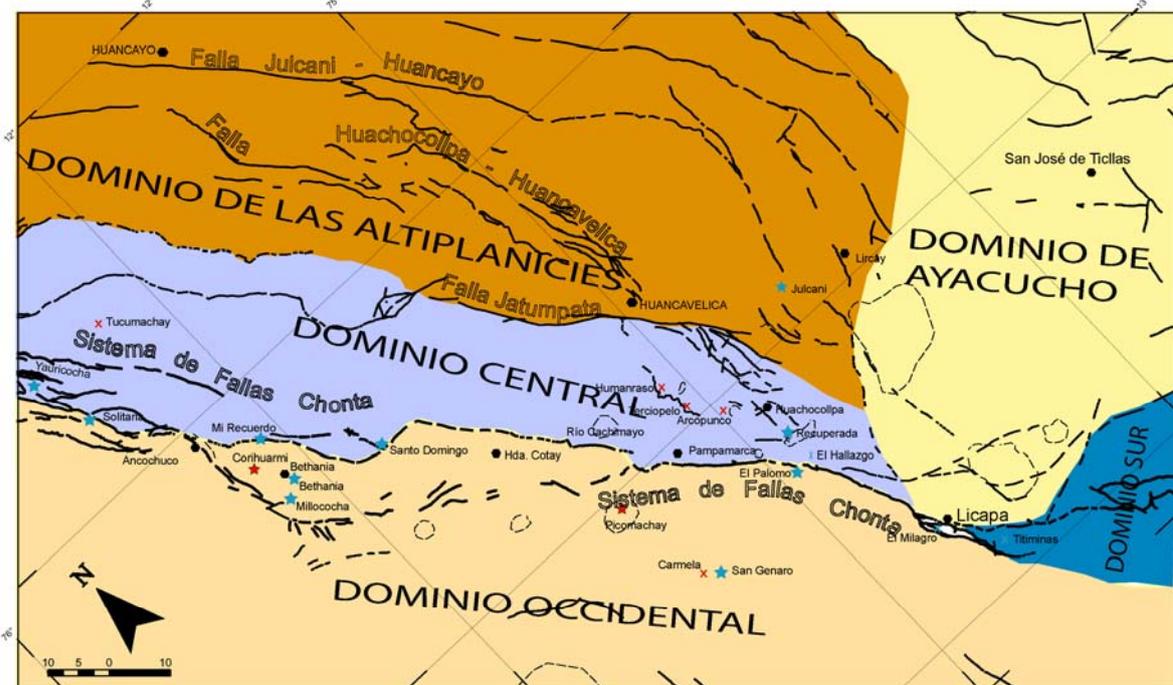


Figura 3.3: Dominios tecto-estratigráficos de la zona de estudio controlados por fallas regionales

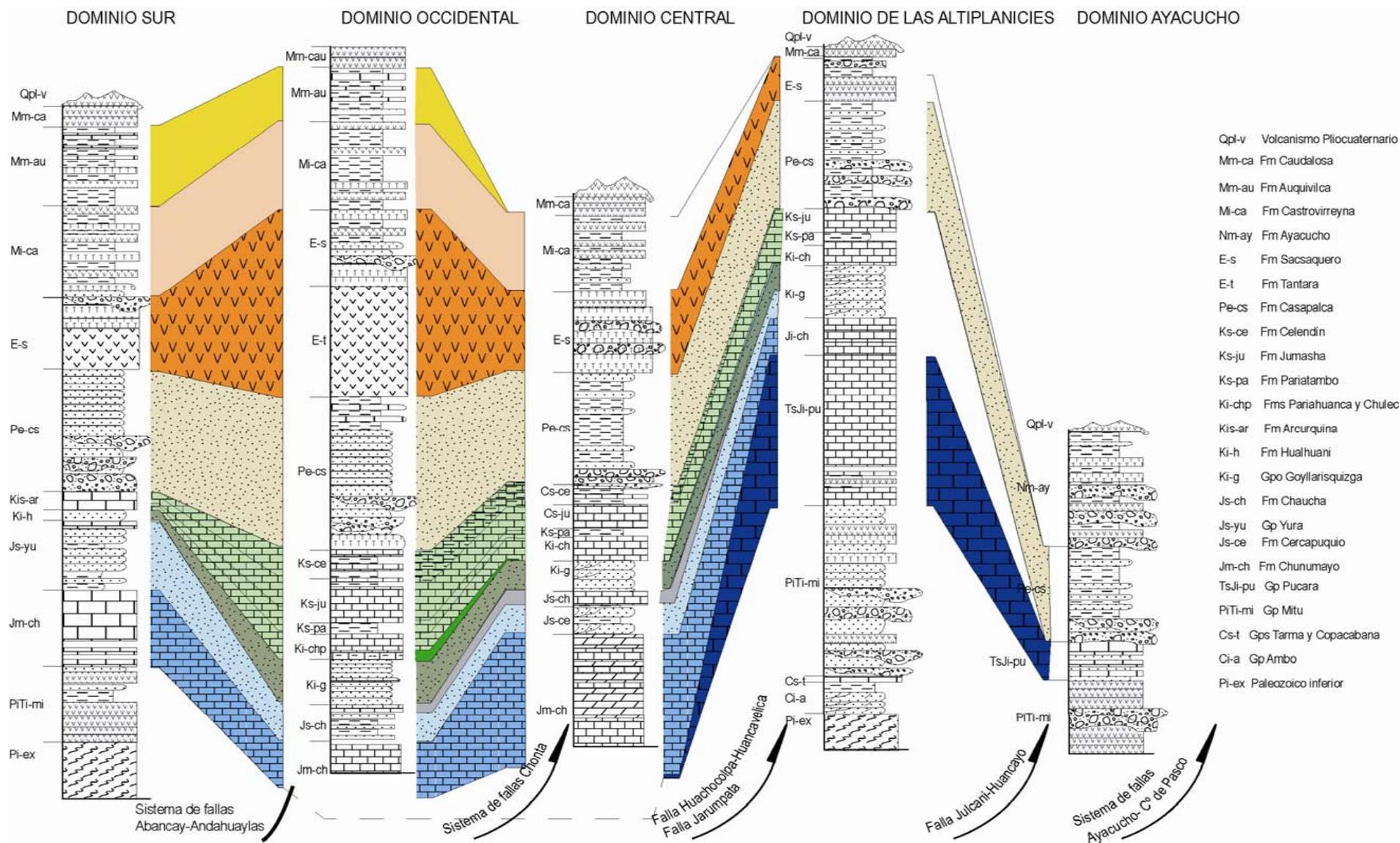


Figura 3.4: Columnas estratigráficas de los dominios tecto-estratigráficos de la figura 3.3 relacionados al sistema de fallas Chonta.

3.2.1 Dominio Occidental

Se encuentra al suroeste del sistema de fallas Chonta, formando el sinclinorio de Castrovirreyna y corresponde al bloque techo del sistema de fallas Chonta. Está conformada principalmente por unidades del Cenozoico, tales como la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno inferior), compuesta por areniscas lutitas y tobas, seguida por una potente serie volcánica que involucra a la Formación Tantará y al Grupo Sacsaquero (Eoceno superior). Luego, se tiene una secuencia de arenas y lavas pertenecientes a la Formación Castrovirreyna (Mioceno inferior), sobreyacidas por piroclastos y sedimentos lacustres de la Formación Auquivilca (Mioceno medio). Finalmente, a manera de centros volcánicos o domos, se encuentran las formaciones Caudalosa y Astobamba del Mioceno superior y Plioceno respectivamente.

En la parte sur, al oeste de Licapa, a manera de pequeñas ventanas afloran calizas a las que se les consideraba como el Grupo Pucara; sin embargo, considerando los estudios de Carlotto (2008b) y las relaciones estructurales; en este estudio se les atribuye a la Formación Chunumayo del Jurásico medio. En la parte norte, entre las minas Solitaria y Yauricocha, aparecen areniscas, lutitas y calizas del Jurásico superior atribuidas en este estudio a la Formación Chicama; la que está sobreyacida por areniscas del Grupo Goyllarisquizga y las formaciones calcáreas del Aptiano-Albiano (Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín).

En oeste del Dominio Occidental, se han cartografiado (Salazar y Landa, 1993) cuerpos plutónicos de granodiorita, monzonita y dioritas de edad Cretácico-Eoceno, de la parte oriental del Batolito de la Costa (Pitcher et al., 1985). Igualmente se encuentran pequeños cuerpos subvolcánicos asociados a centros volcánicos, los que a su vez están relacionados con la mineralización aurífera de la mina Corihuarmi y el Proyecto Picomachay, así como, con la mineralización polimetálicas de la mina San Genaro, Caudalosa y el proyecto El Milagro, entre otros.

3.2.2 Dominio Central

El Dominio Central está limitado al noreste por las fallas Jatumpata y Huachocolpa-Huancavelica; mientras que al suroeste, por el sistema de fallas Chonta. Se caracteriza por presentar mayormente afloramientos de unidades mesozoicas que van desde el Jurásico medio hasta el Cretácico. Las unidades más antiguas son calizas del Jurásico medio atribuidas a la Formación Chunumayo, sobre las que se encuentra una secuencia detrítica de areniscas y limolitas de origen continental pertenecientes a la Formación Cercapuquio sobreyacida por la secuencia calcárea de la Formación Chaucha, ambas del Jurásico superior. Luego se tiene, las unidades cretácicas compuestas por el Grupo Goyllarisquizga indiviso, sobreyacido por la secuencia marina carbonatada del Aptiano-Albiano (formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín)

Las unidades cenozoicas se presentan en menor proporción y están conformadas por la areniscas de la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno) que aflora en el núcleo de sinclinales, lavas y brechas del Grupo Sacsaquero (Eoceno superior), lutitas rojas y lavas de la Formación Castrovirreyna (Mioceno inferior); además de los estrato-volcanes de edad Miocena-Pliocena del Grupo Huachocolpa y la Formación Astobamba.

Las rocas intrusivas están compuestas por plutones de granodiorita y monzonita cuarcífera datados en 6.9 Ma (Giletti y Day, 1968) y 7.7 Ma (Stewart, et al; 1974), los que están relacionados con la mineralización de la minas Solitaria y Yauricocha. Igualmente se encuentran afloramientos de *stocks* y domos andesíticos a dacíticos emplazados a lo largo de la falla Jatumpata y en la zona de tensión entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica, relacionadas con la mineralización de los proyectos auríferos de Arcopunco, Terciopelo y Huamanraso, datados entre 9 y 6 Ma (Wise y Noble, 2001 y Chenaux, 1998).

3.2.3 Dominio de las Altiplanicies

El Dominio de las Altiplanicies está limitado al este por el sistema de fallas Ayacucho-Cerro de Pasco (ubicada fuera del área de estudio) y al oeste por la falla Huachocolpa-Huancavelica, en tanto que al sur pasa al dominio de Ayacucho, a través de una zona de transferencia de dirección NO-SE.

En el Dominio de las Altiplanicies se encuentra la secuencia estratigráfica más completa. En efecto, al este de la falla Julcani-Huancayo afloran las unidades más antiguas de la zona de estudio y están conformadas por: rocas paleozoicas del complejo metamórfico del Marañón, sobreyacidas por una serie conglomerádica del Ordovícico y los Grupos Cabanillas (Devónico), Ambo (Carbonífero inferior), Tarma (Carbonífero superior), Copacabana (Pérmico inferior) y Mitu (Pérmico inferior-Triásico inferior, Mégard 1978; Morche et al 1996a; Romero y Torres, 2003).

Al oeste de la Falla Julcani-Huancayo afloran unidades del Mesozoico, conformadas por el Grupo Pucará del Triásico superior-Jurásico inferior, sobreyacido directamente por la secuencia detrítica del Cretácico inferior perteneciente al Grupo Goyllarisquizga indiviso, la que a su vez está sobreyacido por la secuencia carbonatada del Aptiano-Albiano de las formaciones Chulec, Paritambo y Jumasha.

Las unidades cenozoicas, afloran a lo largo de la falla Huachocolpa-Huancavelica, y en la carretera Yauyos-Huancayo. Estas corresponden a las facies orientales de la Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno y los volcánicos del Grupo Sacsacero del Eoceno superior.

Las unidades estratigráficas del Mioceno se hallan discordantemente sobre cualquier unidad estratigráfica más antigua, y están conformadas por las lavas de la Formación Caudalosa y secuencias volcano-sedimentarias de formaciones Rumichaca, Julcani, depositadas en pequeñas cuencas intramontañosas.

Las rocas plutónicas son granitos del Permo-Triásico y pequeños cuerpos subvolcánicos del Mioceno de composición andesítica a dacítica relacionadas con la mineralización polimetálica de la mina Julcani (Noble y Silberman, 1984) y la mineralización de mercurio de la mina Santa Bárbara (Noble, 1995). El emplazamiento de estos cuerpos subvolcánicos ha sido controlado por las fallas Huachocolpa-Huancavelica y Julcani-Huancayo

3.2.4 Dominio Sur

Se encuentra al sur del sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos y corresponde a la terminación de la cuenca mesozoica de Arequipa. La estratigrafía está compuesta por rocas

metamórficas del Grupo Cabanillas sobreyacidas por las secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Mitu del Pérmico superior-Triásico inferior que hacen el substrato de las rocas Mesozoicas. En efecto, encima de este substrato se tiene una secuencia de calizas con fósiles del Bajociano (Westermann et al., 1980) y con presencia de calizas deslizadas correspondientes a la Formación Chunumayo (Carlotto et al., 2008b) que es sobreyacida por una secuencia detrítica y carbonatada correspondiente al Grupo Yura del Jurásico superior. El Cretácico está conformado por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani y las calizas de la Formación Arcurquina del Aptiano-Albiano, estas últimas no pueden ser divididas en otras formaciones como la secuencia calcárea del Aptiano-Albiano de los dominios Central y de las Altiplanicies.

Las secuencias cenozoicas son las mismas del Dominio Occidental y están compuestas por la Formación Casapalca, Grupo Sacsacero y los volcánicos del Plioceno.

3.2.5 Dominio de Ayacucho

Se encuentra en la parte sureste de la zona de estudio, está limitado al norte por las unidades estratigráficas del Dominio de las Altiplanicies, al sur por el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos, y al este por el sistema de fallas Cerro de Pasco-Ayacucho (fuera de la zona de estudio).

En este sector se encuentran rocas metamórficas del Paleozoico inferior del Grupo Cabanillas (Devónico) sobreyacidas por secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Mitu (Pérmico inferior-Triásico inferior) y las calizas del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior); Luego y en discordancia angular, están los conglomerados y lutitas de la Formación Ticllas (Paleoceno-Eoceno, Mégard et al., 1984; Rodríguez y Chacaltana 2003; Wise 2004) que corresponden a facies orientales de la Formación Casapalca.

Cubriendo la mayor parte del Dominio de Ayacucho se hallan las unidades volcano-sedimentarias del Mioceno conformadas por las formaciones Sallalli, Huanta y Ayacucho, y los centros volcánicos del Mioceno superior al Plioceno, correspondientes al Grupo Huachocolpa.

Las rocas intrusivas son granitos del Permo-Triásico, ubicados al sur del pueblo de Ticllas, granodioritas del Cretácico superior ubicadas al este de Lircay, en la carretera Lircay-Julcamarca, donde está el yacimiento polimetálico de Pampamali.

En la parte occidental del Dominio de Ayacucho, se encuentran los domos subvolcánicos de edad Pliocena, relacionados con los centros volcánicos del Grupo Huachocolpa.

3.3 DESCRIPCIÓN DE SECCIONES ESTRUCTURALES

Las descripciones de las secciones estructurales (Figura 3.5) están realizadas en base a las características estructurales correspondientes a los 5 dominios tecto-estratigráficos, los cuales son Occidental, Central, Altiplanicies, Ayacucho y Sur.

3.3.1 Sección A-A'

La sección A-A' está ubicada al noreste de la zona de estudio, tiene dirección N50°E y 40 km de largo, es paralela a la carretera Yauricocha-Huancayo. Al oeste del sistema de fallas

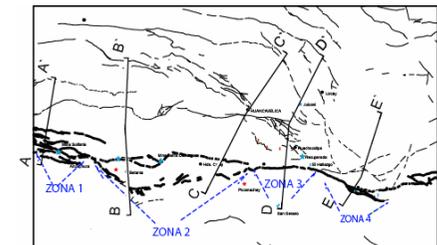
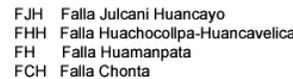
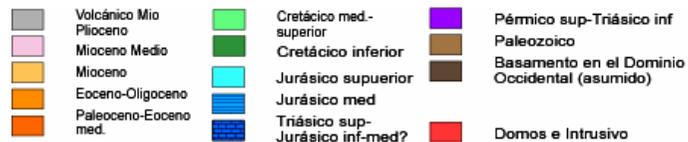
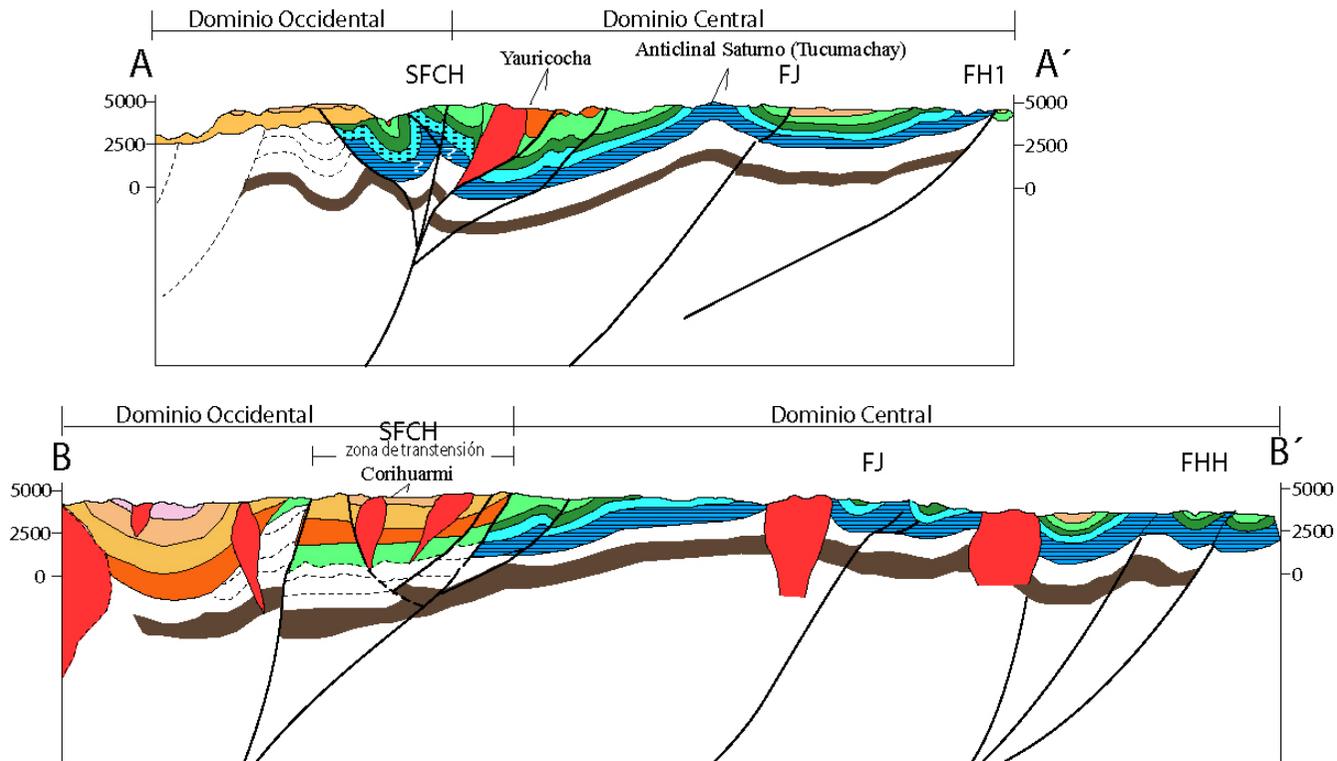


Figura 3.4: Secciones estructurales mostrando la relación del sistema de fallas Chonta con otras fallas regionales de la zona de estudio. Se muestran la división en dominios tectonoestratigráficos definidos en el capítulo III. Se usa la misma escala vertical y horizontal

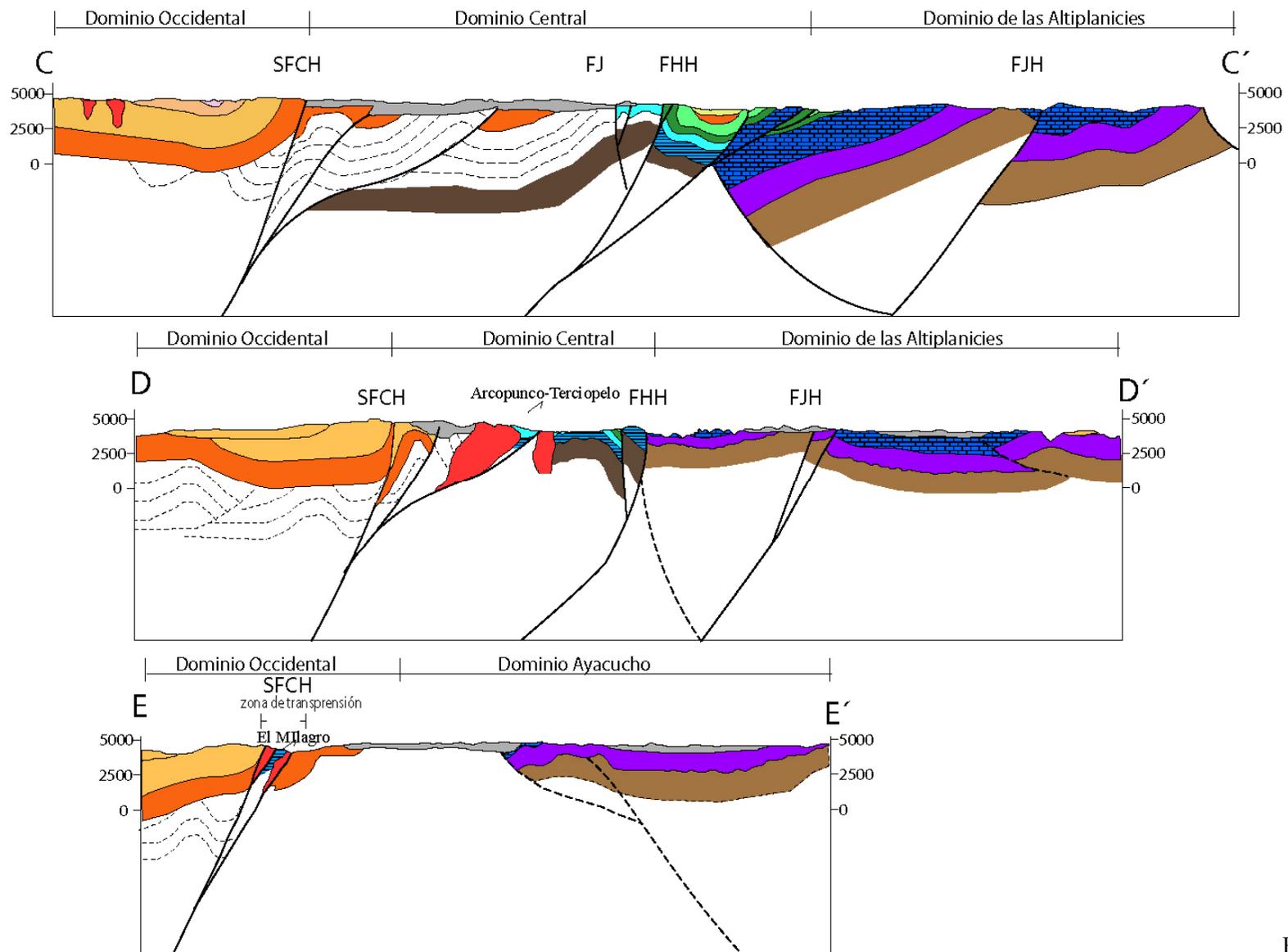


Figura 3.4: Continuación

Chonta, el Dominio Occidental está conformado por las unidades del Jurásico superior-Cretácico (Formación Chicama, Grupo Goyllarizquisga y las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín), las que se encuentran formando pliegues cerrados con flancos que pueden llegar a invertirse. Las unidades del Eoceno superior (Formación Tantara y Grupo Sacsaquero) se hallan en discordancia angular sobre las unidades antes descritas. Cerca al límite entre el Dominio Occidental y el Dominio de las Altiplanicies, dentro del sistema de fallas Chonta, plutones monzograníticos están cortando a las calizas de las formaciones Jumasha y Celendín. Estos plutones están relacionados con la mineralización de las minas Yauricocha y Solitaria.

Al este del sistema de fallas Chonta, el Dominio Central está conformado por unidades del Jurásico-Cretácico (formaciones Chunumayo, Cercapuquio, Chaucha, Grupo Goyllarizquisga y las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín), las que se hallan concordantemente por debajo de la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno). Los pliegues, en este sector son más suaves, en comparación con los pliegues del Dominio Occidental, destacando el anticlinal Saturno, en donde se encuentra alojada la mineralización del proyecto Tucumachay.

En la sección A-A', también se observa el cambio lateral de las facies marinas de la Formación Chicama del Dominio Occidental, las que pasan a facies continentales de la Formación Cercapuquio en el Dominio Central. Igualmente, las secuencias carbonatadas del Cretácico medio superior de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín del Dominio Occidental son más potentes que en el Dominio Central. Estos cambios de facies ocurridos en el Jurásico-Cretácico han sido controlados por el sistema de fallas Chonta que a la época tuvo un juego normal.

3.3.2 Sección B-B'

La sección B-B' está ubicada en el noreste de la zona de estudio, tiene dirección N40°E y 70 km de largo. En el Dominio Occidental se encuentra la parte meridional del sinclinorio de Castrovirreyna conformado por el Grupo Sacsaquero (Eoceno superior) y la Formación Castrovirreyna (Mioceno). Dentro del sistema de fallas Chonta se ha interpretado una zona de transtensión para el Mioceno superior, con fallas normales que controlaron el emplazamiento de los domos subvolcánicos, que a su vez tienen relación con la mineralización de la mina Corihuarmi.

En el Dominio Central, entre las fallas Jatumpata y Huachocolpa-Huancavelica, se tiene una zona de pliegues con flancos suaves que afectan a las unidades del Mesozoico y del Paleoceno. Estas unidades están cortadas por domos subvolcánicos que han aprovechado las fallas Jatumpata y Huachocolpa-Huancavelica para su emplazamiento. Se observa también que las formaciones Cercapuquio y Chaucha solo afloran en el Dominio Central y están controladas, al oeste por el sistema de fallas Chonta, y al este por la falla Jatumpata.

En el Dominio de las Altiplanicies, se encuentran el Grupo Goyllarizquisga del Cretácico inferior directamente sobre la Formación Chunumayo del Jurásico medio.

3.3.3 Sección C-C'

La sección C-C' se localiza en la parte central de la zona de estudio, tiene una dirección N80°E y 73 km de largo. En el Dominio Occidental se aprecia la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno), la Formación Tantara y el Grupo Sacsaquero, ambos del Eoceno

superior, y las formaciones Castrovirreyna y Auquivilca del Mioceno. Todas las unidades están afectadas por el sinclinorio de Castrovirreyna, el mismo que tiene el flanco este más inclinado (buzando 70 a 80° al oeste) que el flanco oeste (buzando en promedio 30° al este).

El Dominio Central que se sitúa entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica, presenta mayormente rocas volcánicas de edad Miocena-Pliocena de la Formación Astobamba. Para esta parte se ha interpretado que bajo los volcánicos se encuentran las mismas unidades estratigráficas del Dominio Central de la sección B-B'.

En el Dominio de las Altiplanicies está caracterizado por presentar las unidades estratigráficas más antiguas de la zona de estudio. Al este se tiene las rocas del Paleozoico inferior a medio sobreyacidas en discordancia por el Grupo Mitu (Pérmico superior-Triásico inferior). Estas rocas muestran una inclinación de alrededor 40° al oeste.

3.3.4 Sección D-D'

La sección D-D' se localiza en la parte central de la zona de estudio, tiene una dirección entre N50°E a N70°E y 65 km de largo. El Dominio Occidental presenta las mismas características del Dominio Occidental de la sección C-C de la figura 3.4.

El sistema de fallas Chonta afecta a un anticlinal ubicado entre los dominios Occidental y Central. Ambos flancos del anticlinal están conformados por el Grupo Sacsacero y la Formación Casapalca, lo que hace pensar que el sistema de fallas Chonta ha sufrido una reactivación posterior al emplazamiento del volcanismo del Grupo Sacsacero (Eoceno superior).

El Dominio Central está caracterizado por las secuencias calcáreas de la Formación Chunumayo (Jurásico medio) que están muy deformadas por la actividad tectónica de la falla Huachocolpa-Huancavelica.

El Dominio de las Altiplanicies es parecido a la sección C-C' ya que presenta rocas del Paleozoico, los que están cubiertos en discordancia por los volcánicos miocenos de la Formación Julcani.

3.3.5 Sección E-E'

La sección E-E' está ubicada en la parte sur de la zona de estudio, tiene una dirección N70°E y 45 km de largo. El Dominio Occidental tiene las mismas características que en las secciones C-C' y D-D'. Dentro del sistema de fallas Chonta se ha reconocido una zona de transpresión para el Plioceno, donde se encuentran calizas de la Formación Chunumayo y están relacionadas con la mineralización del proyecto polimetálico El Milagro; sin embargo, hay que señalar la interpretación que para el Mioceno superior, sería una zona de transtensión, lo que explica el emplazamiento de los domos subvolcánicos y la mineralización del proyecto el Milagro.

El Dominio de Ayacucho está mayormente conformado por los volcánicos del Mioceno-Plioceno de las formaciones Apacheta y Portuguesa. A manera de ventanas, afloran rocas del paleozoico inferior del Grupo Cabanillas y del Permo-Triásico-Jurásico de los grupos Mitu y Pucará.

3.4 CONCLUSIONES DE LOS DOMINIOS ESTRATIGRÁFICOS

Los 5 dominios descritos anteriormente, presentan similitud litoestratigráfica, sin embargo entre ellos hay características estratigráficas que los hacen diferentes uno de otro (Figuras 3.3 y 3.4). Así tenemos las siguientes conclusiones.

El Dominio Occidental se caracteriza por presentar las secuencias marinas de la Formación Chicama del Jurásico superior y los espesores de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín que son los más potentes en toda la zona de estudio.

El Dominio Central contiene secuencias continentales de la Formación Cercapuquio del Jurásico superior diferentes de sus equivalentes del Dominio Occidental (Formación Chicama). Además las formaciones Cercapuquio y Chaucha, no han sido reportadas en el Dominio de las Altiplanicies.

El Dominio de las Altiplanicies se caracteriza por la ausencia de sedimentos del Jurásico superior (formaciones Cercapuquio y Chaucha), ya que el Grupo Goyllarisquisga del Cretácico inferior yace directamente sobre el Grupo Pucará del Triásico superior-Jurásico inferior.

El Dominio Sur se caracteriza por presentar las secuencias la Formación Chunumayo del Bajociano directamente sobre rocas del Pérmico superior-Triásico inferior del Grupo Mitu. Eso quiere decir que en el Dominio Sur no existen las formaciones Chambara y Aramachay (Reatino-Sinemuriano). Igualmente, en este dominio se presentan las secuencias marinas del Grupo Yura y las calizas del Aptiano-Albiano, de la Formación Arcurquina no pueden ser divididas en otras formaciones del Aptiano-Albiano como en los dominios Central y de las Altiplanicies.

El Dominio de Ayacucho se caracteriza por presentar las formaciones del Paleoceno-Mioceno directamente sobre unidades del Paleozoico y del Permo-Triásico (grupos Mitu y Pucará). En consecuencia, en el Dominio de Ayacucho no existen rocas del Jurásico superior-Cretácico.

3.5 DISCUSIÓN

Las variaciones laterales de facies de las unidades del Jurásico-Cretácico entre los dominios Occidental, Central y de las Altiplanicies, indican la existencia de un alto estructural hacia el este, el que estuvo formado por el sistema de fallas Chonta y la falla Jatumpata que a la época habrían tenido un juego normal (figura 5.1).

La parte más alta del alto estructural corresponde al Dominio Central, el que habría evitado que la transgresión marina del Jurásico superior, proveniente del oeste (calizas de la Formación Chicama y de la Formación Chaucha) no llegue hasta el Dominio de las Altiplanicies; sin embargo es posible que aquí haya habido una sedimentación detrítica.

La Formación Cercapuquio (Jurásico superior) y el Grupo Goyllarisquisga (Cretácico inferior) tienen litología similar y están separados por las Calizas de la Formación Chaucha (Jurásico superior). En los lugares, donde la Formación Chaucha no aflora, es difícil separar a la Formación Cercapuquio del Grupo Goyllarisquisga. En consecuencia, la hipótesis planteada en este estudio, es que dentro del Dominio de las Altiplanicies, las secuencias del Jurásico superior (contemporáneas a las formaciones Cercapuquio y

Chaucha del Dominio Central) están compuestas por areniscas y son cartografiadas como la parte inferior del Grupo Goyllarisquizga (Figura 3.5).

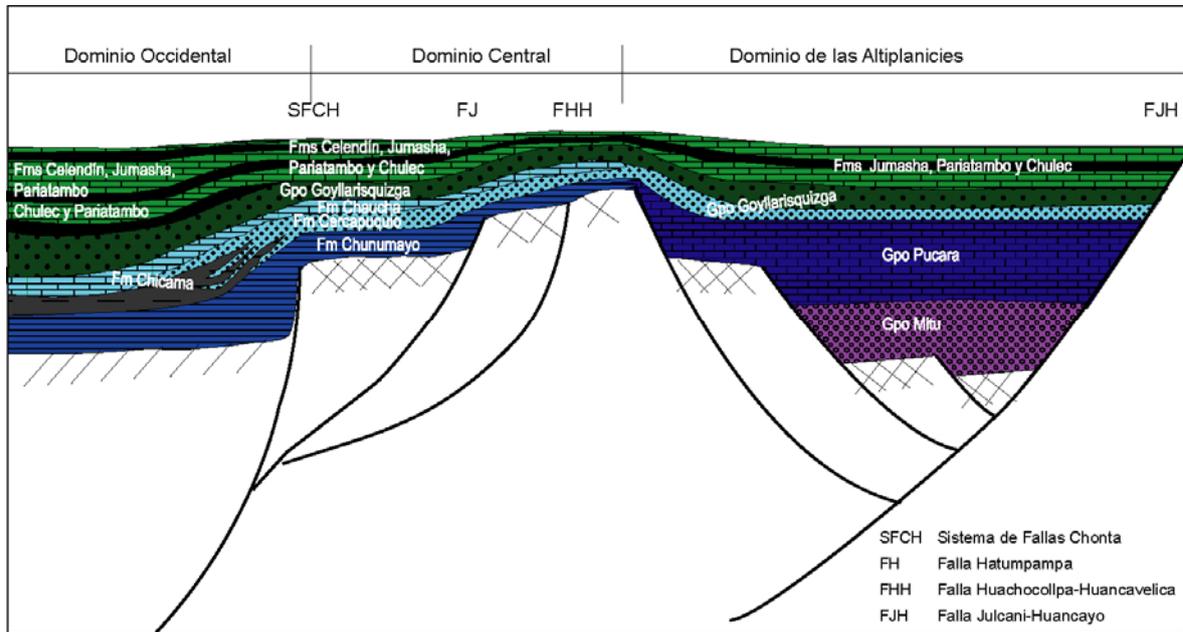


Figura 3.5: Esquema paleogeográfico para el Jurásico medio-Cretácico, mostrando las variaciones laterales entre los dominios tecto-estratigráficos de la zona de estudio.

4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA

El sistema de fallas Chonta (Figura 4.1) tiene dirección promedio N135°, con buzamientos entre 60°O y 80°O. El bloque oeste (techo) está conformado mayormente por rocas del Paleoceno-Mioceno, las cuales se encuentran dentro del sinclinorio de Castrovirreyna. En la parte sur (Licapa), se encuentran calizas del jurásico inferior consideradas en este estudio como Formación Chunumayo. Mientras que en la parte norte (Yauricocha) se encuentran areniscas, lutitas y calizas del Jurásico medio y del Cretácico atribuidas en este estudio a la Formación Chicama, al Grupo Goyllarisquizga y las formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha.

El bloque este (piso) litológicamente es más heterogéneo, así al sur, entre Licapa y Tilapaccha está conformado por rocas volcano-sedimentarias del Paleoceno-Plioceno (Morche et al., 1996; Salazar y Landa, 1993). Al norte, entre Tilapaccha y Yauricocha está constituido por areniscas, lutitas y calizas del Jurásico superior (formaciones Cercapuquio y Chaucha), areniscas del Cretácico inferior (Grupo Goyllarisquizga, formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha) y rocas volcano-sedimentarias del Paleoceno-Oligoceno medio (Ángeles, 1987; Salazar y Landa, 1993; Mégard et al., 1996).

La traza del sistema de fallas Chonta, normalmente no aflora debido a que se encuentra cubierta por unidades litológicas del Plioceno o cobertura cuaternaria, por lo que la toma de datos cinemáticos se han realizado en fallas menores. Los datos de estrías de fallas fueron analizados en el programa Foulking 1.2.2 (Demo). Posteriormente, la dirección de esfuerzos obtenidos, la dirección y el movimiento de las fallas menores han sido relacionados con la dirección general del sistema de fallas Chonta, según el modelo teórico de Harding (1974), Waldron (2005).

En la zona de estudio, el sistema de fallas Chonta, se divide en 4 zonas, las que fueron determinadas mediante la cartografía a escala 1/25000 y 1/50000(Figura 4.1).

4.1 ZONAS ESTRUCTURALES Y DINÁMICA

4.1.1 Zona 1 (Minas Solitaria-Yauricocha)

La zona 1, abarca desde la Mina Solitaria hasta Yauricocha (Figura 4.2). El sistema de fallas Chonta está conformado por 3 fallas denominadas F1, F2, F3, con direcciones entre N150° y N100°, siendo la falla principal la falla F1 (N150°, 70°S). Al oeste del sistema de fallas Chonta afloran areniscas, lutitas y calizas marinas de la Formación Chicama del Jurásico medio, mientras que al este, se encuentran areniscas continentales y calizas marinas de las formaciones Cercapuquio y Chaucha del Jurásico superior.

El control tectónico paleogeográfico para el Jurásico-Cretácico, indica que el sistema Chonta corresponde a fallas normales (Ángeles, 1987; Mégard et al., 1996) que han controlado la sedimentación, evidenciado el cambio de facies y espesores de las unidades estratigráficas a ambos lados del sistema de fallas. Tal es así que al oeste del sistema de fallas Chonta se tiene las secuencias marinas de la Formación Chicama (Jurásico superior), mientras que al este se tienen las facies continentales de la Formación Cercapuquio (Jurásico superior). Igualmente, el Grupo Goyllarisquizga al oeste del sistema de fallas Chonta presenta facies detríticas y calcáreas y tiene mayor espesor que las facies arenosas del este del sistema de fallas. Igualmente las facies carbonatadas de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo y Jumasha tienen mayor espesor al oeste.

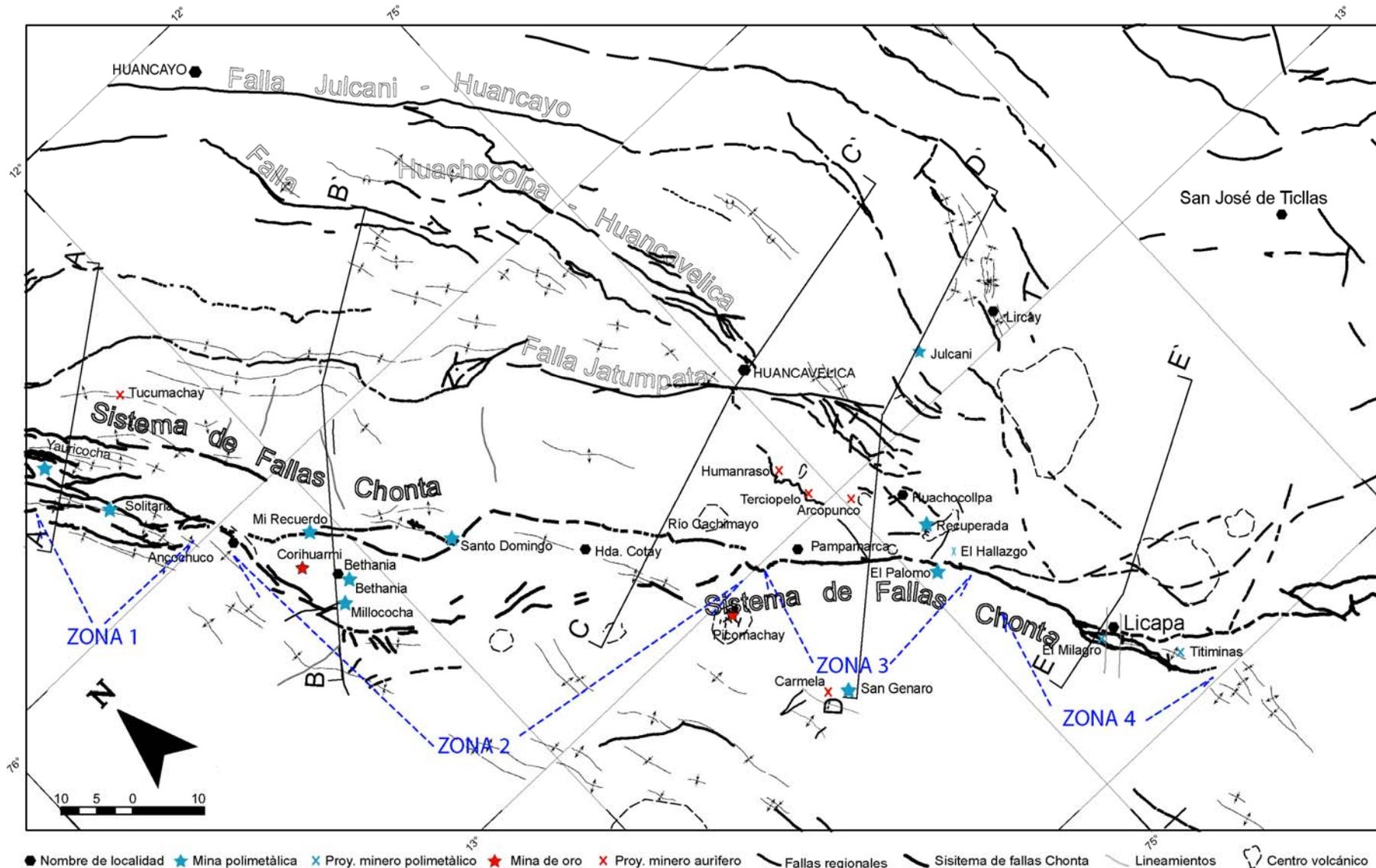


Figura 4.1: El sistema de fallas Chonta, dividido en 4 zonas y en relación a otras fallas regionales, las minas y proyecto ubicados en el mapa, al momento de la presente investigación, se encontraban en actividad.

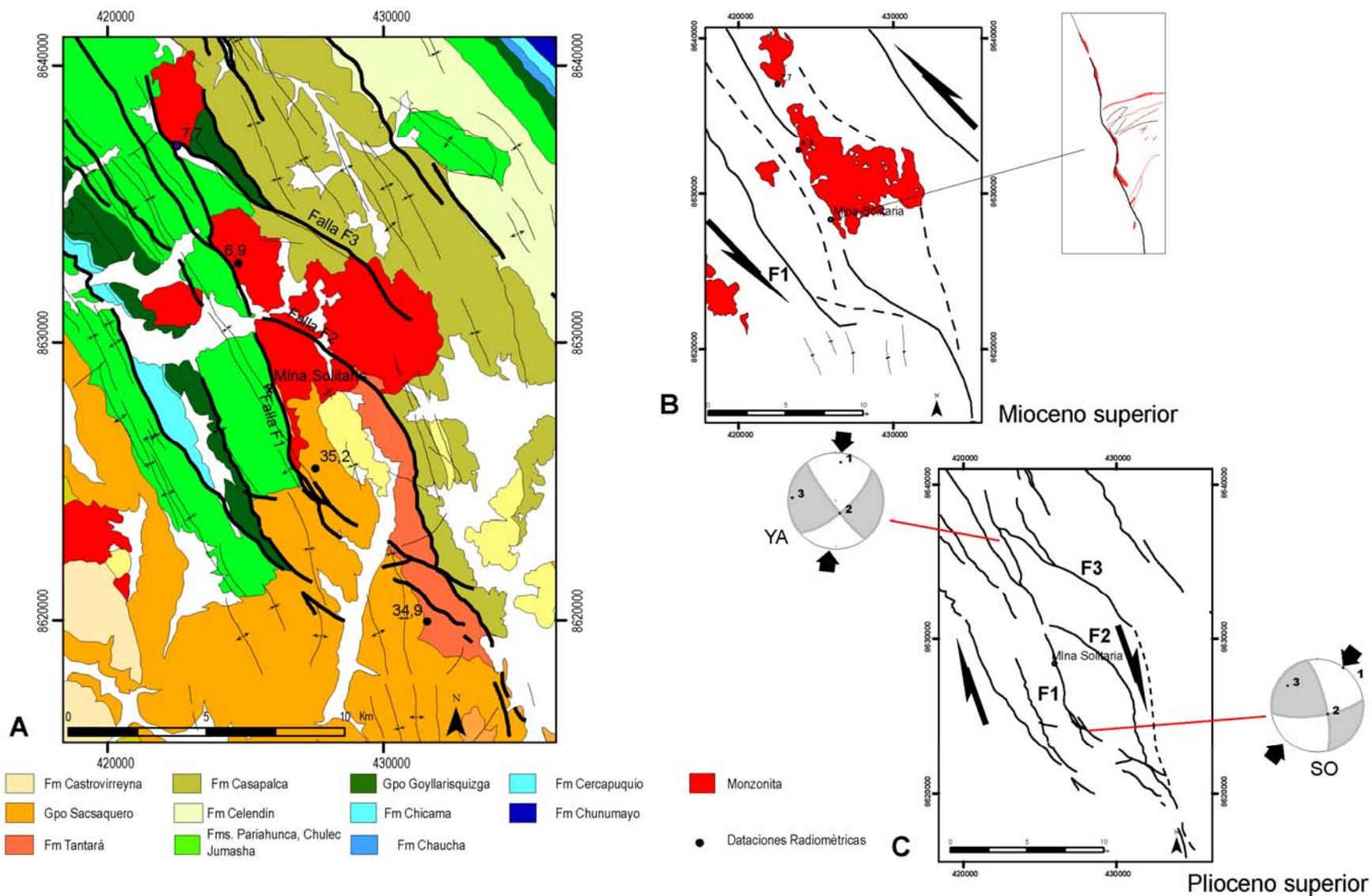


Figura 4.2: (A) El sistema de fallas Chonta en la Zona 1. Mina Solitaria-Yauricocha. (B) Primer evento sinistral, emplazamiento de magmatismo y mineralización. (C) Segundo evento dextral.

Por otro lado, durante el Cenozoico el sistema de fallas controló la sedimentación y la deformación de los sedimentos de la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno medio) y los volcánicos de la Formación Tantará del Eoceno superior.

Los cuerpos intrusivos relacionados al sistema de fallas Chonta, son cuerpos de monzonita cuarcífera datado en 6.9 (Giletti y Day, 1968) y 7.7Ma (Stewart, et al; 1974), los que están relacionados con la mineralización de la minas Solitaria y Yauricocha.

Análisis Estructural

El sistema de fallas Chonta en la zona 1, tiene 3 ramales que forman una estructura romboédrica de dirección N165° de 15Km de largo por 5 km de ancho. En la Mina Solitaria, en superficie se observa la falla F1 de dirección N165° con 85°SO de buzamiento, es el control para el emplazamiento de cuerpos mineralizados (Figura 4.2). Transversalmente a la falla F1 se encuentran vetas de dirección N60° con 80°S de buzamiento y menos de 0.50 m de espesor y mineralización de pirita, especularita, cuarzo, calcopirita y escasa escalerita. Igualmente se encuentra un sistema de venillas de cuarzo de 3 a 10 cm de espesor, que tiene dirección N80° con 90°SE de buzamiento donde el cuarzo está acompañado de epidota, escasa pirita y especuladita. Estas venillas cortan a una secuencia de tobas atribuidas a la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno inferior) y a la monzonita cuarcífera (Mioceno inferior). La geometría de las vetas con el emplazamiento de los cuerpos mineralizados a lo largo de la falla F1, sugieren un régimen sinistral al momento del emplazamiento del magmatismo y la mineralización (Figura 4.2B).

En las labores subterráneas de la mina Solitaria, zona de espirales, del Nivel 310, en la estación de microtectónica SO se ha realizado 12 medidas de planos y estrías de fallas, las que afectan a los cuerpos de mineralización polimetálica. En general, la estación SO comprende dos familias de fallas (Figura 4.3 A), la primera corresponde a la falla F1 con movimiento dextral normal de dirección promedio N180° con 79°O de buzamiento y pitch 46° N. La segunda es inversa sinistral de orientación N100°, 80°SO y pitch 80°NO (Figura 4.3A). La dirección y movimiento de estas fallas ubicadas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos indica que la primera familia corresponde a una falla sintética y la segunda corresponde a una falla antitética. En general, nos muestra un movimiento dextral de cizallamiento simple para este punto (Figura 4.3A), el cual es posterior a la mineralización de la mina Solitaria y a las intrusiones monzoníticas, es decir posterior al Plioceno.

En análisis cinemático (Figura 4.3B) muestra σ_1 (34.6°/1.2°) y σ_3 (304.0°/23.2°) subhorizontales y σ_2 (127.4°/66.7°) casi vertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrente con la dirección de compresión N34°E-S34°O. Consecuentemente, el movimiento del sistema de fallas Chonta es dextral.

En la carretera Laraos-Yauricocha (Cerro Huamanripa) la estación de microtectónica YA (Figura 4.2C) muestra también dos familias de fallas (Foto 4.1), que afectan a un dique dacítico que corta a las calizas de la Formación Jumasha. Se atribuye que este dique es posterior o de mismo evento que las monzonitas de la minas Solitaria y Yauricocha. La primera familia de fallas, es paralela al contacto entre el dique dacítico y las calizas de la Formación Jumasha, tiene dirección N140° con 82°SO de buzamiento y pitch 45°NO con movimiento dextral normal. La segunda familia tiene dirección N232° con 80°N de

buzamiento y pitch 10°NE con movimiento sinestral. La dirección y movimiento de estas fallas ubicadas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos muestra que la primera familia corresponde a la traza principal del sistema de fallas Chonta y la segunda a una falla antitética, pertenecientes a un cizallamiento simple con movimiento dextral (Figura 4.3C), posterior al emplazamiento del magmatismo de la zona 1, es decir, puede corresponder al Plioceno.

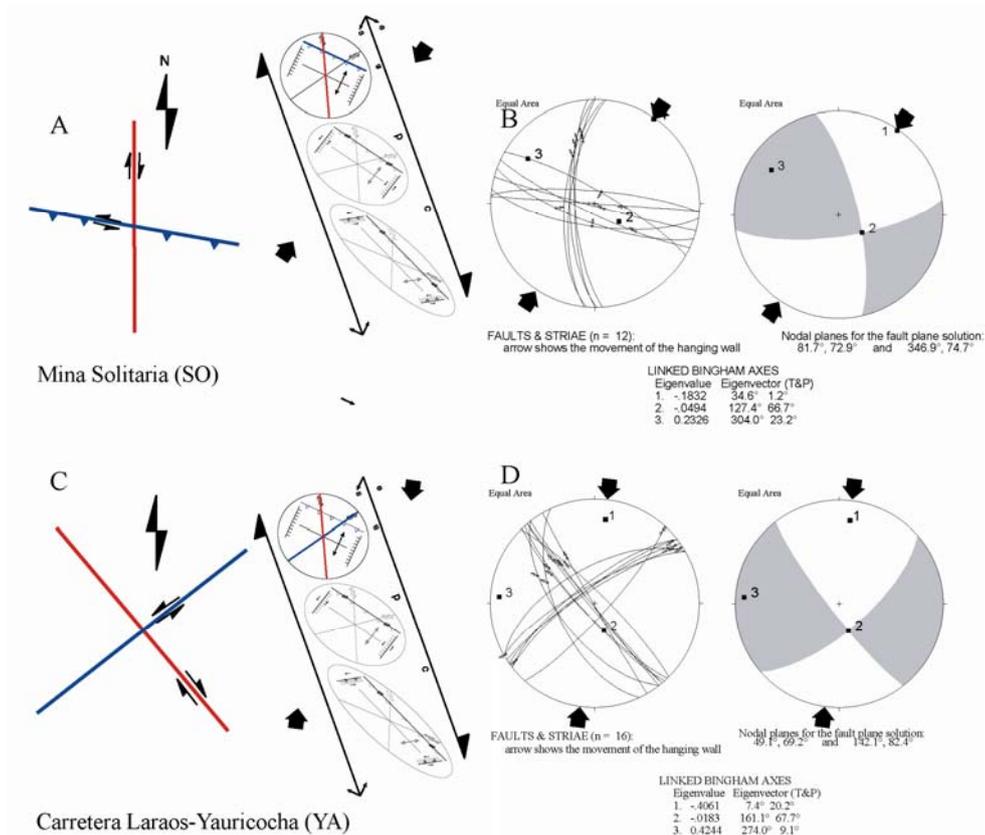


Figura 4.3: Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta en la zona 1. A y C: primera familia (rojo) y segunda familia de fallas (azul) comparadas en el diagrama de Harding (1974) y Waldron (2005). B y D: Análisis cinemático, planos de fallas con estrías y planos nodales.



Foto 4.1. Estrías de fallas en un dique dacítico correspondientes a la figura 4.3 C y D (estación microtectónica YA). Izquierda, falla sintética normal dextral. Derecha fallas sinestrales. En ambos casos se muestra la cristalización al abrigo del plano de falla.

En análisis cinemático (Figura 4.3D) muestra σ_1 (7.4°/20.2°) y σ_3 (274.0°/9.1°) casi subhorizontales y σ_2 (161.1°/67.7°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzo

transcurrente con la dirección de compresión N7°E-S7°O. Consecuentemente, el movimiento del sistema de fallas Chonta es dextral con componente normal.

Cronología de eventos

Al oeste del sistema de fallas Chonta, afloran areniscas, lutitas y calizas marinas de la Formación Chicama del Jurásico superior, mientras que al este del sistema de fallas Chonta, afloran areniscas continentales y calizas marinas de las formaciones Cercapuquio y Chaucha del Jurásico medio. El control tectónico-paleogeográfico para el Jurásico medio-Cretácico del sistema de fallas Chonta, corresponde a fallas normales (Ángeles, 1987, Mégard, et al. 1996) que han controlado la sedimentación y por lo tanto el cambio de facies detríticas y carbonatadas del Grupo Goyllarisquizga y las facies carbonatadas de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo y Jumasha.

Dentro de la zona 1, se han determinado dos eventos. El primero puede llegar hasta 6.9 Ma, correspondiendo al Mioceno superior con movimiento regional sinistral. Este movimiento ha originado zonas de tensión por donde se emplazaron los intrusivos monzoníticos (Figura 4.2B) y la mineralización polimetálica de las minas Solitaria en cuerpos alineados a largo de la falla F1 y en vetas polimetálicas a lo largo de fallas antitéticas. El segundo evento, es posterior al emplazamiento de la mineralización, de los diques y cuerpos monzoníticos del Mioceno superior. Por lo tanto este segundo evento, y además comparando con las demás zonas del sistema de fallas Chonta, permite deducir que puede ser del Plioceno superior (Figura 4.2C).

4.1.2 Zona 2 (Ancochucco-Río Cachimayo)

La zona 2, abarca desde Ancochucco hasta el río Cachimayo (Figura 4.4) donde el sistema de fallas Chonta está conformado por dos ramales (F1 y F2) que forman una estructura romboédrica de dirección N130° con 70 km de largo por 15 km de ancho y es cortada por dos fallas de dirección N100° (F3 y F4). Los yacimientos auríferos de Corihuarmi y Picomachay, las vetas y mantos polimetálicos de las minas Bethania, Mi Recuerdo, Millococha y Santo Domingo, están relacionados a esta estructura romboédrica.

En las márgenes de la estructura romboédrica, entre las fallas F1 y F2, afloran rocas volcanoclásticas del Paleoceno-Eoceno de la Formación Casapalca y el Grupo Sacsaquero. En medio de la estructura romboédrica, se encuentran rocas del Mioceno, atribuidas a las formaciones Castrovirreyna, Auquivilca y Caudalosa, acompañada de una serie de domos andesíticos (Salazar y Landa, 1993), estos últimos pueden estar relacionados con la mineralización aurífera de la Mina Corihuarmi.

Al este del sistema de fallas Chonta afloran las calizas de la Formación Chunumayo del Jurásico medio (en anteriores estudios es atribuida al Grupo Pucara), areniscas de las Formaciones Cercapuquio (Jurásico superior), calizas de la Formación Chaucha (Jurásico superior), areniscas y lutitas del Grupo Goyllarisquizga (Cretácico inferior), calizas de las formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha (Cretácico medio-superior), lutitas y areniscas de la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno). Al sureste afloran rocas volcánicas de la Formación Apacheta y domos subvolcánicos del Mioceno-Plioceno.

Al oeste del sistema de fallas Chonta se presentan rocas volcánicas del Eoceno-Mioceno, conformadas por el Grupo Sacsaquero, formaciones Castrovirreyna, Auquivilca, Caudalosa

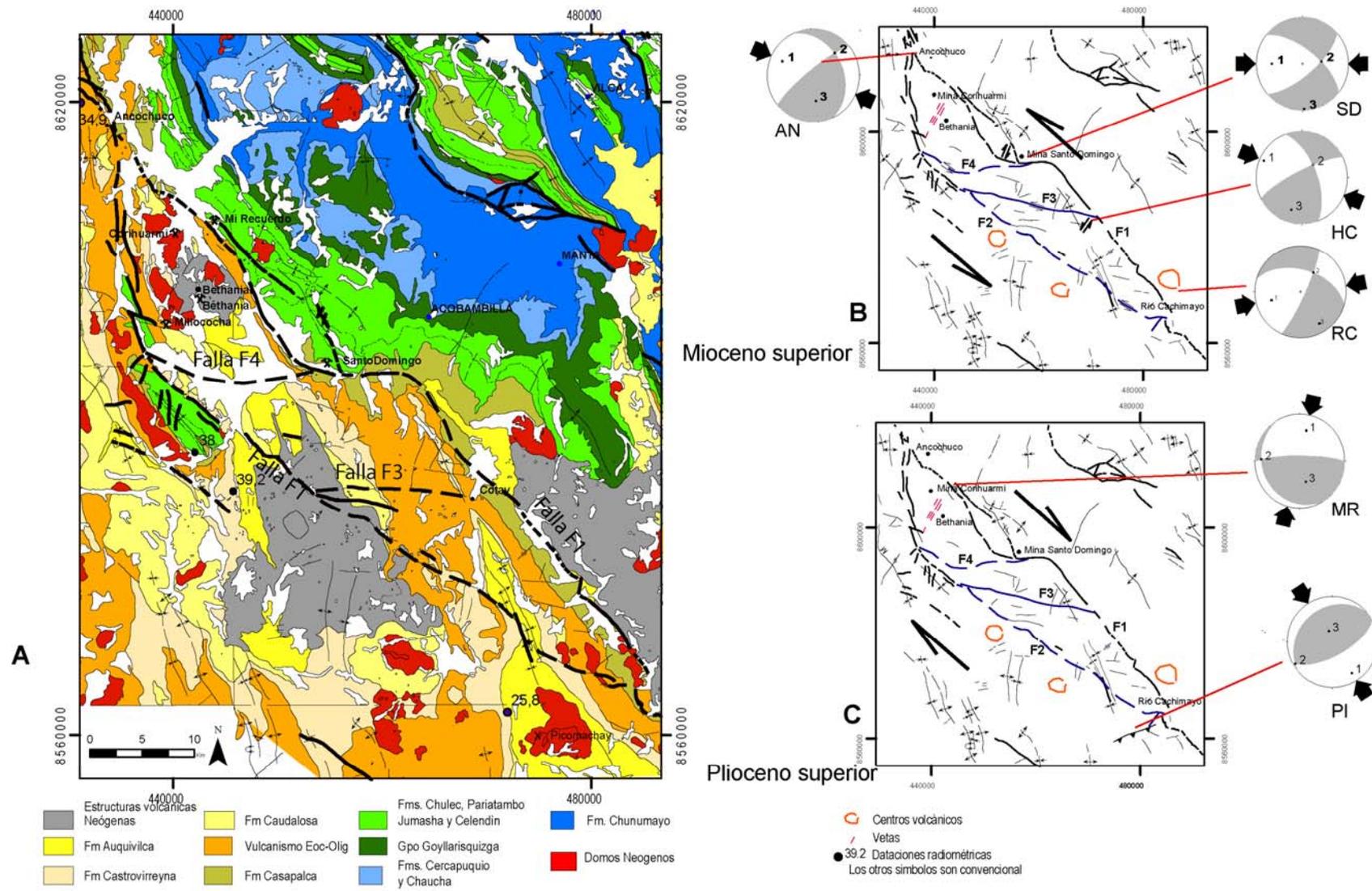


Figura 4.4: (A) El sistema de fallas Chonta en la Zona 2. Ancochuco-Río Cachimayo. (B) Primer evento sinistral, emplazamiento de magmatismo y mineralización. (C) Segundo evento dextral, provoca el cierre de la estructura romboédrica y no hay mineralización...

y un centro volcánico. Además se encuentran domos subvolcánicos asociados a la mineralización del Proyecto Picomachay.

Análisis Estructural.

Mediante la interpretación de imágenes de satélite landsat (bandas 7, 4, 2 y 3, 2, 1), se ha determinado que los ramales 1 y 2, se unen al norte en la localidad de Ancochucu, y al sur en el río Cachimayo. La unión de los dos ramales determina una estructura romboédrica (Figura 4.4) de dirección N130° con 70 km de largo por 15 km de ancho y está cortada por dos fallas de orientación casi N100° (F3 y F4). Al norte de la falla F4, existe una depresión correspondiente a una cuenca sedimentaria de edad Plio-Cuaternaria con depósitos de abanicos aluviales y lacustres, donde también afloran domos andesíticos no datados, pero atribuidos al Mioceno. En este sector, se presentan también las vetas polimetálicas de dirección N60° de las minas Bethania y Millococha.

En el sector de Ancochucu, la falla F2, tiene dirección N155° y pone en contacto a las secuencias volcánicas del Grupo Sacsacero con las secuencias clásticas de la Formación Casapalca. En este sector, se ha realizado la estación de microtectónica AN (Figura 4.4B) con 8 medidas de planos de fallas y ángulo de pitch, los que pertenecen a una sola familia, la misma que tiene una dirección promedio N340°, 40°NE y pitch 15°SE con movimiento sinistral. La dirección y movimiento de estas fallas, ubicadas en el diagrama de Harding (1974), previamente orientada a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos indica que corresponden a fallas sintéticas de movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta (Figuras 4.4B y 4.5A).

En análisis cinemático de la estación AN1 (Figura 4.5B) muestra σ_1 (294.4°/27.2°) y σ_3 (174.2°/44.4°) casi subhorizontales y σ_2 (161.1°/67.7°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes con la dirección de compresión N66°O-S66°E. Por lo tanto, el movimiento del sistema de fallas Chonta en esta época es sinistral.

En los alrededores de la mina Santo Domingo, la falla F1 pone en contacto a las calizas de la Formación Jumasha frente a rocas andesíticas subvolcánicas y la Formación Casapalca. La mineralización polimetálica de la mina Santo Domingo se encuentra en mantos intercalados con las calizas de la Formación Jumasha y en vetas dentro de domos andesíticos. En este sector, se ha realizado la estación microtectónica SD (Figuras 4.4 y 4.5 C y D). En el contacto de la roca caja y las vetas de cuarzo con contenido polimetálico, se encuentran estrías de falla de dirección promedio N49° con 69°SE de buzamiento y pitch 28°SO con movimiento dextral normal. La dirección y movimiento de estas fallas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos indica que corresponden a fallas antitéticas de movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta (Figura 4.5C).

En el análisis cinemático SD (Figura 4.5D) muestra σ_1 (270.1°/33.8°) y σ_3 (177.8°/3.4°) casi subhorizontales y σ_2 (82.8°/55.9°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes para el sistema de fallas Chonta con una dirección de compresión E-O. En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas Chonta, en esta época es sinistral.

En el río Cachimayo, en el bloque piso del sistema de fallas Chonta, se ha realizado la estación RC (Figuras 4.4B y 4.5 E y F), donde se encuentran fallas que afectan a los volcánicos atribuidos al Mioceno superior. Las fallas tienen una orientación promedio

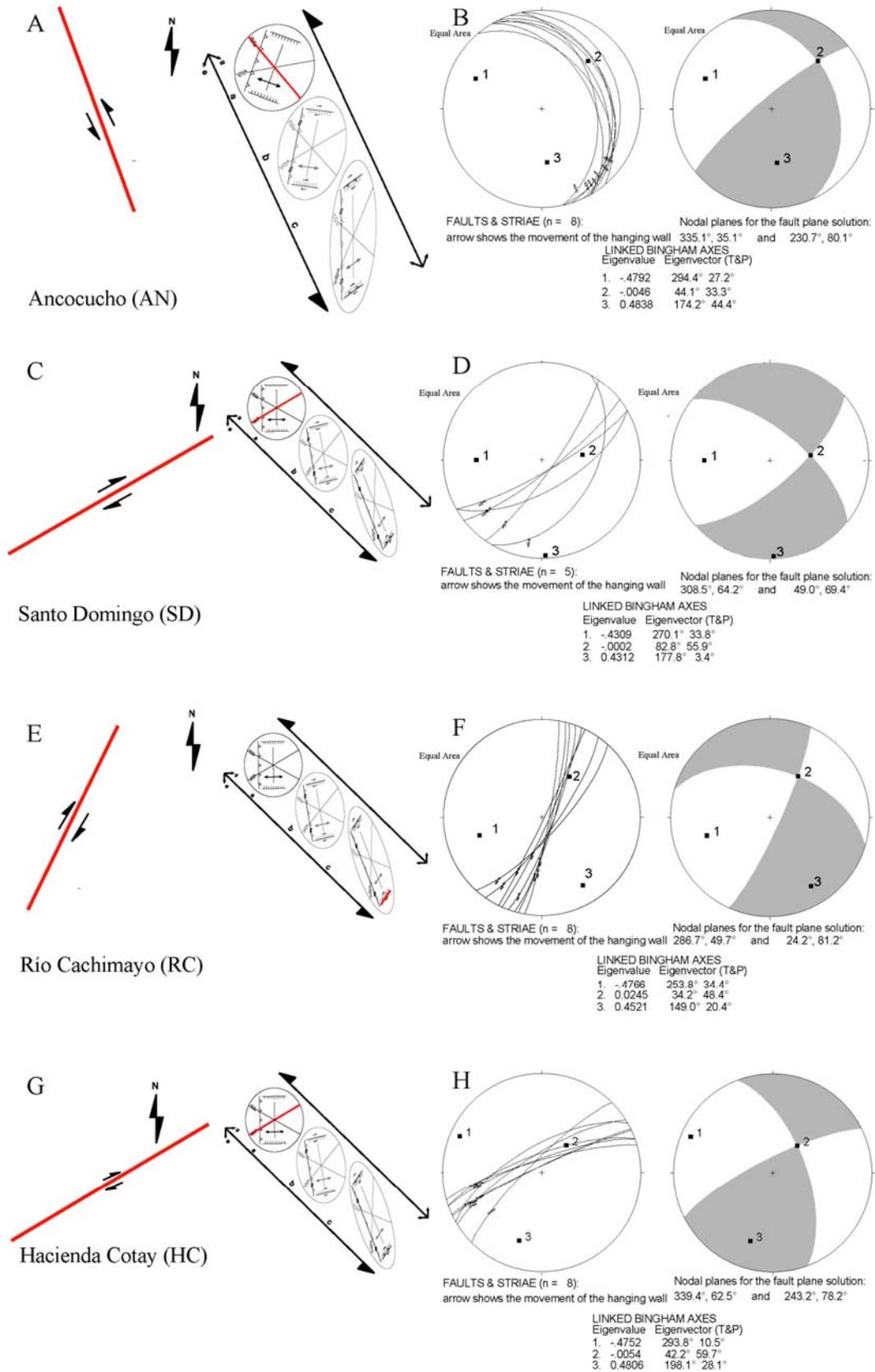


Figura 4.5. Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta en la zona 2, Ancocuyo-Río Cachimayo.

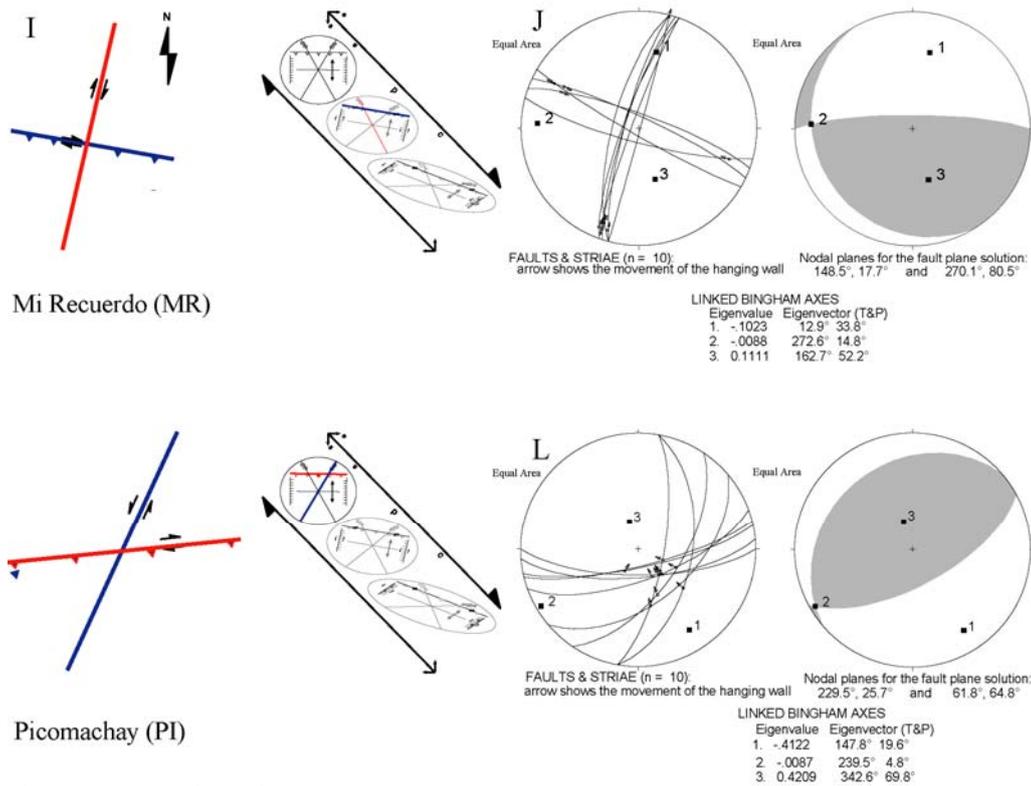


Figura 4.5 (continuación)

N16° con 80°SE de buzamiento y pitch 30°SE, con movimiento normal dextral. La dirección y movimiento de estas fallas ubicadas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos permite deducir que corresponden a fallas dextrales con componente inverso, producto de un cizallamiento continuo, el cual a provocado la inversión cinemática las fallas normales a fallas inversas con componente de rumbo dextral (ver figura 2.2 para mejor comprensión) y corresponde a un eventual movimiento sinistral del sistema de fallas Chonta (Figura 4.5E).

En análisis cinemático para la estación del río Cachimayo (RC-Figura 4.5F) muestra el σ_1 (253.8°/34.4°) y σ_3 (149.0°/20.4°) subhorizontales y σ_2 (34.2°/48.4°) corresponde al esfuerzo subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurentes para el sistema de fallas Chonta con la dirección de compresión S74°O-N74°E. Por lo tanto, el origen de estas fallas corresponde a un movimiento sinistral del sistema de fallas Chonta igual que las estaciones AN y SD.

En la hacienda Cotay, cerca de la traza de la falla F1, se ha realizado la estación de microtectónica HC, donde se encuentran registros de una falla que afecta a lavas de la Formación Sacsaquero, los planos de falla tienen en promedio dirección promedio N243° con 80°NO de buzamiento y pitch 34°SO, con movimiento dextral y componente inverso.. La dirección y movimiento de estas fallas ubicadas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos permite interpretar que corresponden a fallas antitéticas de cizalla simple pertenecientes a movimientos sinistral del sistema de fallas Chonta, los cuales han sido luego del Eoceno superior. (Figura 4.5G).

En análisis cinemático (Figura 4.5H) muestra el σ_1 (293.8°/10.5°), σ_3 (198.1°/28.1°) casi subhorizontal y σ_2 (42.2°/59.7°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrente para el sistema de fallas Chonta con la dirección de compresión N67°O-S67°E. En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas Chonta en la estación HC es sinistral, al igual que la estación AN, SD y RC.

En la mina Mi Recuerdo, la falla F1 pone en contacto calizas de la Formación Chulec con volcánicos del Grupo Sacsaquero del Eoceno superior (Foto 4.2). En este sector se ha realizado, en un nivel de toba del Grupo Sacsaquero, la estación de microtectónica MR (Figuras 4.4c y 4.5 I y J). En esta estación se han determinado dos familias de fallas (Figura 4.5I), que corresponden a un mismo evento. La primera familia, tiene una dirección promedio de N195° con 85°NO de buzamiento y pitch 12°SO con movimiento dextral. La segunda familia es de dirección N110° con 85°SO de buzamiento y pitch 20°NO con movimiento dextral y componente inverso. La dirección y movimiento de estas fallas ubicadas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, indica que la primera familia puede corresponder a fallas sintéticas del sistema de fallas Chonta y la segunda a fallas de rumbo dextral con componente inverso, pertenecientes a una cizallamiento modificado con movimiento dextral correspondiente a una edad post Eocena. (Figura 4.5I).

En análisis cinemático de la estación MR (Figura 4.5J) muestra a σ_1 (12.9°/33.8°) y σ_2 (272.6°/14.8°) casi subhorizontales, y σ_3 subvertical (162.7°/52.2°), definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes con la dirección de compresión N13°E-S13°O. Consecuentemente, el movimiento del sistema de fallas Chonta en esta estación es dextral.



Foto 4.2: Arriba, falla F1, de la estructura romboédrica de la Zona 2, al sur de la mina Mi Recuerdo, pone en contacto a la Formación Chulec (Cretácico inferior) con la Formación Sacsaquero. Abajo, detalle de fallas menores del sistema de fallas Chonta.

En el proyecto aurífero Picomachay, se ha realizado la estación de microtectónica PI (Figuras 4.4C y 4.5 K y L, donde se encuentran 2 familias de fallas, las que afectan a los domos dacíticos y a la mineralización aurífera (atribuida a l Mioceno superior). La primera familia tiene dirección promedio N80° con 70°SE de buzamiento y pitch 77°NE con movimiento inverso dextral. La segunda familia tiene dirección promedio N30°, 50°SE y pitch 50° SE con movimiento inverso sinistral. La dirección y movimiento de las dos familias de fallas ubicadas en el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente a la dirección principal del sistema de fallas Chonta, nos permite deducir que la primera familia corresponde a fallas inversas y la segunda a fallas antitéticas de una cizalla simple, en un eventual movimiento dextral del sistema de fallas Chonta para el Mioceno superior-Plioceno (Figura 4.4C).

En análisis cinemático (Figura 4.6D) muestra a σ_1 (147.8°/19.6°) y σ_2 (239.5°/4.8°) casi subhorizontales, y σ_3 (342.6°/69.8°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos de compresión prácticamente pura en este punto, sin embargo, puede resultar transcurrente para el sistema de fallas Chonta con la dirección de compresión N33°O-S33°E. Por lo tanto, el movimiento del sistema de fallas Chonta en esta estación sería dextral.

Cronología de Eventos

De los análisis cinemáticos en los ramales y fallas menores del sistema de fallas Chonta (Figuras 4.4B y 4.4C), se deducen dos eventos. El primero registrado en rocas de la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno), Grupo Sacsaquero (Eoceno superior) y los volcánicos de la Formación Apacheta (Mioceno), corresponde a movimientos sinestrales (Figura 4.4B) causantes de zonas de debilidad, por donde se han emplazados domos andesíticos afectando a las secuencias volcanosedimentarias de la formaciones Castrovirreyna, Auquivilca y Caudalosa del Mioceno. Estos domos a su vez tienen relación con la mineralización de la mina Corihuarmi. En el borde sur de la estructura romboédrica de la zona 2, se emplazan domos dacíticos y andesíticos afectando a la Formación Auquivilca del Mioceno medio. Estos domos están relacionados con mineralización de la proyecto Picomachay. El hecho que la mineralización afecte a las formaciones del Mioceno medio, evidencian que el primer evento, con movimientos sinestrales, comenzó en el Mioceno superior.

El segundo evento es registrado en rocas de la Grupo Sacsaquero, en los domos y mineralización del Proyecto Picomachay. Corresponde a movimientos dextrales (Figura 4.4C). Contrariamente al primer evento, ahora se originan áreas de compresión y no permite el emplazamiento de yacimientos de minerales. La edad del segundo evento en la zona 2 no ha sido determinada, pues aún no se cuentan con dataciones radiométricas de los domos relacionados con la mineralización de la mina Corihuarmi y del proyecto Picomachay, sin embargo, puede corresponder al Plioceno.

4.1.3 Zona 3 (Pampamarca-El hallazgo)

La zona 3 abarca desde Pampamarca hasta el proyecto El Hallazgo (Figura 4.6) donde el sistema de fallas Chonta tiene una orientación N130° y está conformado por un solo ramal. El bloque techo (oeste) forma parte del sinclinorio de Castrovirreyna, y está conformado por lutitas y calizas lacustres de la Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno, seguidas de una secuencia volcánica perteneciente a los grupos Sacsaquero y Tantarà del Eoceno superior; luego se tiene una secuencia volcanoclásticas de la Formación Castrovirreyna del

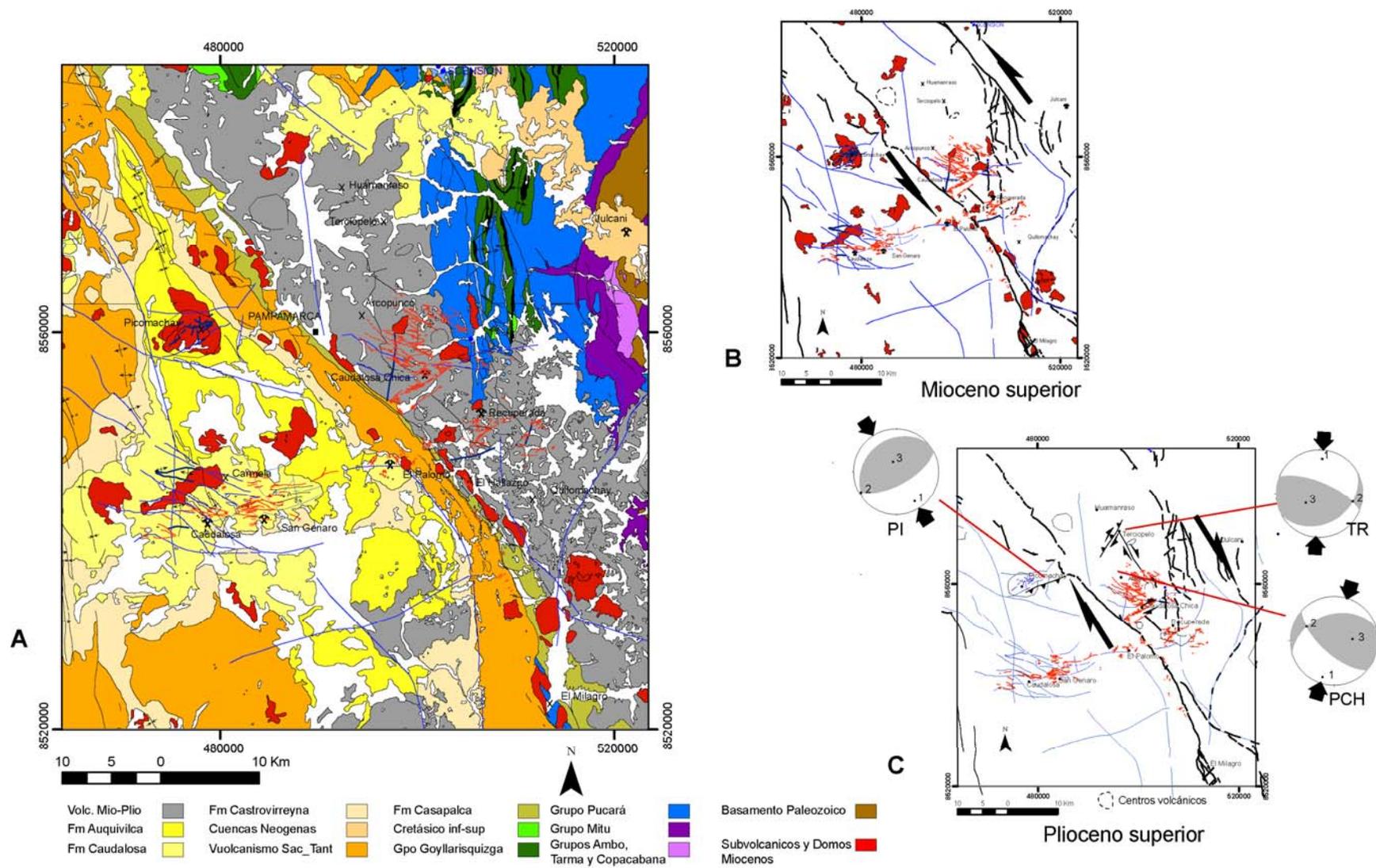


Figura 4.6: (A) El sistema de fallas Chonta en la Zona 3. Pampamarca-El Hallazgo. (B) Primer evento sinistral, emplazamiento de magmatismo y mineralización. (C) Segundo evento dextral.

Mioceno, a la que se superpone, sedimentos lacustres de las Formación Auquivilca o Choclococha (Wise y Noble, 2001) del Mioceno medio. Terminando la secuencia estratigráfica están las lavas de la Formación Caudalosa Mioceno medio. Cortando a toda la secuencia estratigráfica se tienen domos dacíticos y andesíticos del Mioceno medio-superior.

El bloque piso (este) está conformado por la secuencias volcánicas, domos subvolcánicos y secuencias lacustres de la Formación Apacheta del Mioceno-Plioceno.

Análisis Estructural

En anteriores estudios, la traza del sistema de fallas Chonta, ha sido cartografiada al contacto entre la Formación Casapalca (Paleoceno-Eoceno inferior) con los volcánicos de la Formación Apacheta, sin embargo en la carretera Huachocolpa-mina El Palomo, en la margen derecha de la quebrada Anccamarca (Foto 4.3), se encuentran sedimentos lacustres de la Formación Casapalca con rumbo N135° con 85°O de buzamiento y tendencia a invertirse. Estos sedimentos tienen continuidad en la otra margen de la quebrada. En la margen izquierda de la quebrada Anccamarca, se encuentra una secuencia lacustre mas joven que la Formación Casapalca y que puede pertenecer a la Formación Apacheta, la misma que se encuentra en discordancia angular sobre las secuencias lacustres de la Formación Casapalca. También se observa que las rocas volcánicas de la Formación Apacheta sellan las trazas de la Falla Chonta.

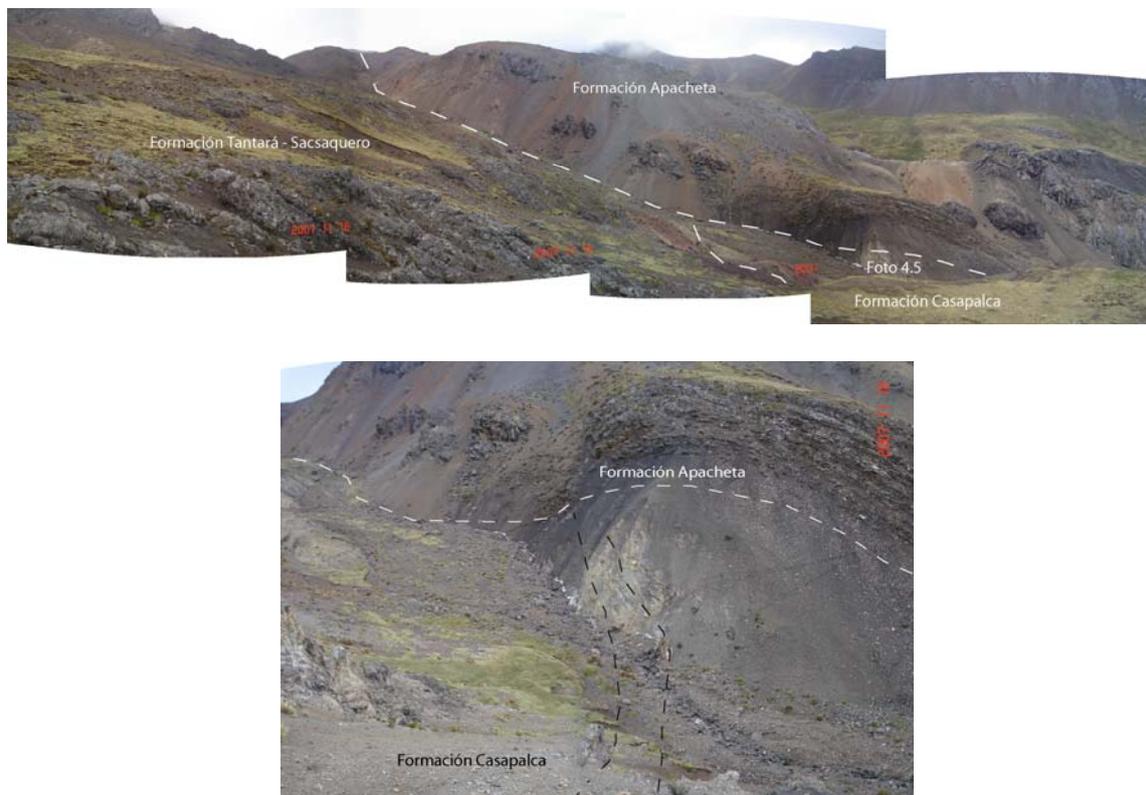


Foto 4.3. (A) Los volcánicos de la Formación Apacheta, sellan en sistema de fallas Chonta, que se encuentra a la base de la Formación Casapalca. Vista tomada al norte en la quebrada Anccamarca, carretera Huachocolpa-mina El Palomo (B) Detalle de A mostrando como la Formación Apacheta sella el sistema de fallas Chonta

Entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica (Figura 4), se encuentran fallas tensionales, en donde se emplazan los yacimientos auríferos de Huamanraso, Terciopelo, Arcopunco y las minas polimetálicas Recuperada y Caudalosa Chica, entre otros.

En la carretera Paso Chonta-Mina Caudalosa, se ha realizado la estación microtectónica PCH, donde se encuentran estrías de fallas pertenecientes a dos familias de la misma época y que afectan a la Formación Apacheta. La primera familia tiene dirección N255°, con 52°NO de buzamiento y pitch 30° NE, con movimiento sinistral. La segunda tiene dirección N15° con 60°SE de buzamiento y pitch 18°NE con movimiento dextral. Una tercera familia se halla en las cercanías de Pampamarca, la que tiene dirección N30° con 85°SE de buzamiento y pitch 40°NE, con movimiento dextral inverso; estas fallas afectan a un domo andesítico datado en 9.45Ma (Wise y Noble, 2001). Comparando con el diagrama de Harding (1974), orientado paralelamente al sistema de fallas Chonta, nos indica que la primera familia corresponde a fallas antitéticas, la segunda y tercera familia pertenecen a fallas sintéticas, todas de una cizalla simple modificada, en un eventual movimiento dextral del sistema de fallas Chonta (Figura 4.7A).

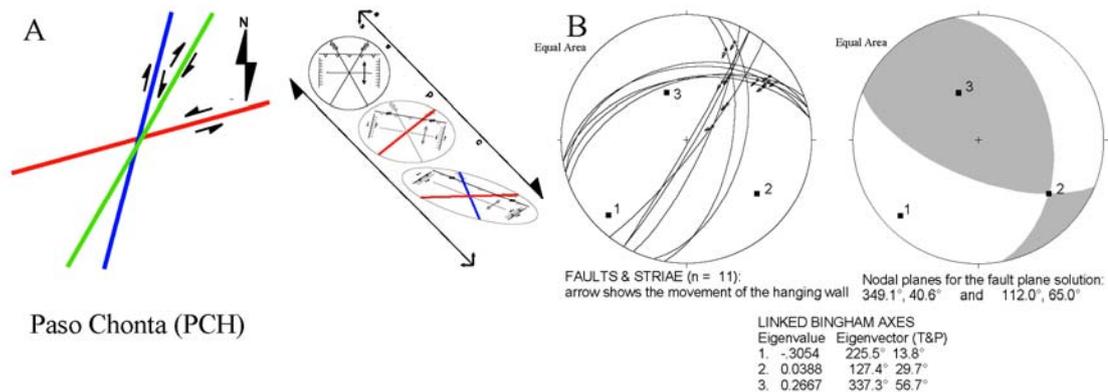


Figura 4.7: Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta en la zona 3, Pampamarca-El Hallazgo.

En análisis cinemático de la estación PCH (Figura 4.7B), muestra a σ_1 (225.5°/13.8°) y σ_2 (127.4°/29.7°) casi subhorizontales, y σ_3 (337.3°/56.7°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes, con la dirección de compresión S45°O-N45°E. En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en este punto durante el Mioceno superior-Plioceno fue dextral.

En el sector del proyecto Hallazgo (Figura 4.8), el sistema de fallas Chonta tiene dirección N150°, poniendo en contacto las lutitas de la Formación Casapalca con las rocas volcánicas de la Formación Apacheta. En el bloque techo del sistema de fallas Chonta se encuentran vetas polimetálicas alojadas en las capas rojas de la Formación Casapalca. En los trabajos realizados por la Compañía de Minas Buenaventura (Figura 4.8), se observa que las vetas tienen una orientación N110° a N130°, cambiando cerca de la traza del sistema de fallas Chonta a N145° formando una estructura de cola de caballo. Geométricamente, esto indica que la mineralización ha tenido lugar en un régimen sinistral del sistema de fallas Chonta. En el bloque este, dentro los domos andesíticos, se encuentran fallas con orientación N15°. Al relacionar estas fallas con el sistema de fallas Chonta, geométricamente indican que son producto de un movimiento dextral del sistema de fallas Chonta. En consecuencia, en el proyecto el Hallazgo existen dos movimientos, el

primero sinistral relacionado con el emplazamiento de la mineralización y el segundo, dextral y posterior a la mineralización.

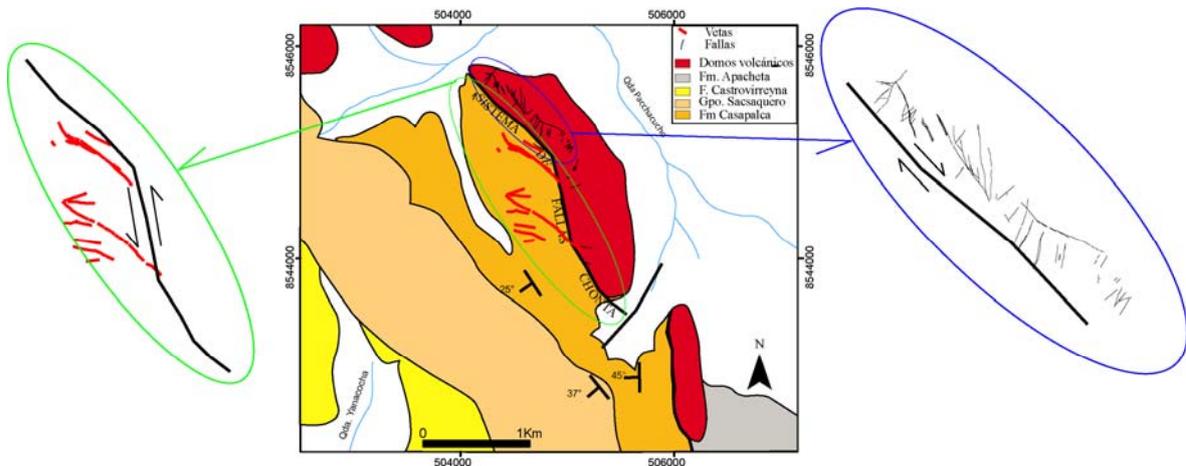


Figura 4.8: Croquis del proyecto El Hallazgo, en base a mapas de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., as vetas mineralizadas, muestran una disposición en cola de caballo, sugiriendo movimiento sinistral para el emplazamiento de mineralización, mientras que las fallas en el bloque este, son tensionales del sistema de fallas Chonta en un movimiento dextral.

Cronología de Eventos

Luego del análisis cinemático de estrías de fallas y el análisis geométrico estructural entre el sistema de fallas Chonta, con las fallas menores, relacionadas con el magmatismo y el emplazamiento de mineralización, se ponen en evidentes dos eventos cinemáticos. El primer evento fue sinistral (Figura 4.6B) y originando, entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica, fallas tensionales con movimiento normal, favoreciendo el emplazamiento del magmatismo de la Formación Apacheta entre 10.4 y 3.7 Ma (Mckee, et al; 1975), domos y diques datados en 9.8 y 3.8 Ma respectivamente (Wise y Noble, 2001), la mineralización aurífera de Huamanraso en 6.0 Ma (Chenau, 1998) y la mineralización polimetálica del distrito minero de Huachocolpa entre 8 y 3.8 Ma. (Reportes inéditos de la Unidad Minera Recuperada). Todo esto nos indica que el evento sinistral ha ocurrido desde el Mioceno medio al Plioceno inferior.

Los análisis de datos cinemáticos en fallas menores, ubicados en el proyecto Terciopelo y en el Paso Chota (PCH), fueron relacionados en el diagrama de Harding (1974) indicando movimientos dextrales para el sistema de fallas Chonta, (Figura 4.6C) los que afectan a la Formación Apacheta datada entre 10.4 y 3.7 Ma (Mckee, et al; 1975); a la mineralización del yacimiento aurífero de Terciopelo, que puede ser de la misma edad del yacimiento de Huamanraso (6.0 Ma, Chenau, 1998) y a la mineralización del distrito minero Huachocolpa (8 y 3.8 Ma, Reportes inéditos de la Unidad Minera Recuperada). En consecuencia, el evento dextral es posterior a los movimientos sinistral del sistema de fallas Chonta y corresponde al Plioceno superior.

4.1.4 Zona 4 (Licapa)

La zona 4 se sitúa en los alrededores de la localidad de Licapa (Figura 4.9A). El sistema de fallas Chonta presenta 4 fallas, que se unen al sur y al norte, formando una estructura mayor de forma romboédrica, de dirección N155° con 16 km de largo por 2 km de ancho. Las fallas principales F1 y F4 controlan los afloramientos de la Formación Chunumayo

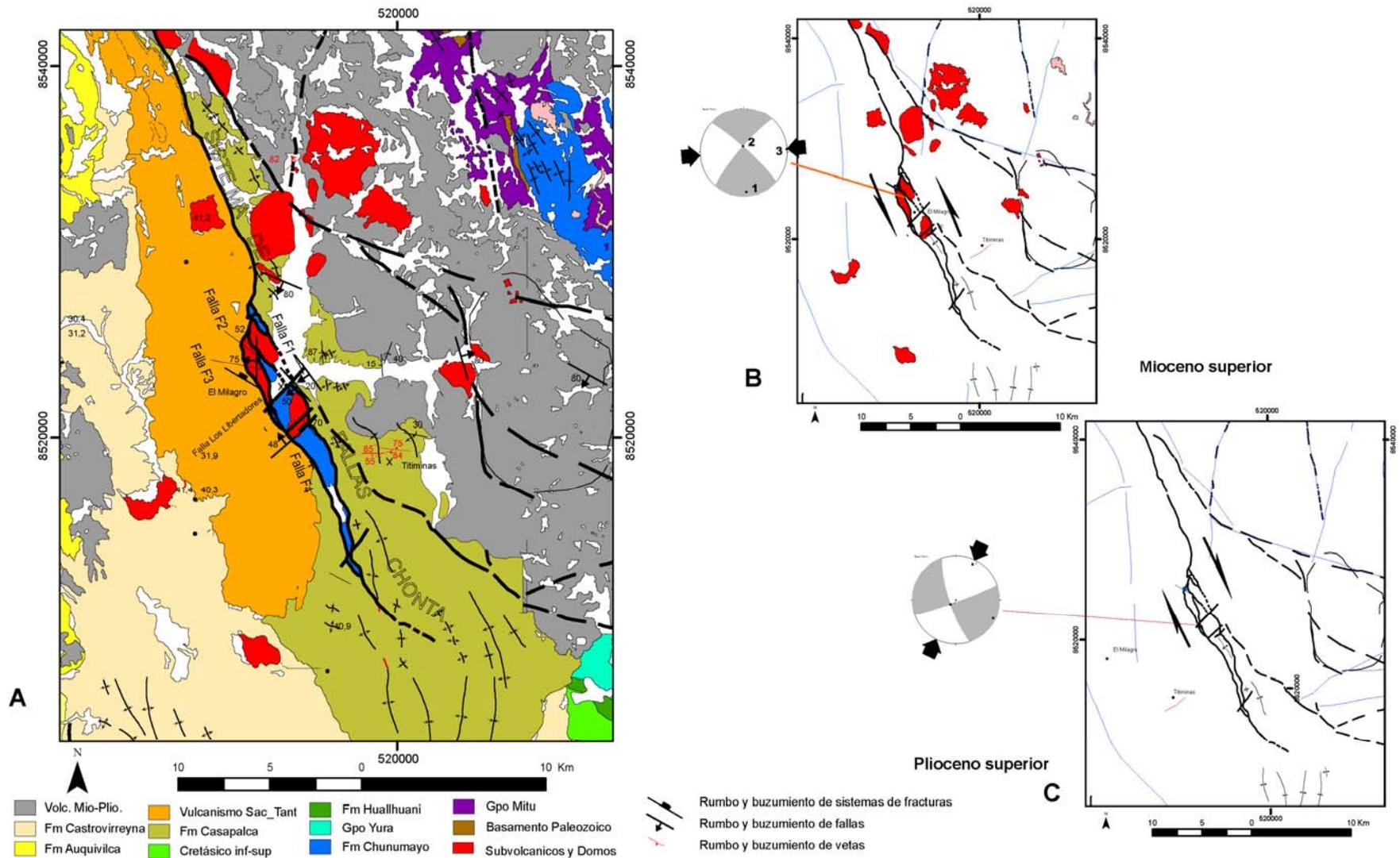


Figura 4.9: (A) El sistema de fallas Chonta en la Zona 4. Licapa. (B) Primer evento sinistral, emplazamiento de magmatismo y mineralización. (C) Segundo evento dextral.

(Jurásico inferior-considerado en otros estudios como Grupo Pucará) y cuerpos andesíticos subvolcánicos terciarios. En el bloque techo (oeste) del sistema de fallas Chonta, afloran rocas detríticas de la Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno, sobreyacidas por los volcánicos de la Formación Tantará y Grupo Sacsaquero del Eoceno superior. En el bloque piso (este) afloran conglomerados, arenas y lutitas de la Formación Casapalca y volcánicos de la Formación Apacheta del Mioceno superior-Plioceno. Cortando al sistema de fallas Chonta, se tienen fallas con dirección $N50^\circ$ denominada localmente por los geólogos de Compañía de Minas Buenaventura como falla Los Libertadores (Figura 4.9A).

Análisis Estructural

La falla F1 (Figura 4.9A), aflora en la carretera Los Libertadores, tiene una dirección $N135^\circ$, con buzamiento de $50^\circ SO$, donde las calizas de la Formación Chunumayo, cabalgan a las capas rojas de la Formación Casapalca (Foto 4.4). La falla F2, es un ramal de la falla F1 y se une a la falla F3 y la falla F4, constituyendo el límite occidental del sistema de fallas Chonta.



Foto 4.4: La falla F1 del sistema de fallas Chonta, pone en contacto a las calizas de la Formación Chunumayo sobre las areniscas de la Formación Casapalca. Se observa también la falla Los Libertadores, perpendicular a la falla F1.

En el sector de Yuraccasa, se ha tomado medidas en la estación microtectónica YU (Figuras 4.9B y 4.10 A y B), en donde se ha determinado una familia de fallas de dirección $N335^\circ$ con $75^\circ NE$; y pitch $15^\circ SE$, con movimiento sinistral (Figuras 4.10A), la que está afectando a un cuerpo andesítico que lo pone en contacto con las calizas de la Formación Chunumayo (Figura 4.9A). Comparando el diagrama de Harding (1974) vemos que corresponde a fallas sintéticas de una cizalla simple de movimiento sinistral del sistema de fallas Chonta (Figura 4.10A).

En análisis cinemático (Figura 4.10B) muestra a σ_1 ($86.2^\circ/0.7^\circ$) y σ_3 ($176.3^\circ/11.0^\circ$) casi subhorizontales, y a σ_2 ($352.4^\circ/79.0^\circ$) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes para el sistema de fallas Chonta con la dirección de compresión $N86^\circ E-S86^\circ O$. Consecuentemente, el movimiento del sistema de fallas Chonta, al momento de originar estas fallas, sería sinistral.

En nivel 4040 del proyecto El Milagro, se ha realizado la estación microtectónica EM (Figura 4.9C), donde se han reconocido 3 familias de fallas (Figura 4.10 C). La primera de dirección promedio $N350^\circ$, con $65^\circ NO$ de buzamiento y pitch $14^\circ SE$, con movimiento dextral normal. La segunda familia tiene en promedio una dirección $N50^\circ$ con $60^\circ SE$ de buzamiento y pitch $18^\circ SO$, con movimiento dextral y componente inverso. La tercera

familia tiene dirección promedio N80° con 82°SE de buzamiento y pitch 25° NE, con movimiento sinistral y componente normal. Comparando las tres familias de fallas con el diagrama de Harding (1974), se determina que la primera familia corresponde a fallas sintéticas, la segunda y tercera pertenecen a fallas antitéticas de una cizalla simple levemente modificada de un movimiento dextral del sistema de fallas Chonta (Figura 4.10C).

El análisis cinemático (Figura 4.10D) muestra a σ_1 (28.4°/4.4°) y σ_3 (298.2°/2.7°) casi subhorizontales, y a σ_2 (176.7°/84.9°) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes para el sistema de fallas Chonta con la dirección de compresión N28°E-S28°O. Por lo tanto, el movimiento del sistema de fallas Chonta al momento de originar estas fallas sería dextral.

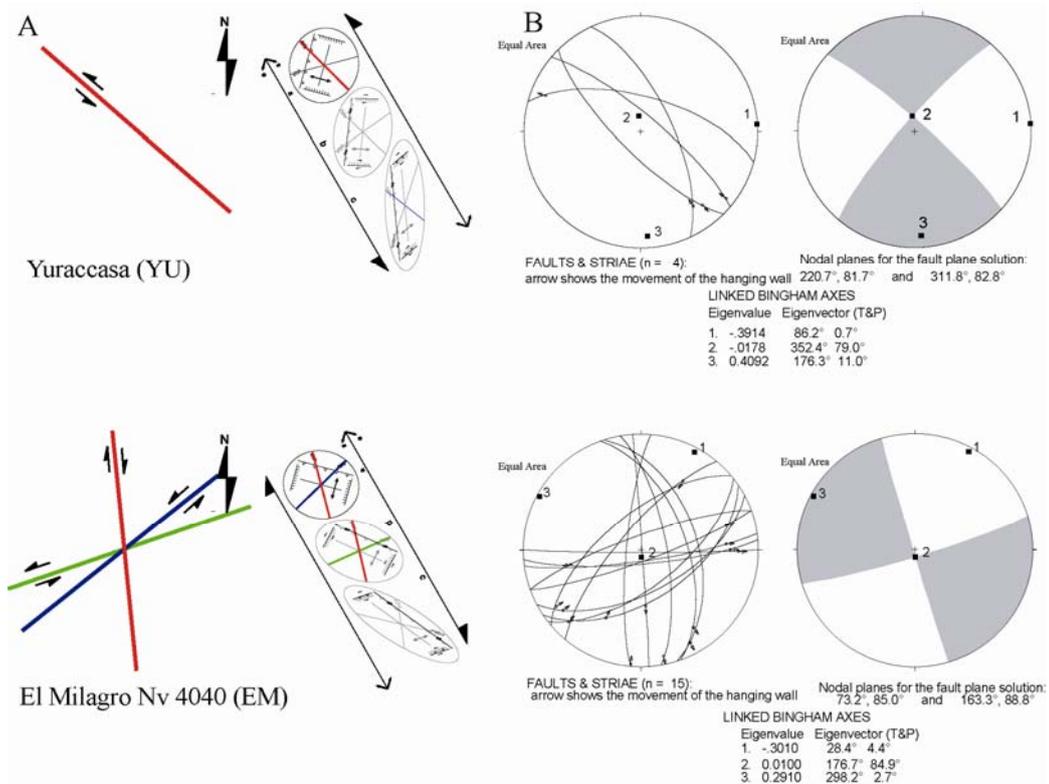


Figura 4.10: Análisis cinemático del sistema de fallas Chonta (A) Sector de Yuraccasa, (B) Proyecto el Milagro Nv 4040.

El sistema de fallas Los Libertadores aproximadamente de 13 km de ancho, está conformado por fallas de dirección N40°E, con buzamiento cercano a la vertical. En la carretera Los Libertadores (Foto 4.4) y al sur de esta, se ha determinado, mediante cartografiado y medidas de estrías de fallas (Figuras 4.9 y figura 4.11), el movimiento dextral con componente normal. En efecto, en el sector de El Milagro la falla Libertadores desplaza cerca de 100 m a la falla 1 del sistema de fallas Chonta. En el análisis cinemático de la figura 4.11, la falla Los Libertadores, muestra a σ_1 (277.0°/8.3°) y σ_3 (184.2°/18.4°) casi subhorizontales, y σ_2 (30.2°/69.7) subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrente con la dirección de compresión N83°O-S83°E. En consecuencia, el movimiento del sistema la falla Los Libertadores tiene un movimiento dextral.

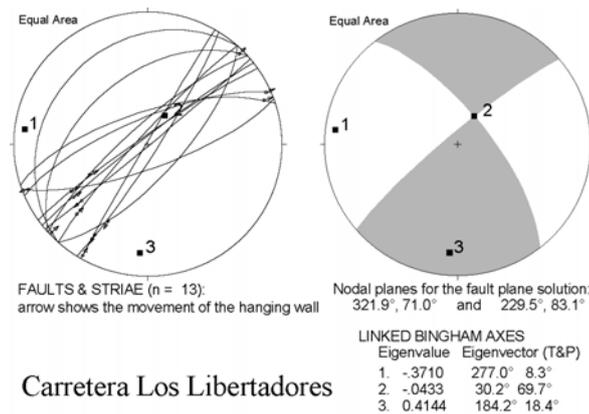


Figura 4.11: Análisis cinemática de la falla Los Libertadores en la carretera del mismo nombre.

Cronología de Eventos.

De los análisis cinemáticos y observaciones de campo, se deduce que en la zona 4 existen dos grandes eventos cinemáticos dentro del sistema de fallas Chonta.

El primer evento es sinistral y está evidenciado en Yuraccasa (Figura 4.10B). Afecta a un cuerpo andesítico no datado, y ha provocado en la estructura romboédrica de la zona 4 (Figura 4.9B) sectores propicios para el emplazamiento de la mineralización del proyecto El Milagro. Teniendo en cuenta que el magmatismo a lo largo de la falla Chonta se ha emplazado entre 10.4 y 3.7 Ma (Mckee, et al; 1975), se deduce que los cuerpos subvolcánicos y la mineralización en la zona 4, está dentro del mismo rango de tiempo, en consecuencia consideramos que los movimientos sinestrales han sido hasta el Plioceno inferior.

El segundo evento, evidenciado en el nivel 4040 del proyecto El Milagro, está representado por fallas menores, de dirección noreste con movimiento sinistral que afectan a cuerpos subvolcánicos y a los cuerpos mineralizados (Figura 4.10C). Actualmente en el proyecto el Milagro no se cuenta con dataciones radiométricas, sin embargo la mineralización en la zona 3 está afectada por un evento dextral del sistema de fallas Chonta, por tanto, es aceptable pensar que el segundo evento del sistema de fallas Chonta corresponde al Plioceno medio-superior, tal como ocurre en las zonas 1 y 3.

Los análisis cinemáticos y estructurales, determinan que la falla Los Libertadores, desplaza al sistema de fallas Chonta y tiene una dirección del estado de esfuerzos N83°O-S83°E, lo que indicaría un tercer evento en el sistema de fallas Chonta, el mismo que corresponde a movimientos sinestrales posteriores al segundo evento de movimiento dextral.

4.2 DINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA

Las evidencias de campo, análisis cinemáticos, cronología del emplazamiento de rocas plutónicas, domos volcánicos, diques y la mineralización, datados entre 10.4 y 3.7 Ma, evidencian que a partir del Mioceno el sistema de fallas Chonta ha tenido dos eventos de deformación (Figuras 4.12 y 4.13).

El Evento I, entre el Mioceno superior y Plioceno inferior, corresponde a movimientos sinestrales, debido a una dirección de esfuerzos E-O; tentativamente, podemos dividirlo en tres sub-eventos.

El evento IA (Figura 4.12A), entre 10.4 y 8 Ma. En la zona 3, se origina fallas tensionales entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huancavelica-Huachocolpa, permitiendo el emplazamiento de las primeras manifestaciones del magmatismo correspondiente a la Formación Apacheta (10.4-9.7 Ma, Mckke, et al; 1982) conjuntamente con domos y diques andesíticos (9.45 Ma, Wise y Noble, 2001).

El evento IB (Figura 4.12B), entre 8 y 6 Ma, origina áreas de transtención en las zona 1, 2 y 4; y una zona de fallas tensionales en la zona 3 (entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica). Correspondiente a este evento se emplazan en la zona 1 monzonitas entre 7.7 Ma (Stewart, et al; 1974) y 6.9 Ma (Giletti y Day, 1968) posiblemente relacionadas con la mineralización de las minas Yauricocha y Solitaria. En la zona 2, se emplazan los domos subvócánicos relacionados con la mineralización aurífera de Corihuarmi y Picomachay. En la zona 3, (entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica) se emplazan domos relacionados con la mineralización aurífera de Huamanraso (7.5 a 6.0 Ma, Chenaux, 1988), Terciopelo, Arcopunco y las primeras etapas de mineralización polimetálica del distrito minero de Huachocolpa. La mineralización y magmatismo de la zona 4 no está datado aún, pero es posible que corresponda al evento IB.

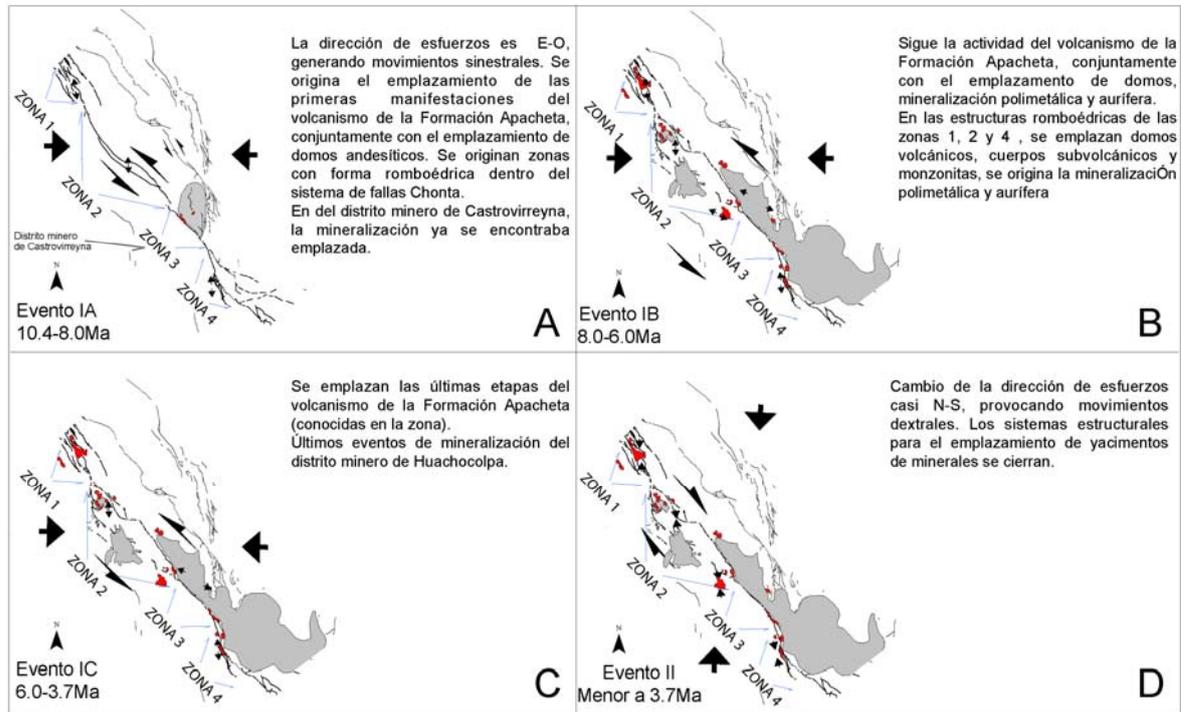
El evento IC (Figura 4.12C), entre 6 y 3.7 Ma, corresponde principalmente a las últimas etapas de mineralización del distrito minero de Huachocolpa (3.8 Ma; reportes de la unidad minera Recuperada), intrusiones de diques andesíticos (3.8 Ma, Wise y Noble 2001) y las últimas etapas de la Formación Apacheta (3.7 Ma, Mckke, et al; 1982).

El evento II (Figura 4.12D), menor a 3.7Ma, corresponde a movimientos dextrales con componentes normal y afectan a toda la mineralización relacionada con el sistema de fallas Chonta. Es consecuencia de un cambio de la dirección de esfuerzos a NNE-SSW, lo que provoca el cierre de los sistemas estructurales relacionados con la mineralización.

Eventos con movimiento dextral en la región han sido reconocidos por Soulas (1977) quien interpreta que estos movimientos ocurrieron aproximadamente en 10 Ma (evento Quechua II de Mégard, 1978). Posteriormente, Ángeles (1987) en la mina Yauricocha (Zona 1, del presente estudio), determina una dirección de esfuerzos N55°E que afecta a monzonitas datadas en 6.9 Ma (Giletti y Day, 1968), esta dirección de esfuerzos, al relacionarla con la dirección del sistema de fallas Chonta, originaron movimientos dextrales, que son coincidentes con los datos cinemáticos analizados en el presente estudio. Ángeles (1987) considera que los movimientos dextrales ocurrieron en el evento Quechua III que empieza en 7 Ma (Mégard, 1978), atribuyéndole una edad Mioceno-Pliocena, por afectar a las monzonitas de la zona 1, sin embargo, esta edad puede ser más joven.

En el distrito minero de Huachocolpa, un dique datado en 3.8 (Wise y Noble, 2001), está afectado por movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta; por otro lado, las vetas en el distrito minero de Huachocolpa, emplazadas entre 8-3.7 Ma, han sido afectadas por movimientos dextrales, en ambos casos, estas evidencias son producto de movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta correspondientes al Evento IC. Por lo tanto, el

evento II es más joven que la mineralización relacionada con el sistema de fallas Chonta, en consecuencia corresponde al Plioceno superior.



4.12: Eventos de deformación registrados en el sistema de fallas Chonta, A, B y C corresponden al Evento I. D corresponde al Evento II.

Evento	Dirección regional del Esfuerzo	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
Evento II Menor a 3.7Ma (Cierre)					
Evento IC 6.0-3.7Ma					
Evento IB 8.0-6.0 Ma					
Evento IA 10.4-8.0 Ma (Apertura)					

Mineralización aurífera
 Mineralización polimetálica en cuerpos
 Mineralización polimetálica en vetas
 Mineralización polimetálica en manto
 Plutones relacionados con mineralización polimetálica
 Volcanismo de la Formación Apacheta
 Domos subvolcánicos

4.13: Manifestación magmática y mineralización acompañada de la dirección de movimiento de apertura y cierre en las 4 zonas del sistema de fallas Chonta. A

5 EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA RELACIONADA CON OTRAS FALLAS REGIONALES Y EL EMPLAZAMIENTO DE DEPÓSITOS DE MINERALES

El análisis tecto-estratigráfico, el análisis estructural del sistema de fallas Chonta y las secciones estructurales regionales, nos permiten determinar la dinámica del sistema de fallas Chonta y su relación con otras fallas regionales y el emplazamiento de yacimientos de minerales.

5.1 PERMO-TRIÁSICO

Para poder entender la dinámica andina de la zona de estudio haremos un recuento de la evolución a partir del Pérmico superior, con el origen de un rift continental. En efecto, durante el Permo-Triásico se depositaron las secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Mitu, las que afloran en los dominios de las Altiplanicies y Ayacucho (Mégard, 1978). Posteriormente, a partir del Triásico superior y hasta el Jurásico inferior, el mar invade y rellena las cuencas desarrolladas en el contexto de rift, depositándose las formaciones Chambara, Aramachay y Condorsinga del Grupo Pucará (Mégard 1973, Rosas y Fontboté, 1994).

5.2 MESOZOICO

En el Bajociano el mar alcanza su mayor nivel y llega sobrepasar los límites occidentales del rift Permo-Triásico, se emplaza una sedimentación marina carbonatada correspondiente a la a la Formación Chunumayo de los dominios Sur, Occidental y Central. (Carlotto et al, 2008b).

En el Jurásico superior la sedimentación marina carbonatada desaparece, el nivel de mar baja quedando los Dominios Central y de las Altiplanicies emergidos. El Dominio Central constituye un alto estructural que no permite el ingreso del mar de oeste a este (Figura 5.1); este dominio es controlado por el sistema de fallas Chonta y las fallas Jatumpata y Huachocolpa-Huancavelica. En este periodo, dentro del Dominio Central se depositan sedimentos de ríos distales próximos a la costa, perteneciente a la Formación Cercapuquio y en el Dominio de las Altiplanicies se postula que se originaron sedimentos de ríos distales correspondientes a la parte inferior del Grupo Goyllarisquizga. Contemporáneamente en el Dominio Occidental se depositan facies silicoclásticas de origen marino correspondientes a la Formación Chicama.

Finalizando el Jurásico, el mar invade nuevamente la zona de estudio particularmente los dominios Occidental, Central y Sur, donde se depositan las calizas de las formaciones Chicama, Chaucha y del Grupo Yura (Formación Gramadal?) respectivamente. Sin embargo, el mar no llega a entrar al Dominio de las Altiplanicies donde continúa los depósitos fluviales de la parte inferior del Grupo Goyllarisquizga.

Para el Cretácico inferior Berramiano-Aptiano el mar se retira de toda la zona de estudio y aquí se instala un sistema de ríos entrelazados del Grupo Goyllarisquizga, y de la Formación Hualhuani del Dominio Sur.

En el Aptiano medio-Albiano, el mar ingresa nuevamente a la zona de estudio. En el Dominio Sur se emplaza una secuencia compuesta de calizas pertenecientes a la Formación

Arcurquina. En los dominios Occidental y Central se depositan calizas y lutitas de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín.

En acuerdo con las observaciones realizadas en la carretera Yauricocha-Huancayo (sección A-A' de la figura 3.5), se diferencian dos dominios estratigráficos en unidades del Jurásico-Cretácico superior. Estos dominios están limitados por el sistema de fallas Chonta, y evidencian un cambio lateral de facies de una zona más subsidente o profunda ubicada en el Dominio Occidental y a otra zona más somera o continental ubicada en el Dominio Central (Figura 5.1). Estos dos dominios, entre el Jurásico superior y el Cretácico superior, fueron controlados por fallas normales (Mégard, 1973, Ángeles, 1987) que corresponden al sistema de fallas Chonta (Figura 5.1). Estas fallas, corresponden también, al límite occidental de un alto estructural para el Jurásico medio-Cretácico superior, ubicado al este del sistema de fallas Chonta. En conclusión, el sistema de fallas Chonta, corresponde a la reactivación de un sistema de fallas normales que han controlado la sedimentación del Jurásico medio-Cretácico.

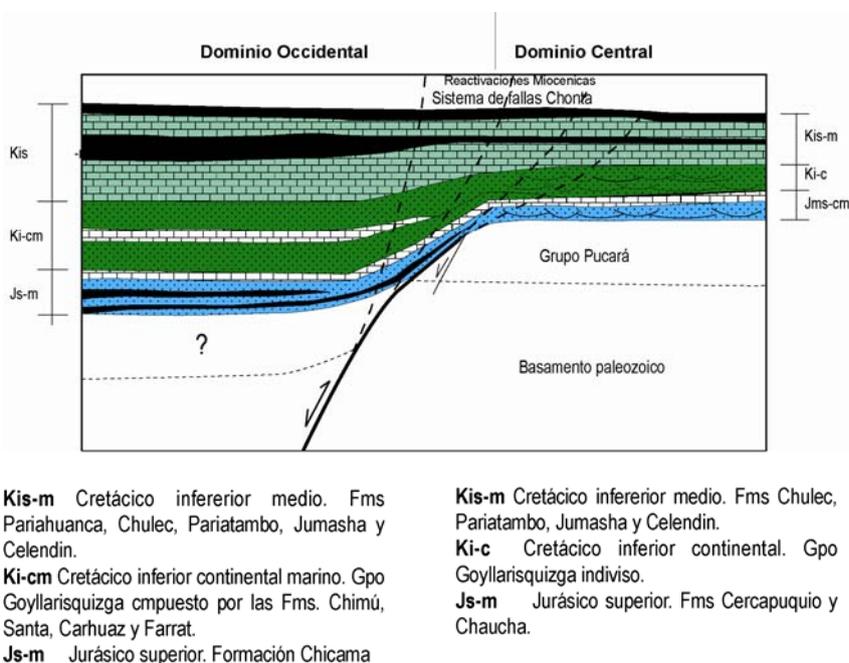


Figura 5.1: Representación esquemática del cambio de facies, controlado por fallas normales, desde el Jurásico al Cretácico entre el Dominio Occidental y el Dominio Central. El sistema de fallas Chonta corresponde a reactivaciones en el Mioceno.

5.3 CENOZOICO

En el Paleoceno?-Eoceno inferior (Figura 5.2A), luego de la sedimentación marina de las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín, en régimen extensional, la región de estudio fue sometida a un régimen de compresión, originando el levantamiento de bloques por la actividad de fallas inversas con convergencia al NE. Estas fallas corresponden al sistema de fallas Ayacucho-Cerro de Pasco y a la falla Julcani-Huancayo, las cuales han provocado el origen de una cuenca sedimentaria al oeste, en las espaldas de su bloque techo. En esta cuenca, se han emplazado los sedimentos de la Formación Casapalca y de la Formación Ticllas del Dominio de Ayacucho (Mégard et al., 1984; Rodríguez y Chacaltana, 2003; Chacaltana, et al 2004)

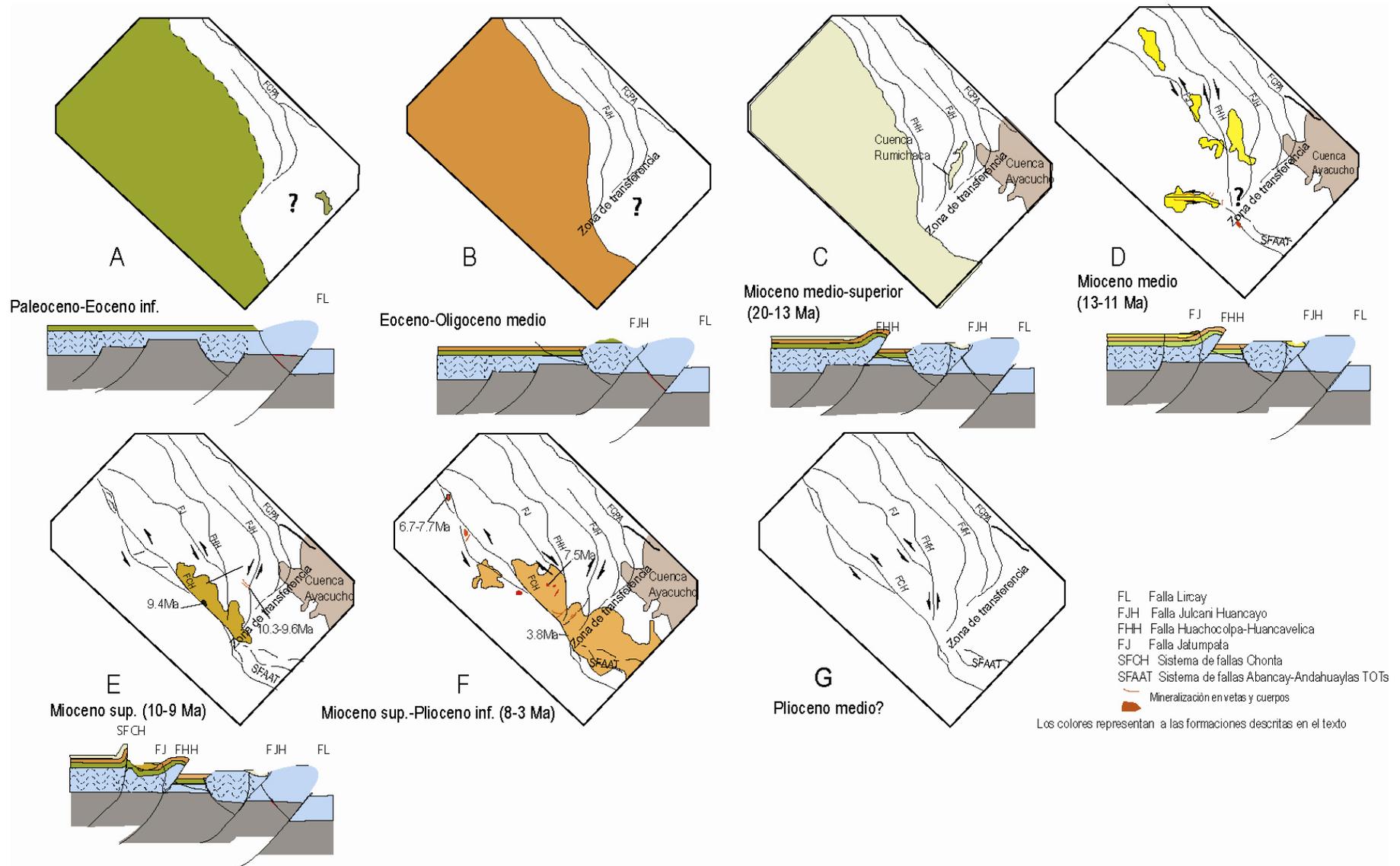


Figura 5.2: Evolución del sistema de Fallas Chonta en relación con otras fallas regionales y el emplazamiento de yacimientos de minerales

En el Eoceno medio-Oligoceno, se reactiva-origina la falla inversa Julcani-Huancayo, con dirección NO-SE, cambiando en la parte sur, a dirección NE-SO. Este cambio de dirección, puede ser interpretado debido a la existencia de una rampa lateral (Figura 5.2B). La reactivación de esta falla hace que los materiales volcánicos del Eoceno medio-Oligoceno (Formación Tantara y Grupo Sacsaquero) se emplacen al oeste de la falla Julcani-Huancayo.

En el Mioceno inferior-medio, la actividad de la falla Julcani-Huancayo, conjuntamente con la actividad de la falla Huachocolpa-Huancavelica (Figura 5.2C), originan entre ellas, pequeñas cuencas con actividad volcánica, tal como la cuenca Rumichaca (Mégard et al 1983). Al oeste se instala una cuenca de mayores dimensiones, donde se depositan las secuencias volcano-sedimentarias de las formaciones Castrovirreyna y Auquivilca (Formación Choclococha, Wise 2005).

En el Mioceno medio, entre 13 y 11Ma, continúa la actividad de la Falla Huachocolpa-Huancavelica, y la falla Jatumpata entra en actividad (Figura 5.2D) con probable movimiento dextral. A través de estas fallas se emplaza el magmatismo de la Formación Caudalosa. En el área de San Genaro, se originan también movimientos sinestrales en las fallas de dirección E-O por donde se ha emplazado el vulcanismo de la Formación Caudalosa y el relleno de vetas del distrito minero de Castrovirreyna (Lewis 1956, Wise, 2005). Las fallas E-O de Castrovirreyna, parecen corresponder a un sistema de fallas regional definida por Petersen y Vidal (1996). Posteriormente Roperch et al. (2006) con datos de paleomagnetismo, indica la existencia de una falla regional sinistral. Estudios recientes de Carlotto et al. (2008b) demuestran la existencia de este sistema de fallas denominándola fallas Abancay-Andahuaylas-Totos, que en el Triásico superior-Jurásico inferior fue el límite estructural entre las cuencas Pucara al norte y Arequipa al sur; además estas fallas serían el resultado de la acresión de bloques alóctonos hace aproximadamente 1000 Ma.

En el Mioceno superior, entre 9 y 10 Ma, el sistema de fallas Chonta, con dirección N135° (Figura 5.2E), tiene movimiento inverso con componente sinistral, originando áreas de transtensión en las zonas 1 y 2 del sistema de fallas Chonta (ver figura 4.1). Igualmente, entre la falla Huachocolpa-Huancavelica y el sistema de fallas Chonta (Figura 5.2E), se origina una zona de debilidad con fallas tensionales de dirección NE-SO, por donde se han emplazado domos y lavas andesíticas entre 9.4 y 10.4 Ma (Wise y Noble, 2001; Mckke y Noble, 1982).

La Falla Julcani-Huancayo, en el Mioceno superior, aparentemente tuvo movimiento dextral inverso, provocando el emplazamiento de vulcanismo y domos en zonas de transtensión, datados entre 10.3 y 9.67, conjuntamente la mineralización de la Mina Julcani en 9.83 (Noble y Silberman, 1984)

En el Mioceno superior-Plioceno inferior, entre 8 y 3.8 Ma, el sistema de fallas Chonta continua con un movimiento sinistral (Figura 5.2F) provocando, en la Mina Solitaria, el emplazamiento de monzonitas en 6.9 (Gillette y Day, 1968) y 7.7Ma (Stewart, et al; 1974), las que han aprovechado la traza del sistema de fallas Chonta para su emplazamiento (Figura 5.2F). En las zonas de transtensión, se emplazan domos y lavas, acompañados de mineralización aurífera, como en Huamanraso donde está datado en 7.5 y 6.0Ma (Chenau, 1998). Para este mismo período de tiempo, se asume también el emplazamiento de domos y mineralización de los proyectos Terciopelo, Arcopunco y Picomachay.

Los movimientos sinestrales inversos, siguen ininterrumpidamente, por lo menos hasta el Plioceno inferior. Así, entre 8.0 y 3.8 Ma, se emplazan las vetas polimetálicas del distrito minero de Huachocolpa (Figura 5.2F). En conjunto, las vetas del distrito minero de Huachocolpa, presentan formas de cola de caballo, teniendo las vetas principales (Blenda Rubia y Teresita) dirección N 60°, las cuales coinciden con las deflexiones de las fallas Huachocolpa-Huancavelica y Julcani-Huancayo. Estas deflexiones pueden ser rampas laterales de un sistema de cabalgamientos del Eoceno-Mioceno, cuyo límite es una zona de transferencia de dirección NE.

Finalmente, en el Plioceno superior, el sistema de fallas Chonta, tiene movimiento dextral (Figura 5.2G). Este movimiento ha provocado el cierre de los sistemas de mineralización asociados al sistema de fallas Chonta, incluyendo los yacimientos de Recuperada y Caudalosa Chica.

6 GEOQUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS DE MINERALES RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA

El siguiente capítulo consta de cuatro partes, donde la primera y segunda parte se ocupan del análisis de las tierras raras de los depósitos auríferos y polimetálicos respectivamente. En la tercera parte se ha realizado un análisis de geoquímica de elementos traza en depósitos auríferos asociados con el sistema de fallas Chonta. Finalmente en la cuarta parte, se han realizado las interpretaciones y conclusiones de la geoquímica de depósitos relacionados con el sistema de fallas Chonta.

La geoquímica de tierras raras en los depósitos relacionados al sistema de fallas Chonta, tienen la finalidad de determinar las relaciones que pueda tener uno o varios elementos de las tierras raras con la mineralización económica de los depósitos auríferos y polimetálicos.

Para la descripción del estudio de las tierras raras, se ha decidido abreviar la escritura de los elementos de tierras raras en REE, de los elementos de tierras raras ligeras en LREE y de los elementos de tierras raras pesadas HREE, estas abreviaciones son utilizadas normalmente en cualquier revista o publicación especializada.

Todos los resultados del análisis geoquímico, han sido normalizados al condrito en el diagrama de Nakamura (1974). En este diagrama se han de determinado las proporciones de REE en cada depósito, luego se han comparado las proporciones de las LREE y HREE de los depósitos ubicados una misma zona estructural del sistema de fallas Chonta (Figura 4.1) y finalmente, se han comparado las proporciones de REE entre todas las zonas estructurales del sistema de fallas Chonta.

6.1 GEOQUÍMICA DE REE DE LOS DEPÓSITOS AURÍFEROS

Los depósitos estudiados distribuidos en área de trabajo, han sido y están siendo explorados para encontrar reservas auríferas, por parte de las diferentes compañías mineras. Dentro del bloque piso, en la zona 2 (Figura 4.1) se han considerado los depósitos Arcopunco y Terciopelo mientras que el zona 1 se ha estudiado el depósito Tucumachay.

En el bloque techo de la zona 2 (Figura 4.1) se han estudiado los depósitos de Picomachay y Carmela.

6.1.1 Proyecto Tucumachay.

El proyecto Tucumachay se encuentra en el norte de la zona de estudio, al este del sistema de fallas Chonta (Figura 4.1), la geología en los alrededores del proyecto está conformada por calizas atribuidas en anteriores estudios a la Formación Condorsinga, en el presente estudio se le denomina Formación Chunumayo del Jurasico inferior (ver capítulo III) sobreyacida por areniscas de la Formación Cercapuquio y calizas de la Formación Chaucha, ambas del Jurásico superior. Estas tres unidades estratigráficas se encuentran plegadas formando el anticlinal Saturno. Dentro del área del proyecto Tucumachay se encuentran rocas intrusivas emplazadas a manera de *stocks* y diques de composición riodacítica y andesítica.

En el sector principal del proyecto Tucumachay (Figura 6.1), la mejores leyes de oro varían desde 1 a 13 g/t y se encuentran distribuidas cerca al contacto de las formaciones

Chunumayo y Cercapuquio (Fernández-Baca et al., 2006 y Blackwell et al., 2006). Las concentraciones auríferas se hallan en cuerpos de dirección N15° a N60°, compuestas por sílice gris masiva con presencia de pirita, oropimente y rejalgar (muestra TU-9). Estas estructuras se encuentran reemplazando a calizas, dolomitas o brechas de la Formación Chunumayo. En las zonas marginales de las estructuras de sílice gris hay sílice calcedónica masiva con contenidos anómalos de oro (muestra TU-10, ver tabla 6.1). En este sector también se encuentra un domo riolítico con alteración argílica, el que corta a las calizas de la Formación Chunumayo (muestras TU-11 y TU-13).

En el sector sur del proyecto Tucumachay (Figura 6.1), los domos dacíticos con fenocristales de cuarzo y biotita (muestra TU-1) y un domo gris fino de composición andesítica con textura brechosa y fenocristales de piroxenos (muestra TU-5), al entrar en contacto con las calizas de la Formación Chunumayo ocasiona un *skarn* (muestra 4). En los alrededores del *skarn*, se tienen estructuras vetiformes de 0.7 m de ancho compuestas por óxidos de manganeso (muestra TU-6), zonas con limonitas anómalas en cobre (muestra TU-7, ver tabla 6.1) y estructuras masivas con presencia de baritina anómalas en zinc y plomo (muestra TU-8).

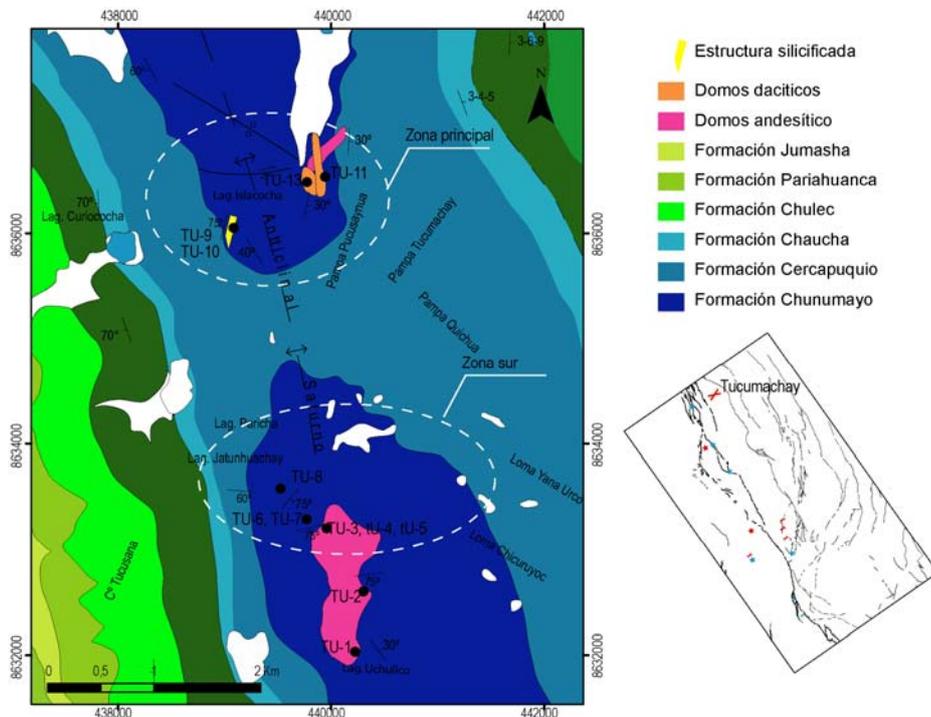


Figura 6.1 Mapa geológico del Proyecto Tucumachay.

Los resultados de los análisis geoquímicos por REE del sector principal y la zona sur del proyecto Tucumachay, son mostrados en la figura 6.2. El sector principal con mineralización de oro (Figura 6.2A), tiene enriquecimiento de LREE con una anomalía negativa de cerio y las HREE se encuentran fraccionadas.

Las muestras TU-9 y TU10 son las que tienen más contenido de oro (Tabla 6.1), ellas muestran anomalía negativa de europio, la que es más discreta a mayor contenido de oro desde 1.2 g/t hasta >5 g/t. Las muestras de los domos riolíticos alterados (TU-11 y TU-13) tienen anomalía positiva de europio y sus contenidos de oro son menores de 0.05 g/t.

Tabla 6.1 Base de datos de elementos preciosos, metales base y REE de los depósitos de oro y polimetálicos. Los valores bajo del límite de detección se han dividido entre 2. Los valores que sobrepasan el límite de detección han quedado como tal, puesto que se trata de sulfuros, excepto la muestra TU-9 que se trata de sílice gris.

Elemento	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Yb
Unidad	ppb	ppm																	
Metodo	FAA515	ICM90A																	
Limite Detec.	5	1	5	5	5	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.05	0.1
Limite Superior	5000	1000	10000	10000	10000	10000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	1000	10000	1000	1000	1000	1000	1000
AR-1	183	0.5	67	352	139	27.7	1.44	0.36	0.96	2.76	0.19	35.8	0.02	30.5	6.87	4.8	0.34	0.05	0.4
AR-2	135	0.5	131	241	87	6.4	0.38	0.28	0.07	0.36	0.02	4.5	0.02	3	0.86	0.5	0.06	0.02	0.3
AR-3	14	0.5	24	1983	58	13.6	0.08	0.08	0.18	0.22	0.02	6	0.02	4.5	1.26	0.5	0.02	0.02	0.05
EC-1	5	0.5	50	205	58	8	0.36	0.18	0.32	0.7	0.07	8.1	0.02	9.7	1.51	1.8	0.1	0.02	0.3
EC-2	14	0.5	35	169	25	1.8	0.33	0.34	0.02	0.08	0.06	3.8	0.07	0.5	0.21	0.1	0.02	0.05	0.5
EC-3	12	0.5	48	168	56	1.9	1.15	0.82	0.13	0.73	0.22	3.4	0.15	1.1	0.26	0.5	0.17	0.09	0.9
EC-5	8	0.5	26	157	24	1.8	0.16	0.23	0.02	0.15	0.02	1.7	0.02	1.5	0.27	0.3	0.02	0.02	0.4
PI-1	1440	3	19	87	17	6.2	0.47	0.44	0.17	0.48	0.11	3.5	0.08	3.3	0.91	0.7	0.09	0.06	0.6
PI-2	41	1	2.5	229	2.5	28.6	0.65	0.31	0.74	1.48	0.11	14	0.07	14.8	3.68	2.5	0.21	0.06	0.4
PI-3	172	0.5	87	88	2.5	3.3	0.79	0.71	0.13	0.57	0.15	2	0.1	1.7	0.38	0.6	0.16	0.07	0.6
PI-4	30	0.5	33	217	8	27.5	1.31	0.69	0.74	2.2	0.27	14.4	0.13	15.6	3.87	3	0.34	0.11	0.8
PI-5	60	0.5	13	96	6	7.2	0.32	0.19	0.12	0.36	0.05	5	0.02	3.7	0.98	0.7	0.07	0.02	0.3
PI-6	68	0.5	6	92	2.5	10.6	0.48	0.34	0.13	0.64	0.09	6.5	0.02	7.7	1.67	0.9	0.08	0.02	0.4
PI-7	822	0.5	22	73	14	2	0.3	0.25	0.02	0.21	0.07	1.3	0.02	1.4	0.26	0.2	0.02	0.02	0.3
TR-1	2.5	0.5	10	134	14	85.7	2.53	1.03	0.65	3.86	0.42	53.2	0.15	49.4	12.1	6.6	0.69	0.13	1.1
TR-2	15	0.5	13	221	26	52.1	1.96	1.23	0.83	2.89	0.4	32.8	0.22	35.3	8.6	4.8	0.46	0.16	1.3
TU-1		0.5	2.5	85	47	44.8	3.96	2.2	1.66	5.37	0.62	32.9	0.29	27.7	7.77	6.2	0.82	0.27	2
TU-4	2.5	0.5	290	18	20	7.2	0.59	0.5	0.2	0.88	0.15	5.9	0.05	4.8	1.1	0.7	0.12	0.05	0.3
TU-5	2.5	0.5	103	12	45	52.3	2.91	1.59	0.96	3.79	0.57	54.4	0.23	32.9	8.91	5.5	0.72	0.19	1.7
TU-6	7	0.5	64	5	67	1.7	0.3	0.16	0.44	0.7	0.02	2.1	0.02	4.3	0.6	1.1	0.06	0.02	0.2
TU-7	31	1	1157	16	50	5	0.45	0.45	0.23	0.44	0.09	5.9	0.06	3.5	0.74	0.6	0.07	0.02	0.4
TU-8	28	23	590	>10000	>10000	1.8	0.27	0.12	0.77	0.43	0.02	2.2	0.02	2.2	0.4	0.5	0.08	0.02	0.1
TU-9	>5000	0.5	29	229	682	7.2	0.12	0.1	0.06	0.17	0.02	6.9	0.02	4.9	1.21	0.5	0.02	0.02	0.05
TU-10	1255	0.5	203	90	60	13.1	0.59	0.45	0.21	0.95	0.13	9.7	0.09	9.8	2.02	1.4	0.11	0.05	0.6
TU-11	16	0.5	176	150	38	11.9	0.46	0.33	0.6	0.62	0.09	10.9	0.02	6.5	1.4	1	0.1	0.05	0.5
TU-13	2.5	0.5	49	175	73	16.6	0.69	0.19	0.52	0.89	0.11	15	0.02	13.6	2.69	1.4	0.14	0.02	0.3
AN-2		1000	1872	>10000	>10000	6	0.2	0.06	0.12	0.29	0.02	3.6	0.02	2.2	0.61	0.3	0.02	0.02	0.05
RA-1		210	6955	6999	>10000	6.8	0.39	0.14	0.2	0.49	0.06	5	0.02	2.5	0.8	0.5	0.02	0.02	0.1
EM-2		315	172	6948	>10000	6.7	1.39	0.75	0.6	1.43	0.29	5.8	0.1	5.3	1.33	1.3	0.23	0.11	0.8
TT0-1A		269	6248	>10000	>10000	3.6	0.11	0.07	0.08	0.21	0.02	2.1	0.02	1.7	0.46	0.3	0.02	0.02	0.05
SG-4		262	>10000	>10000	>10000	1.9	0.14	0.08	0.07	0.16	0.02	1.8	0.02	1.1	0.24	0.1	0.02	0.02	0.05
SG-8		243	1251	>10000	6448	0.6	0.16	0.07	0.08	0.18	0.02	1.6	0.02	0.6	0.07	0.1	0.02	0.02	0.05
SO-1		0.5	38	99	84	24.3	2.11	1.06	0.87	3.22	0.34	21.3	0.14	21.2	5.28	3.9	0.54	0.15	0.9
SO-3A		168	5355	>10000	>10000	7.7	0.79	0.94	0.14	0.76	0.23	5.5	0.15	4	1.07	0.7	0.12	0.13	1.1
SO-6	2.5	0.5	9	173	434	55.2	2.73	1	1.47	3.99	0.35	36.3	0.13	38.9	8.85	5.8	0.55	0.13	0.9
SO 7	12	0.5	5	95	42	16.2	1.96	1.16	0.37	2.08	0.39	13.5	0.19	11	3.26	2.6	0.39	0.18	1.3

El sector sur (Figura 6.2 B), se ve un enriquecimiento en LREE, fraccionamiento de las HREE, y todas las muestras presentan anomalía negativa en cerio. Las muestras TU-1, TU-4 y TU-5 de los cuerpos intrusivos y el skarn, tienen anomalía negativa de europio y los contenidos de oro son menores a 0.05g/t. Las muestras TU-6, TU-7 y TU-8, muestran anomalía positiva en europio; siendo la TU-8 que presenta mayor anomalía de europio (típico de la baritina - Morgan y Gregory, 1980) y contenido anómalo mayor a 10 g/t de plomo y 10g/t de zinc (Tabla 6.1).

En conclusión, en el proyecto Tucumachay todas las muestras presentan enriquecimiento de LREE y fraccionamiento de HREE, igualmente todas las muestras tienen anomalía negativa de cerio, lo que se interpreta como el resultado del proceso hidrotermal. La mineralización de oro dentro de las estructuras silíceas, está acompañada de una anomalía negativa de europio, siendo más discreta a mayor contenido de oro. La mineralización polimetálica está acompañada de una anomalía positiva de europio por consecuencia del contenido de baritina dentro de estructura.

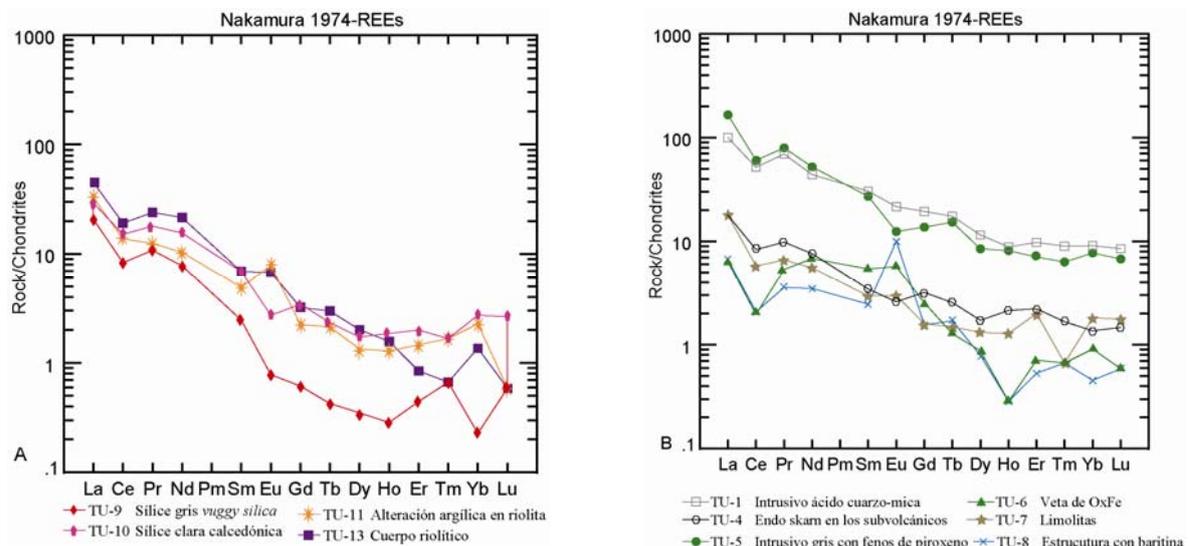


Figura 6.2 Diagramas de araña normalizados al condrito (Nakamura, 1974) del sector principal (A) y del zona sur (B) del proyecto Tucumachay.

6.1.2 Proyecto Picomachay.

El Proyecto Picomachay (Figura 6.3), se localiza al norte del pueblo de Santa Ana, en el distrito de Castrovirreyna, y actualmente se encuentra en etapa de preparación para minado. La litología del área del proyecto está conformada por las secuencias volcano-sedimentarias de las formaciones Castrovirreyna y Auquivilca del Mioceno medio, las que se hallan cortadas por domos subvolcánicos de composición riodacítica que afloran constituyendo una franja de dirección NE. Estructuralmente el proyecto se halla en el bloque techo del sistema de fallas Chonta, dentro del sinclinorio de Castrovirreyna. La zona más importante con mineralización económica diseminada, está dispuesta con orientación N80°E-S80°O y ha sido afectada posteriormente por fallas inversas de la misma dirección.

En el proyecto Picomachay se han visitado tres zonas (Figura 6.3). La primera y más importante es la zona central, donde la mineralización se encuentra alojada en un domo riodacítico formando bandas de sílice gris con pirita diseminada y en ocasiones textura de

vuggy silica (muestra PI-1), siendo el espesor de las bandas de la sílice gris de 30 a 40 cm y pudiendo llegar hasta 2 m. Las bandas de sílice gris están limitadas por una alteración argílica avanzada (muestra PI-2). En esta zona se encuentra fracturas de dirección N265° con 72°NO de buzamiento. También se tienen zonas de brecha y estrías de fallas, las que presentan fuerte silicificación (muestra PI-7).

La segunda zona se localiza la sureste de la zona central, está conformada por estructuras vetiformes con dirección N10° a N30° con 60°SE de buzamiento. Las estructuras están compuestas por zonas de alteración sílico-argílica y sílice porosa (muestras PI-3 y PI-4). En este sector se hallan fallas paralelas a las estructuras vetiformes, las que se unen al sistema de fracturas y fallas de la zona central, formando una estructura en cola de caballo (Figura 6.3).

La tercera zona está ubicada a 3 km al sureste de la zona central. En este sector se encuentra calizas lacustres de la Formación Auquivilca del Mioceno superior, fuertemente silicificadas con textura masiva (muestra PI-5), igualmente la secuencias de tobas, han sido reemplazadas por una silicificación con de textura de *vuggy silica* (muestra PI-5).

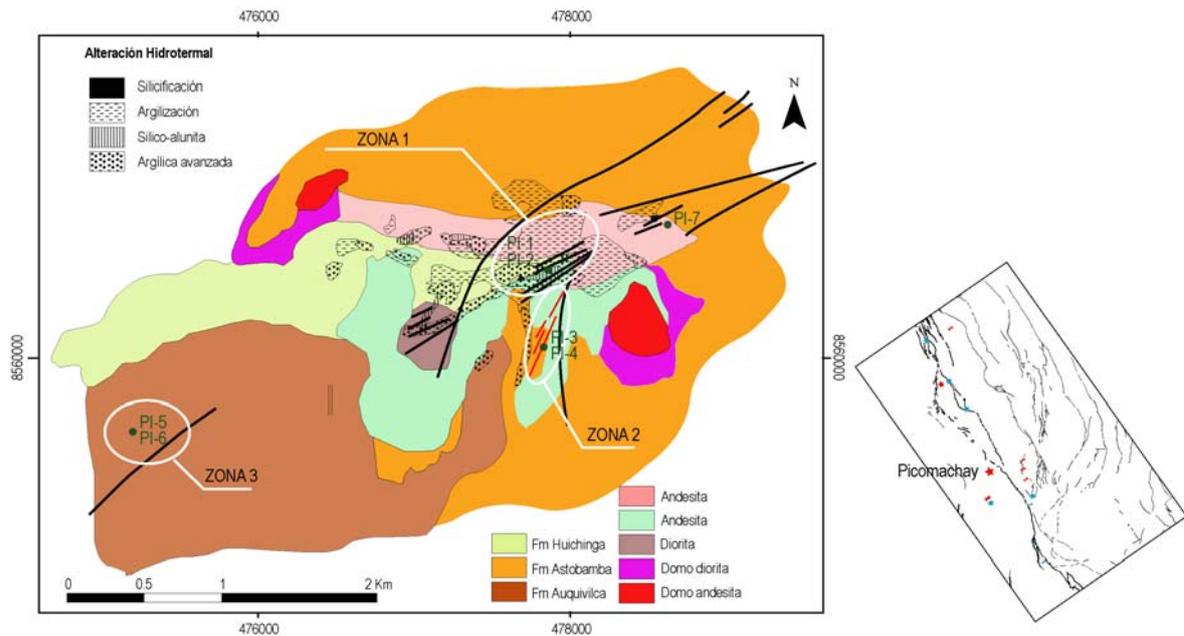


Figura 6.3 Esquema geológico del proyecto Picomachay mostrando las 3 zonas muestreadas en el presente estudio. Tomado de Martínez et al. (2006)

Los resultados de análisis químico de REE, normalizados al condrito, muestran que en el proyecto Picomachay la mineralización presenta enriquecimiento en LREE y las HREE están fraccionadas (Figura 6.4). Igualmente todas las muestras tienen anomalías negativas, en cerio y en algunos casos anomalía negativa o positiva de europio. En la zona central, representada por las muestras PI-1, PI-2 y PI-7, las muestras con contenidos anómalos de oro mayores a 0.05g/t (PI-1 y PI-7,) tienden a una anomalía negativa de europio y la muestra que tienen valores por debajo de 0,05 g/t de oro (PI-2) pueden llegar a tener anomalía positiva de europio. Un dato también importante, es que la muestra PI-2 con valores bajos en oro, está más enriquecida en LREE, lo que nos indicaría que las LREE han sido removilizadas por fluidos de alta temperatura.

En la segunda zona, de estructuras vetiformes, la muestra PI-3 contiene valores anómalos de oro mayor a 0.05 g/t y presenta, al igual que las muestras anómalas de oro en la Zona Central, anomalía negativa de europio (PI-7). La muestra PI-4 tiene débil anomalía de europio y valores por debajo de 0.05 g/t Au.

La tercera zona, compuesto secuencias volcano-sedimentarias, las muestra PI-5 y PI-6, tienen contenidos anómalos entre 0.06 y 0.07 g/t de oro. A pesar de que se trata de silicificación de dos rocas diferentes (caliza y toba), se tiene similar proporción de REE, mientras que las LREE están enriquecidas y las HREE están fraccionadas, y pueden presentar anomalía negativa de europio (PI-6).

En general, dentro del proyecto Picomachay, todas las muestras presentan anomalías negativa de cerio por causa de la actividad hidrotermal. Las muestras que contienen valores por debajo de 0.05 g/t de oro son más enriquecidas en LREE con proporciones superiores en 20 veces, con respecto al valor del condrito. En este depósito la anomalía negativa de europio es un indicador de la presencia de oro. Sin embargo, a medida que el europio es más discreto, el contenido de oro aumenta, pero cuando la anomalía de europio es positiva el oro desaparece.

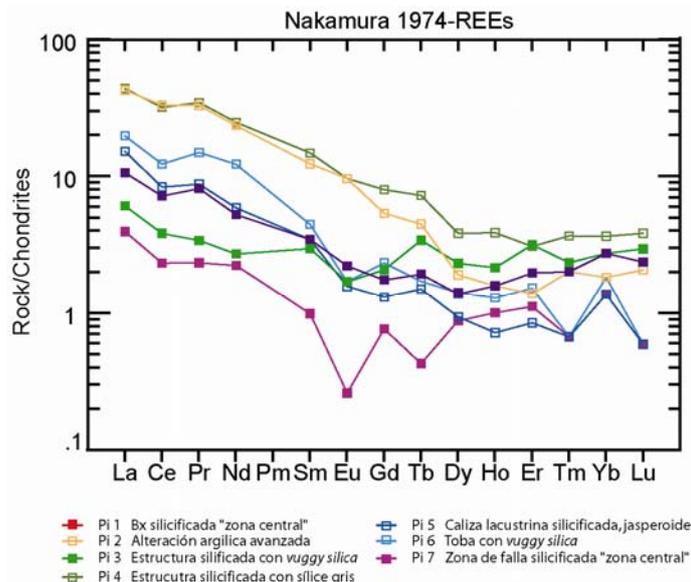


Figura 6.4 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) del proyecto Picomachay

6.1.3. Proyecto Carmela

El proyecto Carmela está ubicado a 14 km al sur del proyecto Picomachay y a 4.5 km al noreste de la mina polimetálica San Genaro. La geología en los alrededores (Figura 6.5) está dado por domos andesíticos y rocas volcánicas de la Formación Caudalosa (Mioceno medio). Estructuralmente, se encuentra en el bloque techo del sistema de fallas Chonta y está controlado por fallas de dirección N 120° (Figura 6.5) que cruzan también por la mina polimetálica de San Genaro. En el proyecto Carmela se tienen estructuras vetiformes de dirección N90° con 80°S de buzamiento y están caracterizadas por alteración argílica avanzada (muestra EC-1), alteración sílico-argílica (muestra EC-2), zonas de brechas silicificadas (muestra EC-3) y cuarzo hidrotermal con drusas menores de 0.5 cm (muestra EC-4).

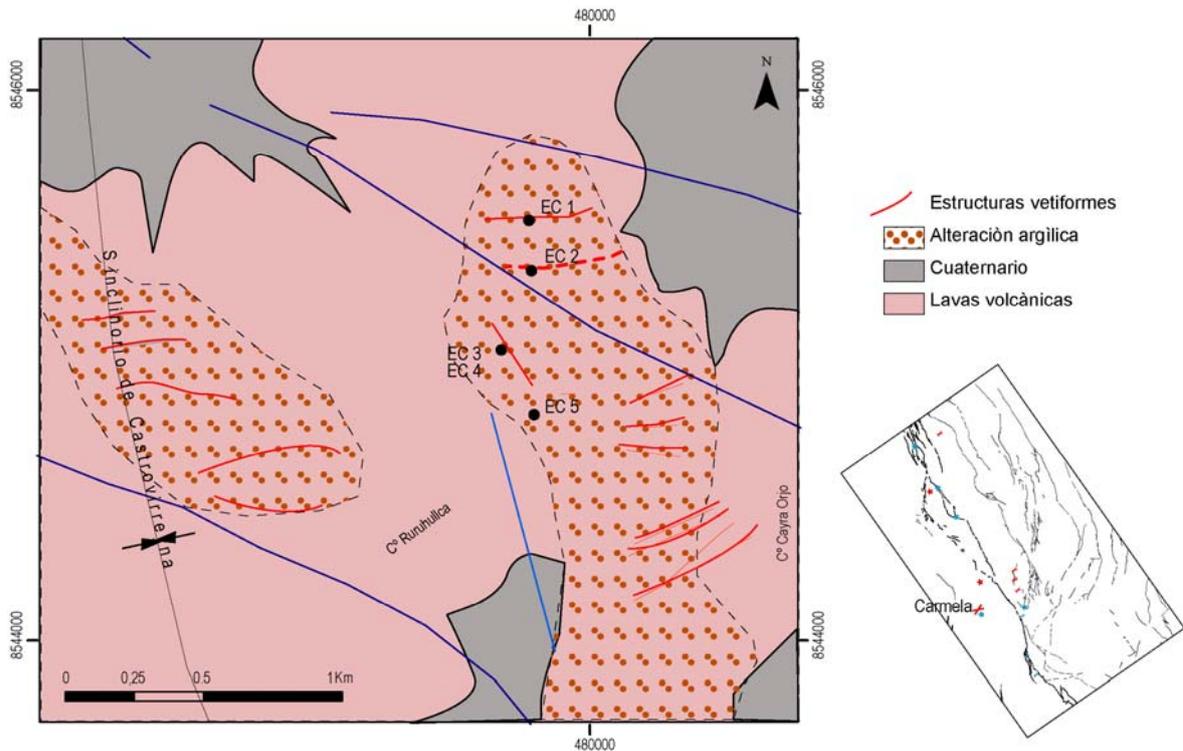


Figura 6.5 Croquis del proyecto Carmela, con las zonas muestreadas en este estudio, las líneas azules pertenecen a la proyección de fallas de la mina San Genaro.

Los análisis de geoquímica de REE normalizados al condrito (Figura 6.6), no definen un patrón del contenido de REE para el proyecto Carmela, donde todas las muestras tienen valores menores a 0.05 g/t de oro. Solamente se puede observar que la muestra EC-1, siendo la más representativa y correspondiente a una estructura argílica, presenta enriquecimiento de LREE con una anomalía negativa en cerio, mientras que las HREE están fraccionadas. Al no presentar valores anómalos mayores a 0.05 g/t de oro y al no tener un patrón definido de REE, hace pensar que la mineralización en los sectores estudiados ha sido movilizada por fluidos más recientes.

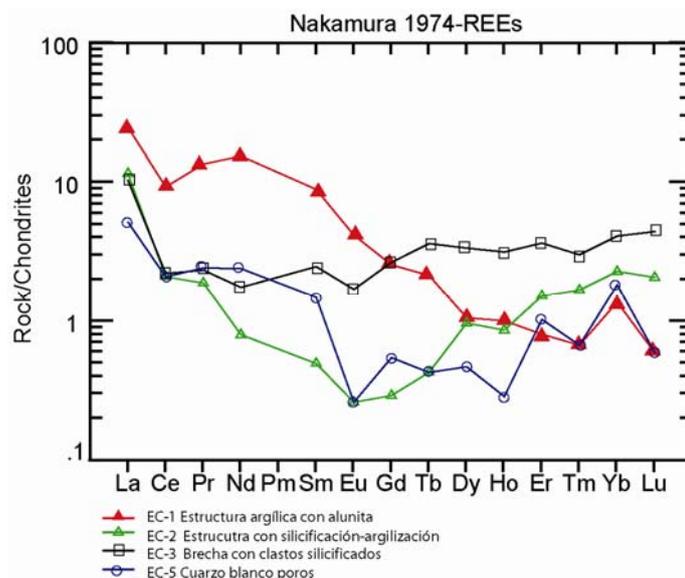


Figura 6.6 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) del proyecto Carmela.

6.1.4 Proyecto Arcopunco

El proyecto Arcopunco se localiza al sureste de Pampamarca y se trata de un centro volcánico con actividad hidrotermal. La litología está caracterizada por lavas andesíticas de la Formación Apacheta (EDAD). Estructuralmente, se halla entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica, y al noroeste de las vetas del distrito minero de Huachocolpa (veta Angélica).

En los alrededores del proyecto Arcopunco la alteración argílica es la que tiene mayor extensión (Figura 6.7). En la parte más importante del depósito, se tiene una alteración sílico-argílica con sílice masiva y fracturas rellenas de pirita (muestra AR-1), igualmente se encuentran zonas de *vuggy silica* con fracturas rellenas de óxidos de hierro (muestra AR-2). En las márgenes de la zona más importante del proyecto, se han reconocido estructuras vetiformes de dirección N200° con 80°NO de buzamiento, constituidas por cuarzo calcedónico (muestra AR-3).

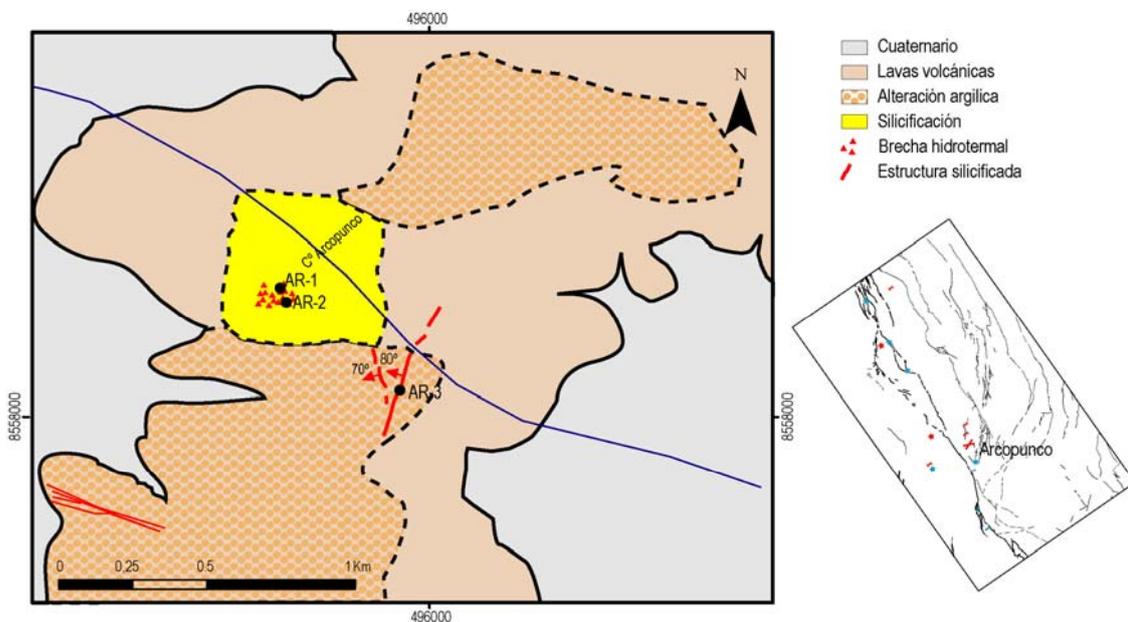


Figura 6.7 Croquis del proyecto Arcopunco mostrando los lugares muestreados en este estudio

En la figura 6.8, se muestran los resultados de los análisis geoquímicos por tierras raras del proyecto Arcopunco. Se observa que las LREE están enriquecidas con respecto al condrito, mientras que las HREE están fraccionadas. Las muestras AR-1 y AR-2 son las muestras anómalas en oro con contenidos de 0.1 g/t de oro (Tabla 6.1) y tienen anomalía negativa de cerio y europio. La muestra AR-3 tiene menos de 0.05 g/t de oro, pero es anómala en plomo con 1.98 g/t, y además tiene anomalía positiva de cerio y europio.

Las proporciones de REE en las muestra AR-1 y AR-2 no son coincidentes, lo que puede deberse a que la muestra AR-2 tiene óxidos de hierro en fracturas, producto que es el resultado de la lixiviación de la pirita. Por lo tanto, asumimos como patrón a la muestra AR-1 por se la muestra con menos alteración superficial.

En consecuencia, se asume que el proyecto Arcopunco tiene dos etapas de mineralización, una aurífera y otra de metales base, sin embargo, la relación temporal entre ambas no ha sido determinada en el presente estudio.

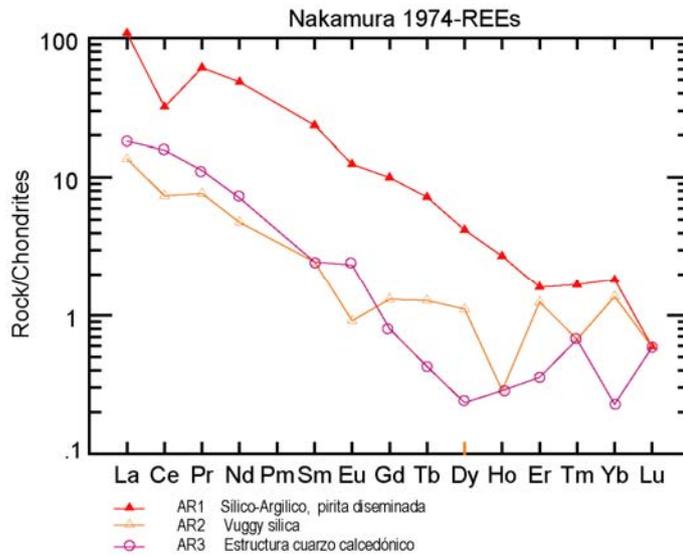


Figura 6.8 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) del proyecto Arcopunco.

6.1.5 Proyecto Terciopelo

El proyecto Terciopelo está ubicado al este del pueblo de Astobamba y al norte del proyecto Arcopunco. La geología de la zona (Figura 6-9) está dada por los flujos de andesita pertenecientes a la Formación Astobamba (Plioceno) y por un domo con intensa alteración argílica, que se halla en la parte central del proyecto (cerro Campanayoc). Estructuralmente, al igual que el proyecto Terciopelo, se encuentra en una zona tensional entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica. La zona está conformada por fallas de dirección $N50^\circ$ con buzamientos al NO.

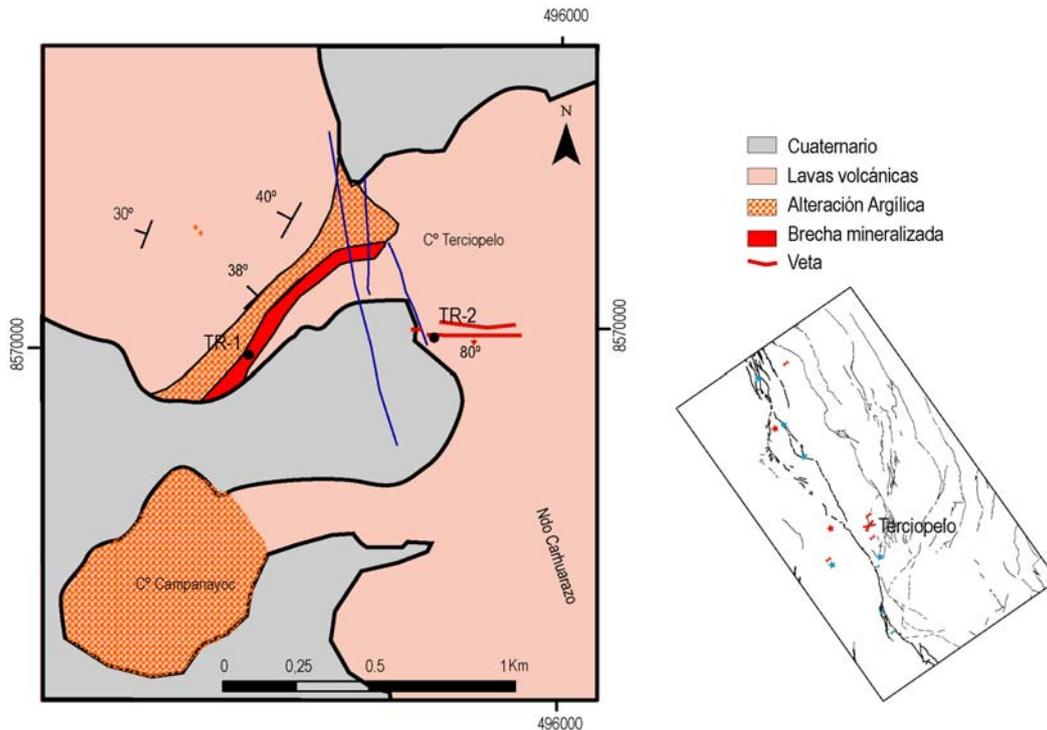


Figura 6.9 Croquis del proyecto Terciopelo mostrando dos zonas mineralizadas que han sido muestreadas en este estudio

Según los geólogos de compañía de minas Buenaventura S.A.A., en el proyecto Terciopelo, al momento de realizar el presente estudio, se tenían dos zonas importantes para la exploración aurífera (Figura 6.9). La primera zona ubicada al suroeste del cerro Terciopelo, se trata de una brecha (muestra TR-1) de dirección N55° y 35°NO de buzamiento, paralela a la estratificación de los flujos de lava de la Formación Astobamba, dando la impresión que se trata de un manto mineralizado, sin embargo, con observaciones detalladas podemos decir que se trata de una brecha de fallas mineralizada. Esta brecha tiene entre 1 y 1.5 m de espesor con fuerte alteración cuarzo-alunita conteniendo pirita, oropimente, azufre y enargita en trazas; la matriz es de sílice y los clastos están reemplazados por la alteración cuarzo-alunita. Las cajas de esta brecha se encuentran argilizadas hasta 3 m fuera del contacto mineralización-roca caja.

La segunda zona se encuentra en la parte este del proyecto, al sur del cerro Terciopelo, se trata de estructuras vetiformes con dirección N90° con 80°S de buzamiento, siendo el espesor de las estructuras variable entre 0.8 y 1.20 m, y compuestas por cuarzo poroso con alunita (muestra TR-2).

En la figura 6.10, se muestran los resultados de geoquímica de dos muestras del proyecto Terciopelo, donde ambas tienen valores menores de 0.01 g/t de Au (Tabla 6.1) y las mismas proporciones de REE. Las LREE están enriquecidas con anomalías negativas en cerio y europio, por lo que preliminarmente podemos asumir que el evento mineralizador, en ambas zonas, es el mismo.

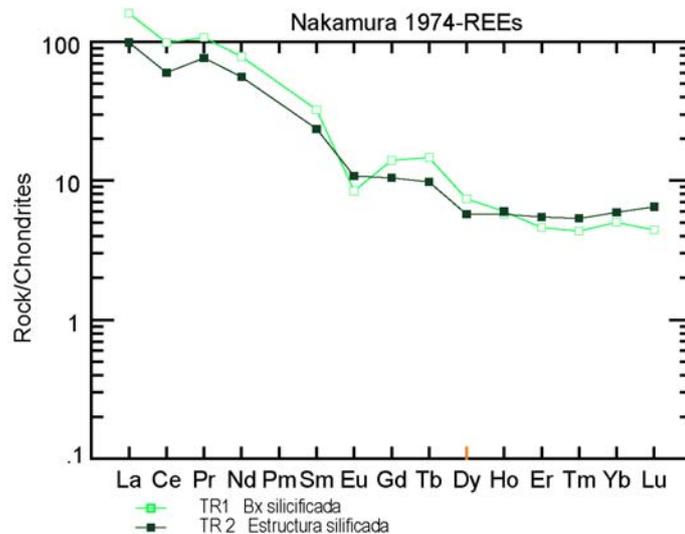


Figura 6.10 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) del proyecto Terciopelo.

6.1.6 Relaciones entre las zonas auríferas

Los depósitos explorados por oro que se han revisado en este estudio son cinco. Estos han sido agrupados en 3 zonas, que además están asociados a zonas estructurales del sistema de fallas Chonta definidas en el capítulo IV. Primero, se ha realizado la comparación de depósitos en una misma zona estructural y luego en forma global las tres zonas. A continuación se presenta una comparación de las proporciones del contenido de REE correspondientes a las muestras más representativas de cada depósito.

— La primera zona, es denominada Tucumachay, debido a que solo está conformada por el proyecto del mismo nombre y sus características se encuentran en la figura 6.2.

— La segunda zona, Picomachay-Carmela, se encuentra en el bloque techo del sistema de fallas Chonta. Para comparar ambos proyectos, solo se ha considerado a la muestra más representativa del proyecto Carmela, la que está representada con círculos en la figura 6.11A. Se observa que las proporciones de LREE de Carmela en unos casos son mayores que las proporciones del proyecto Picomachay, y que las HREE de Carmela presentan las mínimas proporciones en comparación con las muestras anómalas de Picomachay. Entonces, se deduce que la proporción de REE en Carmela son inversas a las proporciones de REE del proyecto Picomachay, por lo que se interpreta en consecuencia, que los niveles de exposición de ambos depósitos no son los mismos y no tienen las mismas asociaciones de elementos económicos. Otro aspecto importante es que la muestra con mayor contenido de oro (1.40 g/t Au) no presenta anomalía de europio, en consecuencia, el oro puede estar relacionado con la ausencia de anomalía de europio.

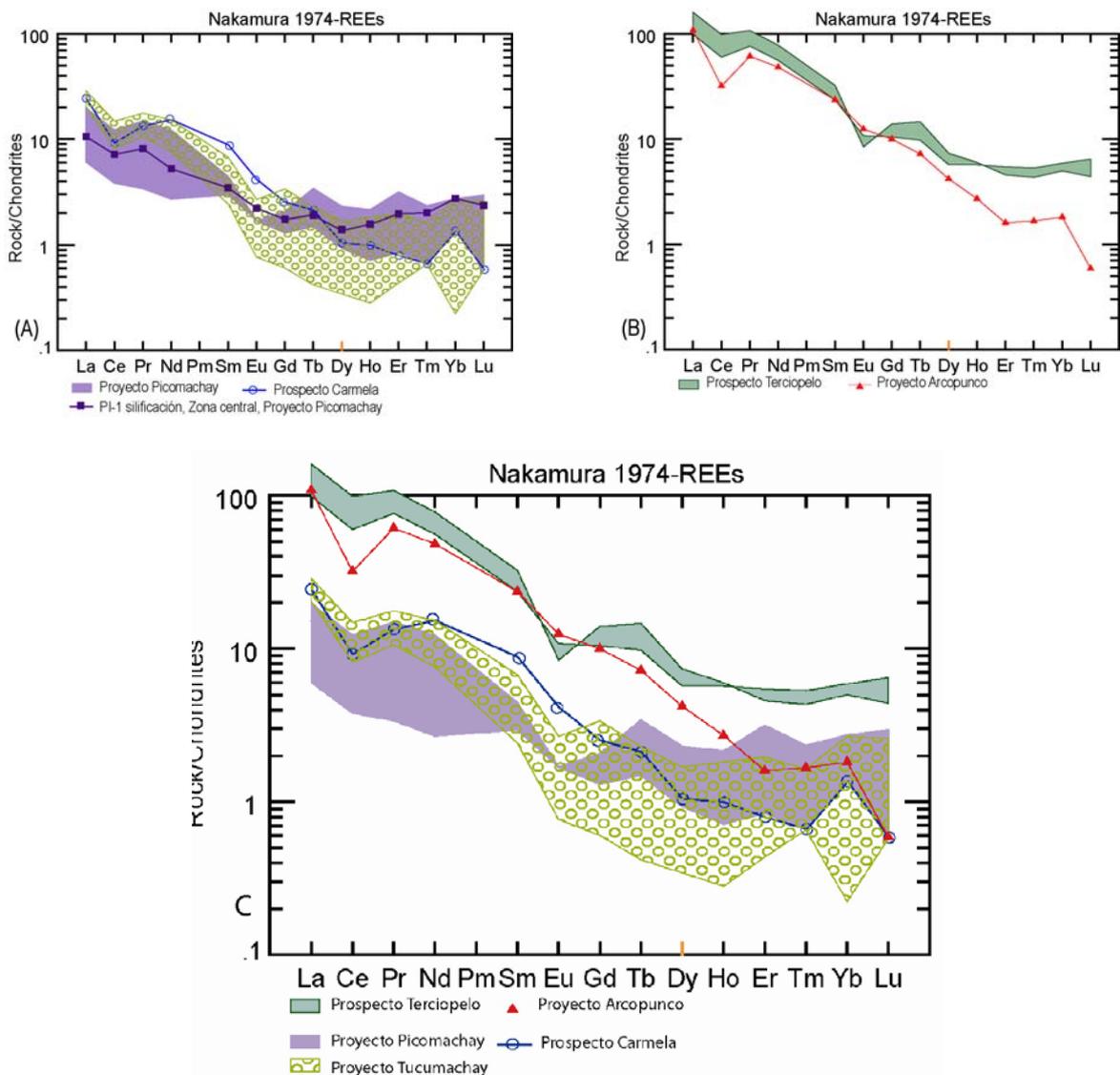


Figura 6.11 Comparación de los depósitos de oro relacionados al sistema de fallas Chonta (A) Zona Picomachay-Carmela. (B) Zona Arcopunco-Terciopelo (C) Zonas Tucumachay, Picomachay-Carmela y Arcopunco-Terciopelo.

— La tercera zona, Arcopunco-Terciopelo se encuentra en el bloque piso del sistema de fallas Chonta. Se han considerado las dos muestras del Proyecto Terciopelo y solo la muestra AR-1 del proyecto Arcopunco, por ser la que tienen menos impurezas debido a la oxidación superficial (Figura 6.11 B).

Los resultados indican que ambos proyectos presentan similar enriquecimientos en LREE, siendo el proyecto Arcopunco el que presenta mayor anomalía de cerio y mayor fraccionamiento de las HREE. En cambio, en el proyecto Terciopelo se observa mayor anomalía negativa de europio y contenido de oro menor a 0.050 g/t. Por otro lado, en el proyecto Arcopunco, la anomalía negativa de europio es discreta y presenta valores de oro igual a 0.10 g/t, lo que nos indicaría que el contenido de oro en el bloque piso del sistema de fallas Chonta, está relacionado con la ausencia de anomalía negativa de europio, al igual que la segunda zona.

Al normalizar al condrito para las tres zonas auríferas (Figura 6.11C), es evidente que la zona Arcopunco-Terciopelo, que se halla en rocas volcánicas, dentro del bloque piso del sistema de fallas Chonta tiene mayor proporción de REE con respecto al condrito. Según Michard (1989, en Lottermoserr 1992) las concentraciones de REE en los fluidos hidrotermales se incrementan mientras que el pH es mayor, en consecuencia los fluidos mineralizantes en Arcopunco y Terciopelo han tenido mayor pH con respecto a Picomachay-Carmela y Tucumachay.

De igual forma las LREE están más enriquecidas en Arcopunco y Terciopelo. Michard y Albarede (1986 en Giritharan y Rajamani, 2001) sugieren que a mayor temperatura los fluidos hidrotermales puede movilizar mas las LREE, entonces se asume que los fluidos de Arcopunco y Tucumachay son de mayor temperatura que los de Picomachay-Carmela y Tucumachay.

En consecuencia, el oro está relacionado en una proporción de hasta 20 veces mayor que el contenido de LREE respecto al condrito y una proporción de HREE hasta 4 veces mayor al condrito. Además, la anomalía negativa de europio en muestras silicificadas puede ser un indicador para la exploración aurífera, ya que se debe tener en cuenta que mientras se tenga mayor contenido de oro la anomalía negativa de europio se hace más discreta e incluso no está presente (muestras PI-1 y TU-9).

6.2 GEOQUÍMICA DE REE DE DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS

Para la geoquímica de REE en los yacimientos polimetálicos, se han utilizado muestras de sulfuros concentrados, extraídas de labores mineras, ya sea en bandas de sulfuros en el caso de las vetas o zonas de concentración de sulfuros puros, en el caso de cuerpos mineralizados.

6.2.1 Mina Solitaria.

La Mina solitaria se localiza al norte de la zona de estudio y dentro del mismo corredor estructural de la mina Yauricocha. La geología local (Figura 6.12) está conformada por las calizas de la Formación Jumasha, sobreyacidas por lutitas negras y calizas de la Formación Celendín, ambas del Cretáceo superior; luego se tiene una secuencia de tobas atribuidas a la Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno. Sobre toda las secuencias descritas se halla en discordancia angular las secuencias volcánicas de la Formación Tantara y el Grupo

Sacsaquero del Eoceno. Las rocas intrusivas están compuestas por cuerpos de monzonitas (muestra SO-1) datadas en 6.9 (Giletti y Day, 1968) y 7.7 Ma (Stewart, et al; 1974), y diques dacíticos del Mioceno superior que afectan a la Formación Chulec.

La mineralización se presenta en dos tipos, la primera y más importante está alojada a lo largo de la falla F1 cuya dirección es N-S y pertenece al sistema de fallas Chonta (ver figura 4.2). La mineralización está conformada por cuerpos polimetálicos con concentraciones de esfalerita (muestra SO-03A).

El segundo tipo de mineralización se encuentra alojado al este de la falla F1 y corresponden al relleno de fallas tensionales del sistema de fallas Chonta. Se trata de vetas polimetálicas de dirección E-O con panizo de falla conteniendo pirita, especularita, calcopirita y ganga de cuarzo. Sobre las vetas polimetálicas se encuentran tobas silicificadas de la Formación Casapalca (muestra SO-6), las mismas que son cortadas por vetillas con cuarzo con presencia de epidota y pirita. Las vetillas tienen 10 cm de espesor, dirección E-O y están separadas unas de otras cada 20 cm aproximadamente (muestra SO-7).

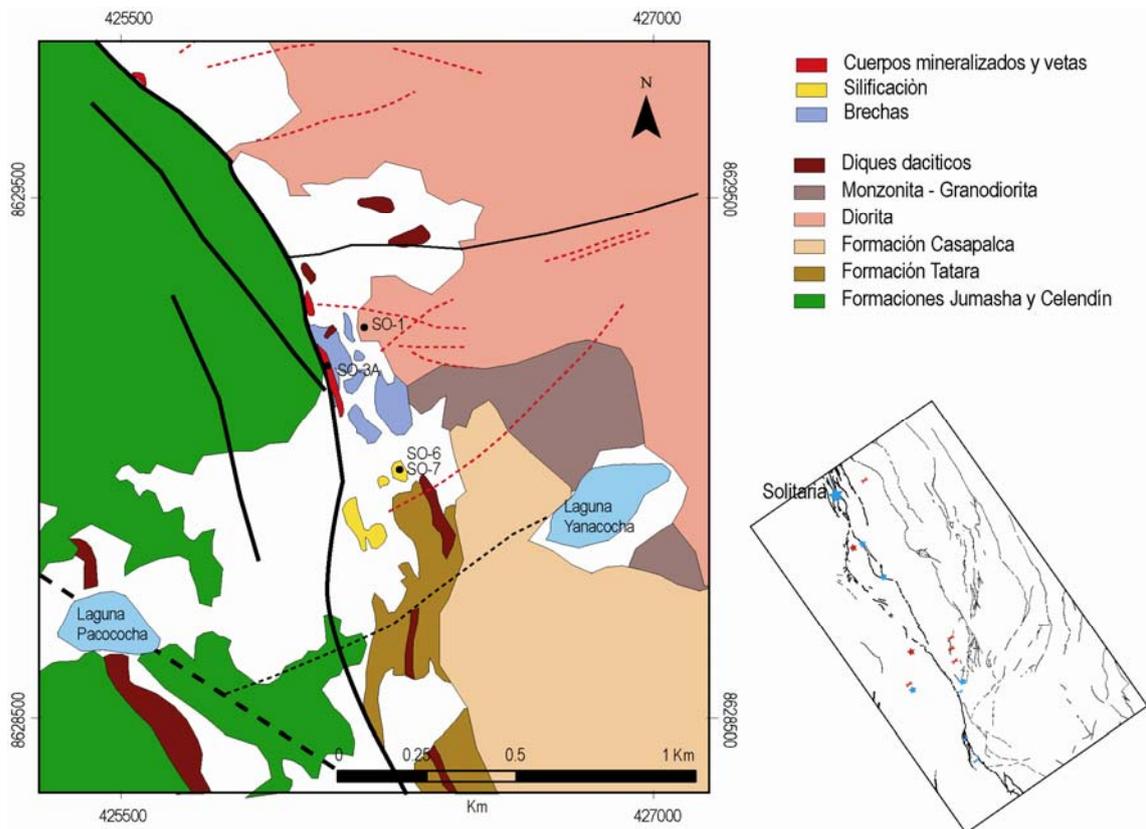


Figura 6.12 Mapa Geológico de la Mina Solitaria, se muestra la ubicación de las muestras del presente estudio.

Los resultados de análisis de REE de las 4 muestras analizadas en la mina Solitaria, se encuentran en la figura 6.13. Las muestras presentan el mismo rango de HREE. Las LREE están enriquecidas, presentando anomalía negativa de cerio y anomalía negativa de europio. Puede observarse también que a mayor enriquecimiento de LREE, la anomalía de negativa de europio desaparece. Las proporciones de LREE en los sulfuros (muestra SO-3) es menor que en todas las muestras.

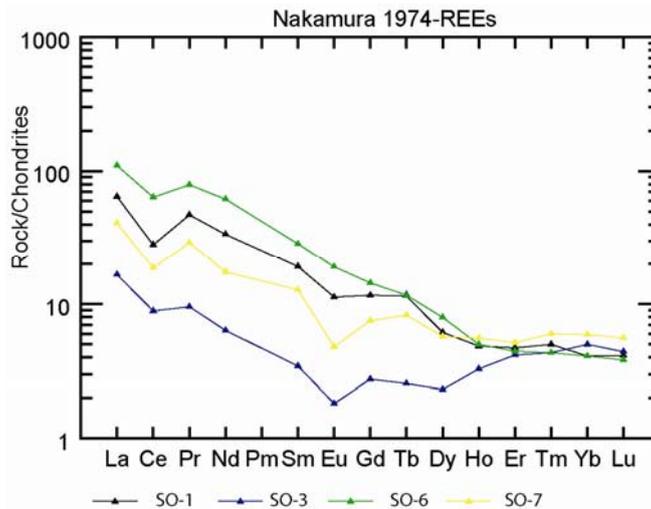


Figura 6.13 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) de la mina Solitaria.

6.2.2 Mina Recuperada.

El marco geológico de la unidad minera Recuperada está dada por calizas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico inferior) y calizas de la Formación Chunumayo (Jurásico-medio). Suprayaciendo a estas unidades se tienen secuencias volcánicas compuestas por tufos riolíticos, lavas andesíticas a riodacíticas, brechas y piroclastos del Grupo Huachocolpa (Mio-Plioceno).

En la unidad minera Recuperada se han visitado dos zonas (Figura 6.14): La zona de Esperanza, compuesta por las vetas Esperanza, Rico Antimonio y Camucha y la zona de Angélica conformada por las vetas Angélica y Elsa. Las muestras analizadas de ambas zonas corresponden a la veta Rico Antimonio (RA-1) y a la veta Angélica (AN-2).

Veta Rico Antimonio

La veta Rico Antimonio se encuentra al sureste de Corralpampa (Figura 5.14), es una estructura de dirección N70° y pertenece a un sistema de fracturas de rumbo E-W. La alteración hidrotermal es intensa y está caracterizada por la sericitización y argilización; las cajas de la veta se presentan fuertemente fracturadas y caolinizadas. La mineralización está compuesta en bandas irregulares, en núcleos y de forma diseminada, constituida principalmente por esfalerita, galena, tetraedrita; en matriz de cuarzo, baritina y pirita. Las cajas corresponden a la lavas andesíticas caolinizadas, seritizadas y piritizadas. En sectores se encuentran núcleos concentrados de sulfuros compuestos principalmente por esfalerita acaramelada (muestra RA-1).

Veta Angélica

Se encuentra al noroeste del pueblo de Huachocolpa (Figura 5.14), está emplazada en las calizas del Grupo Pucará, con *sills* y diques andesíticos. En superficie la veta Angélica tiene cerca de 800 m de largo, manteniendo una dirección N110°, con 78°NO de buzamiento. Los espesores de la veta pueden alcanzar 1.50 m. La mineralización se presenta en bandas de galena y en menor proporción esfalerita, geocronita (muestra AN-2), la ganga corresponde a la calcita lechosa e incipiente baritina y cuarzo.

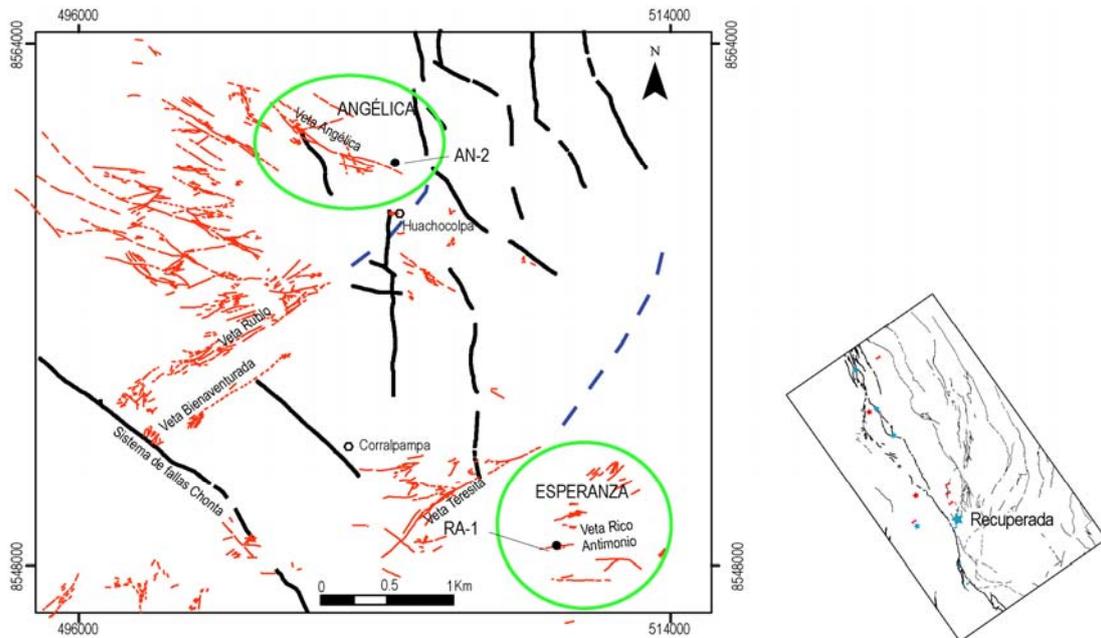


Figura 6.14 Distribución de vetas de la unidad minera Recuperada. Se muestran la ubicación de las muestras estudiadas.

Los resultados de las muestras extraídas en la Unidad Minera Recuperada, se encuentran en la figura 6.15, donde se puede observar que la geocronita y la esfalerita presentan similar enriquecimiento de LREE y presentan anomalía negativa de europio, pero la proporción de las HREE, son diferentes, siendo mas fraccionadas en la geocronita (AN-02). En consecuencia se puede asumir una misma fuente de mineralización para ambas vetas.

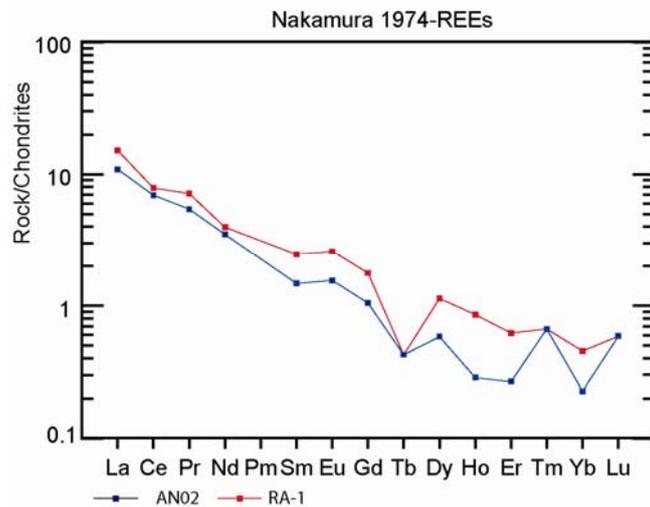


Figura 6.15 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) de la unidad minera Recuperada.

6.2.3 Mina San Genaro.

La Mina San Genaro es un depósito de vetas epitermales del tipo baja sulfuración (reportes de la compañía minera Castrovirreyna). Las estructuras mineralizadas están alojadas en

rocas subvolcánicas intercaladas con volcanoclásticos de la Formación Caudalosa del Mioceno medio.

En la mina San Genaro se han visitado las vetas Poder, Genarito y Rápida, las dos primeras forman parte del sistema de vetas de dirección E-O y presentan una forma recta. La veta Rápida conjuntamente con la veta Este, forman parte de un sistema de vetas de orientación NO-SE, los que se juntan a la veta Norte de dirección NE-SO (Figura 6.16)

Vetas Poder y Genarito

Se emplazan en rocas andesíticas hipabisales y volcanoclásticas, tienen una longitud de 500 m con 0.90 m de espesor y una dirección N 75° con 70° SE de buzamiento. Los minerales económicos son: argentita, galena argentífera acompañada de esfalerita calcopirita, tetraédrica. En la veta Genarito se encuentran bandas de sulfuros concentrados con mayor contenido de esfalerita (muestra SG-4). La ganga está conformada por cuarzo calcedónico, hialino, rodocrosita, baritina, limonita, pirita y yeso.

Veta Rápida

Al igual que la veta Este, se localiza al noreste de la zona central de San Genaro, siendo la orientación promedio N115° con 60°SE de buzamiento, y el espesor puede llegar hasta 1m. Los minerales económicos son galena acompañada de esfalerita y calcopirita. Al igual que en la veta Genarito, en esta veta se encuentran bandas de concentración de sulfuros con mayor contenido de galena y esfalerita (muestra SG-8). La ganga está conformada por cuarzo, pirita y otros.

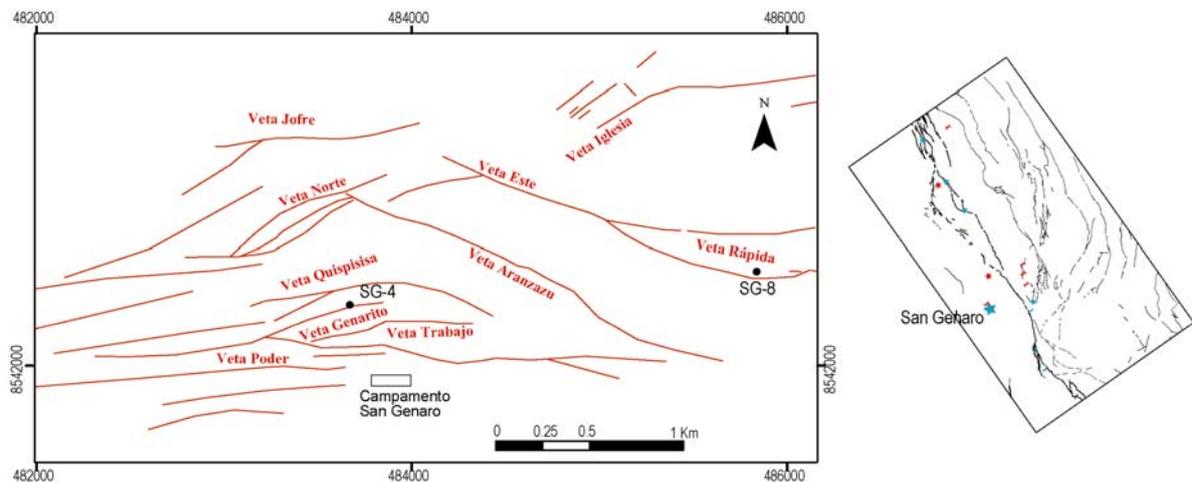


Figura 6.16 Distribución de las vetas de baja sulfuración en la Mina San Genaro. Se muestra la ubicación de las muestras estudiadas.

Los análisis de REE normalizados al condrito (Figura 6.17) muestran que los sulfuros de la mina San Genaro, presentan el mismo fraccionamiento de HREE. Igualmente, presentan anomalía positiva de europio y las LREE se hallan fraccionadas, solo se determina el enriquecimiento uniforme del lantano. Es posible que la diferencia de las proporciones de LREE, se deba a que la mineralización en la veta Rápida sea de menor temperatura en comparación con la veta Genarito. En consecuencia, el sistema hidrotermal en la veta Rápida estaría menos erosionado con respecto a la veta Genarito.

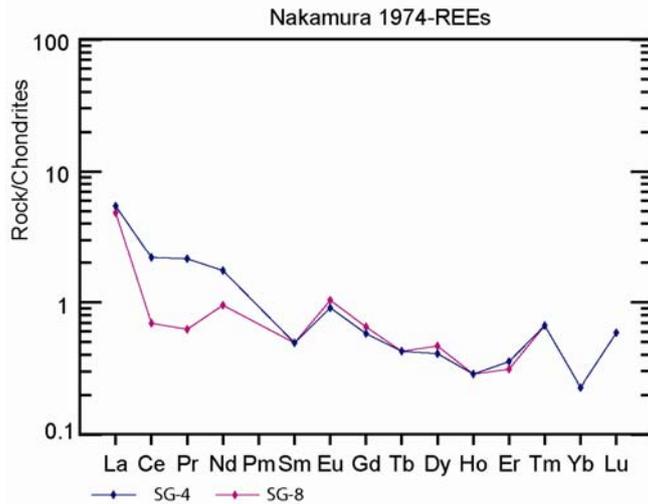


Figura 6.17 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) de la mina San Genaro.

6.2.4 Proyectos El Milagro y Titiminas

El proyecto El Milagro es un depósito polimetálico ligado al sistema de fallas Chonta (Figura 6.18). La mineralización se emplaza en cuerpos de brechas tectónicas con relleno hidrotermal, los que se hallan en las calizas de la Formación Chunumayo del Bajociano (considerado en otros estudios como Grupo Pucara). Presentan calcitización y remplazamiento parcial de calcita por baritina (Valdivia y Paullo, 2006). La alteración predominante es la sericitización; sin embargo, es notoria la presencia de cuerpos silicificados. La mineralización de mena está conformada por galena argentífera, esfalerita, calcopirita y sulfosales de Ag-Cu (Valdivia y Paullo, 2006). Dentro de los cuerpos mineralizados se encuentran zonas con concentraciones de sulfuros compuestos principalmente por esfalerita (muestra EM-2).

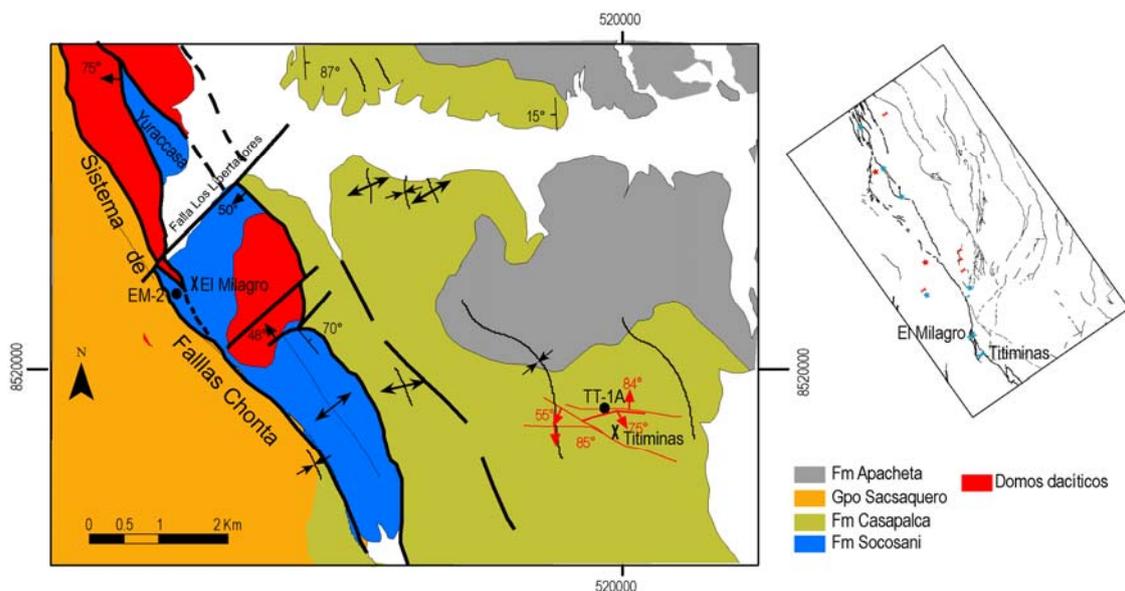


Figura 6.18 Proyectos El Milagro y Titiminas, se muestra la ubicación de las muestras de este estudio

El Proyecto Titiminas, se ubica al sureste del Proyecto El Milagro. Está conformado por vetas angostas bandeadas emplazadas en limolitas, areniscas y conglomerados de la

Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno. La veta Juanita es la principal estructura mineralizada (Figura 6.18), tiene orientación N85° con 85°SE de buzamiento y 1.5 m de espesor. Los minerales de mena están emplazados en una banda de 30 cm y están compuestos por esfalerita y galena (muestra TT-1A) con trazas calcopirita, la ganga está conformada por cuarzo, calcita y granates que se hallan en el contacto de la veta con la roca caja.

Los resultados geoquímicos de REE normalizados al condrito (Figura 6.19) muestran que la mineralización de ambos proyectos es distinta. En el proyecto El Milagro se observa una similitud en la proporciones de REE y no es muy diferenciada con respecto al condrito, además presenta anomalía negativa de cerio y anomalía positiva de europio.

En el proyecto Titiminas existe un fraccionamiento de HREE que está por debajo de las proporciones del HREE del condrito. La anomalía de cerio es discreta y no presenta anomalía de europio. Al parecer las mineralizaciones de El Milagro y Titiminas no corresponden a un mismo evento de mineralización.

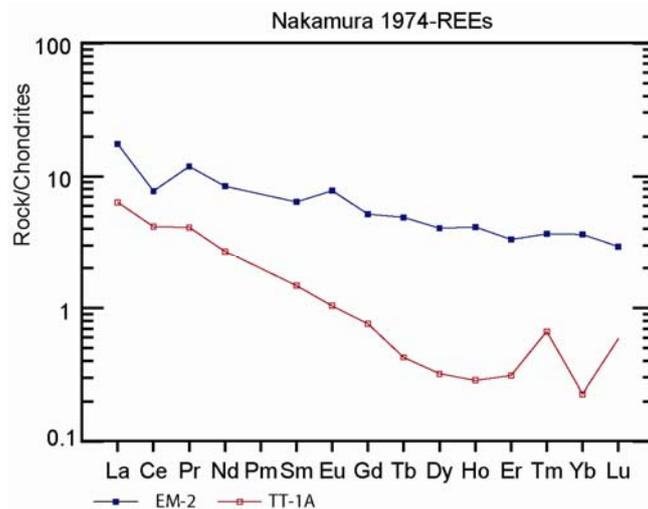


Figura 6.19 Diagrama de araña normalizado al condrito (Nakamura, 1974) de los proyectos el Milagro y Titiminas

6.2.5 Relaciones entre las zonas polimetálicas

La mineralización polimetálica en el mismo sistema de fallas Chonta, se presenta en cuerpos mineralizados (proyecto El Milagro, mina Solitaria y más al norte la mina Yauricocha); en cambio, dentro de los bloques techo y piso, la mineralización polimetálica es principalmente en vetas de dirección NE-E, tal como se presentan en el distrito minero de Huachocolpa (mina Recuperada), en el distrito minero de Castrovirreyna (mina San Genaro) y en el proyecto Titiminas.

Para comparar el contenido de REE de los diferentes depósitos polimetálicos, se han considerado como patrones a las minas que se encuentran en producción, estas son: Solitaria ubicada en el trazo del sistema de fallas Chonta, San Genaro en el bloque techo del sistema de fallas Chonta y Recuperada en el bloque piso del sistema de fallas Chonta. Luego se han comparado con las muestras más representativas de los proyectos Titiminas y El Milagro.

En la figura 6.20 se puede observar que en la mina Solitaria, las proporciones de HREE son claramente más altas que las minas Recuperada y San Genaro. Según Michard (1989, en Lottermoserr 1992) las concentraciones de HREE en los fluidos hidrotermales se incrementan, mientras que el pH es mayor; en consecuencia, los fluidos mineralizantes de la mina Solitaria han tenido mayor pH que los fluidos de las minas Recuperada y San Genaro.

De igual forma, se observa que los sulfuros de la mina Solitaria son más enriquecidos en LREE con respecto a las minas Recuperada y San Genaro. Michard y Albareda (1986 en Giritharan y Rajamani, 2001) sugieren que a mayor temperatura, los fluidos hidrotermales pueden movilizar más las LREE; en consecuencia, puede asumirse que los fluidos de la Mina Solitaria han sido más calientes que en las minas Recuperada y San Genaro y además, los fluidos de la mina Recuperada (en el bloque piso) son más calientes que los de la mina San Genaro (en el bloque techo). Esta relación puede ser debatida, puesto que al oeste de San Genaro las inclusiones fluidas indican temperaturas entre 265 y 320 °C (Sawkins and Rye, 1974) y en la veta Bienaventurada del distrito minero de Huachocolpa, las inclusiones fluidas indican temperaturas entre 220 y 300 °C (Yparraguirre, 2005).

Los estudios de inclusiones fluidas no se han realizado en los mismos lugares en que se ha realizado el análisis de REE. La mineralización en el distrito minero de Huachocolpa se ha originado en varios eventos, entre 8 y 3.7 Ma (reportes inéditos de Unidad minera Recuperada). En consecuencia podemos asumir que la temperatura entre el bloque techo y piso pueden ser variables y el contenido de REE en los fluidos mineralizantes está dado por la asimilación de REE del basamento, es decir que a ambos lados del sistema de fallas Chonta el basamento es diferente, tal como se plantea en el capítulo III del presente estudio.

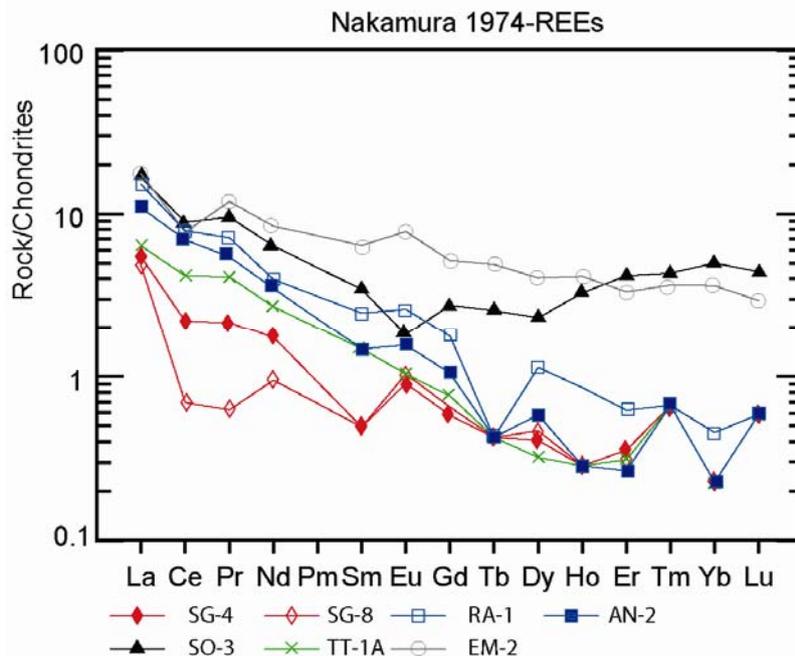


Figura 6.20: Las REE en los depósitos polimetálicos relacionados al sistema de fallas Chonta. En tonos grises depósitos dentro del sistema de fallas Chonta (mina Solitaria y proyecto El Milagro). En azules, depósitos en el bloque piso (mina Recuperada). En rojos depósitos en el bloque techo (mina San Genaro)

El proyecto El Milagro presenta casi las mismas proporciones de REE que la mina Solitaria (Figura 6.20), entonces también los fluidos que han actuado en el proyecto El

Milagro son más calientes, con respecto a las minas San Genaro y Recuerda. Tanto la mina Solitaria y el proyecto El Milagro se encuentran alojados dentro del sistema de fallas Chonta.

En el proyecto Titiminas, ubicado en el bloque piso del sistema de fallas Chonta, las proporciones de LREE, son parecidas a San Genaro y Recuperada (Figura 6.20) y las proporciones de HREE también son similares. Por lo tanto, la temperatura y el pH son similares en dichos depósitos. Las proporciones de las REE del proyecto Titiminas no se encuentra dentro de las proporciones de algún depósito en actual producción, el hecho de que se encuentre entre las proporciones de las minas Recuperada y San Genaro, permite seguir en las exploraciones.

6.3 ELEMENTOS TRAZA EN DEPÓSITOS EPITERMALES DE ALTA SULFURACIÓN (EXPLORADOS POR Au-Ag) RELACIONADOS AL SISTEMA DE FALLAS CHONTA

La distribución de los elementos traza dentro de los depósitos auríferos de alta sulfuración, fue realizada para determinar lazos genéticos posibles entre la repartición de estos elementos y la ubicación estructural de los depósitos con respecto al sistema de fallas Chonta. El análisis de la distribución de los elementos traza, ha sido realizado para depósitos ubicados tanto en el bloque piso (este), en el bloque techo (oeste) y en el mismo trazo del sistema de fallas Chonta.

Para el bloque piso, se han tomado datos de los proyectos Terciopelo, Arcopunco y Huamanraso. En la parte central, es decir la traza de la falla, se han tomado datos de la mina Corihuarmi; y para el bloque techo se han tomado datos de los proyectos Picomachay y Carmela.

La base de datos de valores geoquímicos, ha sido proporcionada por las empresas propietarias de las concesiones mineras. Debido a que cada empresa tiene preferencia por un tipo de análisis, solo se han considerado 15 elementos traza incluyendo el oro. Los proyectos Huamanraso y Carmela cuentan con pocas muestras, 11 y 09, respectivamente, por lo tanto estos depósitos serán solamente usados de manera referencial, para determinar si tienen expectativas en la exploración aurífera

Los fluidos hidrotermales en los depósitos auríferos traen consigo diferentes elementos traza, los cuales pueden caracterizar a un depósito con relación a otros. Nurmi et al. (1997) determinaron 3 grupos de elementos traza que pueden estar enriquecidos en diferente grado, dentro de los depósitos auríferos. Los elementos del primer grupo son enriquecidos universalmente en todos los depósitos auríferos y son 7: Au, S, As, Te, Se, Bi y Ag. El segundo grupo consta de 12 elementos selectivamente enriquecidos y son Sb, Hg, W, B, Cu, Tl, Cl, y Mo. El tercer grupo consta de 31 elementos controlados por los *background* de la composición primaria del depósito y son: Al, Ba, C, Ca, Co, Cr, F, Fe, Ga, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sc, Si, Sr, Ti, U, V, Y, Zn y Zr.

Para este estudio se ha contado con 15 elementos, correspondiendo 4 de ellos al primer grupo de Nurmi et al. (1977) y son el oro, arsénico, bismuto y plata (Au, As, Bi y Ag), 4 al segundo grupo y corresponden al antimonio, mercurio, cobre y molibdeno (Sb, Hg, Cu y Mo); y finalmente 7 para el tercer grupo: bario, cromo, manganeso, plomo, estroncio, vanadio y zinc (Ba, Cr, Mn, Pb, Sr, V y Zn). Es importante mencionar que en el proyecto

Huamanraso solo se cuenta con valores e oro, plata, plomo, zinc, cobre, mercurio, antimonio y arsénico, en el proyecto Carmela no se cuenta con valores de mercurio y en el proyecto Arcopunco no se cuentan con valores de cromo.

Los resultados geoestadísticos se interpretaron en base a los modelos de sistemas hidrotermales donde los minerales, en ambiente primario, presentan un zonamiento vertical y horizontal en torno al yacimiento producto de la alteración hidrotermal que les dio origen (Rose et al., 1979; Levison, 1980; Cruzat, 1984; Silberman y Berger, 1985 y Pirajno, 1992). El zonamiento geoquímico del depósito depende de las características fisicoquímicas del fluido hidrotermal, el que está condicionado por distintos factores del sistema como permeabilidad, brechamiento, silicificación, fracturación, temperatura, presión, concentración de volátiles, contenido salino, etc (Park y Mac Diarmid, 1964, Skinner, 1979).

6.3.1 Abundancia de los elementos traza

La abundancia de cada elemento traza en los depósitos asociados al sistema de fallas Chonta, varía de acuerdo a la ubicación estructural. En la figura 6.21 se tiene la media aritmética de todos los elementos, en cada uno de los depósitos tratados en este estudio.

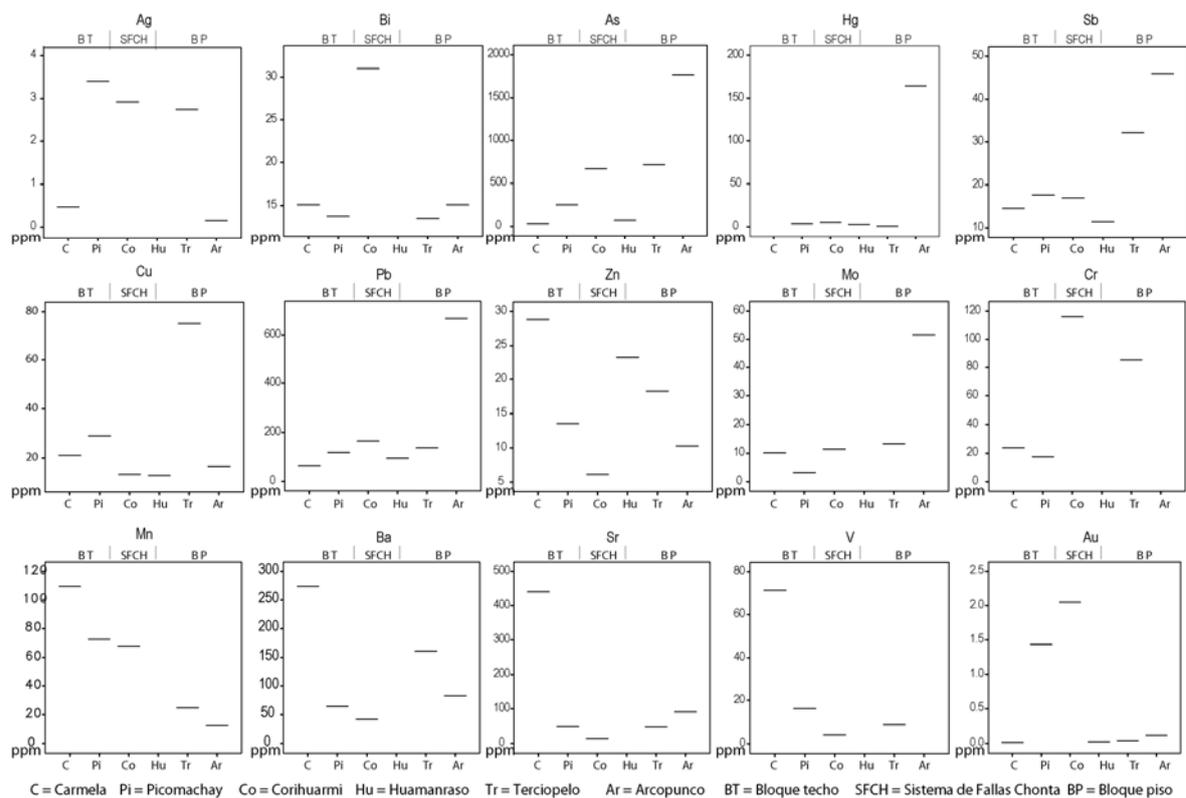


Figura 6.21: Media aritmética en ppm de la distribución de elementos traza en los depósitos epitermales relacionados al sistema de fallas Chonta.

— En los depósitos del bloque piso (Terciopelo, Arcopunco), los elementos con media aritmética más alta son el antimonio, molibdeno y bario; mientras que en el bloque techo (Picomachay) son el oro y plata, y finalmente, en el sistema de fallas Chonta son el bismuto y cromo (Corihuarmi).

— Los menos abundantes en el bloque piso, son la plata; en el bloque techo el molibdeno, arsénico y cromo; y dentro del sistema de fallas Chonta el cobre y el bario.

En general, el arsénico, molibdeno y cromo descienden hacia el bloque techo, la plata y el mercurio descienden hacia el bloque piso, y el cobre y bario descienden hacia el sistema de fallas Chonta.

6.3.2 Distribución de los elementos traza

La distribución de los valores de los elementos traza en los depósitos tratados es log-normal (Figura 6.22) y las curvas de distribución tienen formas mesocúrticas, excepto en el proyecto Arcopunco que es leptocúrtica. En la mina Corihuarmi y proyecto Picomachay, que son los dos depósitos rentables al momento del presente estudio, el sesgo de las curvas es negativo, en cambio en el proyecto Arcopunco es normal, y en los proyectos Huamanraso, Terciopelo y Carmela, es positivo.

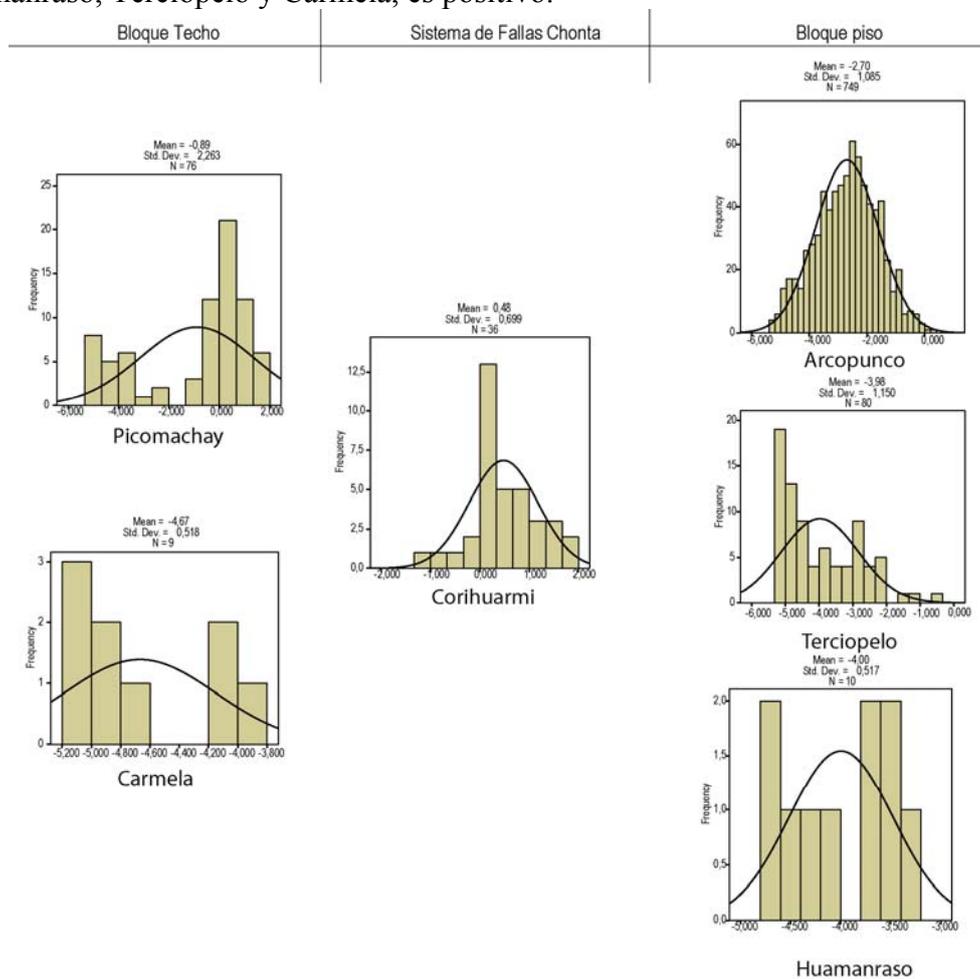


Figura 6.22. Distribución del oro en los depósitos epitermales de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta

6.3.3 Correlaciones Binarias

Las correlaciones binarias de los elementos traza con respecto al oro (valores transformados al logaritmo natural) se muestran la tabla 6.2. La correlación binaria de cada elemento traza con el oro varía de uno a otro depósitos. Sin embargo, podemos agruparlas con respecto a la ubicación estructural de los depósitos, de donde podemos determinar que

la plata, arsénico, bismuto, plomo y antimonio tienen claramente mayor correlación con el oro dentro del bloque techo, y el zinc tiene mayor correlación con el oro dentro del sistema de fallas Chonta.

Tabla 6.2 Correlaciones binarias del oro en los depósitos epitermales de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta.

	Bloque techo		Sistema de fallas Chonta		Bloque piso	
	Carmela	Picomachay	Corihuarmi	Arcopunco	Terciopelo	Huamanraso
Au	1	1	1	1	1	1
Ag	-.324	.851	.280	.330	.401	.a
As	.306	.350	-.158	-.256	.166	.705
Ba	-.743	-.041	-.001	-.009	-.203	
Bi	-.213	.566	-.245	.080*	.358	
Cr	-.260	.306	-.018		.242	
Cu	-.095	.238*	.223	.224	.369	.511
Hg		.576	.424	.470	-.013	.576
Mn	-.176	-.644	.048	.056	-.081	
Mo	.085	.416	.193	.323	.411	
Pb	-.369	.582	-.200	-.258	.139	.710
Sb	-.118	.655	-.276	-.093	.102	.639
Sr	.042	.038	-.384	-.127	-.300	
V	-.278	-.307	-.491		.066	
Zn	.311	-.501	.407	.059	.159	.466

6.3.4 Grupos y Factores de Minerales

Para las interpretaciones del análisis de grupos y factores, se han tenido como referencia modelos de sistemas hidrotermales (Rose et al., 1979; Levison, 1980; Cruzat, 1984; Silberman y Berger, 1985 y Pirajno, 1992). En los depósitos epitermales por debajo de la zona de ebullición, se depositan sulfuros de metales base (Cu-Pb-Zn) y en la zona superior metales preciosos, óxidos y sulfosales (Au, y Ag-Sb-As-Hg; Sawkins, 1990, Reed y Spycher, 1985, Silberman y Berger, 1985).

El zonamiento vertical de depósitos tipo pórfido de cobre está caracterizado por la concentración de los elementos Cu-Mo-Au-Ag en profundidad, asociados a las zonas de alteración potásica y sericitica, disminuyendo gradualmente hacia la zona superior, donde está caracterizado por la concentración de Pb-Zn-Mn-As asociados a la zona propilítica superior (Rose et al., 1979; Levison, 1980; Cruzat, 1984; Silberman y Berger, 1985; Thomson, 1993 y Pirajno, 1992).

Las asociaciones de los elementos traza, en los diferentes niveles de exposición de depósitos epitermales, relacionados a sistemas de pórfido de cobre, son importantes para futuras exploraciones. Gutiérrez (2000) y Gutiérrez et al. (2006) determinaron las asociaciones de elementos químicos correspondientes a los niveles de exposición de los yacimientos del distrito minero de Agua de Dionisio (Sierras-Pampeanas de Argentina). Esta parte del estudio sigue la misma metodología de Gutiérrez et al. (2006).

Proyecto Picomachay, (bloque techo del sistema de fallas Chonta)

El análisis de grupos (Figura 6.23A) indica un primer grupo Ba-Sr-P-Cr-Cu-V-Mn-As, un segundo grupo Bi-Sb-Ag-Mo-Zn y un tercer grupo Au-Hg, donde se han extraído 3 factores importantes (Figura 6.24A).

El primer factor Ag-Sb (Au-Bi-Pb) (Hg) representa a la mineralización económica del proyecto Picomachay, con elementos universalmente enriquecidos en depósitos epitermales (Nurmi et al., 1997). La asociación de los elementos del primer factor, indica que el sistema hidrotermal de Picomachay está sobre la zona de ebullición de los depósitos epitermales.

Bloque Techo

Sistema de fallas Chonta

Bloque Piso

Picomachay

Rotated Component Matrix^a

	Component			
	1	2	3	4
Auppm	.794	-.300	-.224	.110
Ag	.882	-.209	-.203	.161
As	.224	-.556	-.033	.596
Ba	.117	.094	.641	.173
Bi	.796	.067	.039	.016
Cr	.192	.086	-.845	.156
Cu	.194	.136	.027	.882
Hg	.694	-.324	-.007	.201
Mn	-.593	.691	-.129	.178
Mo	.615	-.119	.182	-.135
Pb	.736	-.206	.296	.167
Sb	.860	-.069	.013	.275
Sr	.368	.494	.583	-.008
V	-.169	.619	.382	.482
Zn	-.247	.785	.039	-.022

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
 a. Rotation converged in 6 iterations.

Corihuarmi

Rotated Component Matrix^a

	Component			
	1	2	3	4
Auppm	-.297	.298	-.031	.667
Ag	-.255	-.325	.018	.823
As	.683	-.518	.227	.170
Ba	.273	.123	.766	-.037
Bi	.836	-.007	-.190	-.108
Cr	.056	.234	-.790	-.264
Cu	.299	.494	-.344	.390
Hg	-.206	-.174	.023	.810
Mn	-.063	.877	.196	-.234
Mo	-.152	.871	-.214	-.074
Pb	.752	-.026	.360	.036
Sb	.661	-.160	.343	.558
Sr	.722	-.190	-.003	-.285
V	-.006	.080	.927	-.126
Zn	-.492	.713	.282	.035

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
 a. Rotation converged in 7 iterations.

Arcopunco

Rotated Component Matrix^a

	Component				
	1	2	3	4	5
Auppm	-.201	-.032	.669	.498	-.011
Ag	-.007	.325	.713	-.127	-.055
As	.647	.347	-.133	-.224	-.249
Ba	.768	-.123	.212	.012	-.136
Bi	.180	.574	.286	.233	-.041
Cu	-.001	.773	.106	.291	-.134
Hg	.029	.079	.830	.009	-.129
Mn	-.021	-.067	.033	.036	.916
Mo	.128	.181	-.017	.906	.028
Pb	.825	.316	-.196	.025	.055
Sb	.773	.139	.006	.160	.207
Sr	.599	-.260	-.130	.111	-.466
Zn	.102	.752	.070	-.132	.122

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
 a. Rotation converged in 6 iterations.

Carmela

Rotated Component Matrix^a

	Component				
	1	2	3	4	5
Auppm	-.094	-.809	-.016	-.020	.072
Ag	-.257	.407	-.048	-.102	-.827
As	-.871	-.320	.301	.035	-.160
Ba	.366	.867	.187	.243	-.107
Bi	-.164	.179	-.010	.660	.350
Cr	.885	.263	-.222	.182	.144
Cu	-.025	-.036	.910	.120	.208
Mn	.845	.032	.369	-.062	-.365
Mo	.381	-.249	.279	.798	.155
Pb	.410	.562	.368	.533	.063
Sb	-.561	.187	-.208	.696	-.325
Sr	-.145	.138	.536	.088	.776
V	-.087	.528	.772	-.206	.027
Zn	-.173	-.490	.392	-.625	.193

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
 a. Rotation converged in 24 iterations.

Terciopelo

Rotated Component Matrix^a

	Component				
	1	2	3	4	5
Auppm	.343	.130	.683	-.060	-.410
Ag	.715	.391	.060	.211	-.249
As	.661	-.067	.125	.416	.160
Ba	.481	-.035	-.424	.016	.403
Bi	.826	.042	.112	.085	-.170
Cr	.075	-.257	.110	.715	-.259
Cu	.235	.768	.270	.145	-.130
Hg	.807	-.079	-.367	.133	.072
Mn	-.132	.641	-.480	.214	-.341
Mo	-.211	.107	.839	.249	.059
Pb	.347	.483	.065	.626	.132
Sb	.485	.245	-.011	.681	.034
Sr	-.066	-.009	-.055	-.073	.857
V	-.045	.832	.060	-.197	.248
Zn	.009	.918	.026	.021	-.080

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
 a. Rotation converged in 7 iterations.

Humanraso

Rotated Component Matrix^a

	Component		
	1	2	3
Auppm	.484	.678	.453
As	.516	.168	.681
Cu	.302	.831	-.366
Hg	.952	.158	.107
Pb	-.019	.879	.363
Sb	.947	.146	.207
Zn	.114	.054	.962

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
 a. Rotation converged in 5 iterations.

Figura 6.24: Análisis de factores de las muestras de depósitos auríferos relacionados al sistema de fallas Chonta

El segundo y tercer factor Zn-Mn y Cu-As, respectivamente, indican que nos encontramos en la parte baja de un sistema epitermal, el cual es producto de otros eventos de mineralización distintos a los del primer factor.

Mina Corihuarmi, (sistema de fallas Chonta)

En la Mina Corihuarmi se han determinado 3 grupos (Figura 6.23B), el primero corresponde a Cu-Sb-Sr-Bi-Ba-Mn, el segundo grupo a Mo-Zn-Au-Ag-Hg-V y el tercer grupo a Cr-Pb-As. Luego se han determinado 3 factores (Figura 6.24B). El primer factor está constituido por Bi-Pb-Sr (As-Sb), por lo que, debido a la presencia de elementos volátiles, puede representar la parte más alta de un sistema epitermal.

El segundo factor Mn-Mo-Zn (Cu) corresponde a un sistema tipo pórfido, lo que sugiere la existencia de un pórfido de Cu-Mo en profundidad. El tercer factor Ag-Hg-Au representa a la mineralización económica de Corihuarmi y corresponde a un nivel sobre la zona de ebullición de los depósitos epitermales

Proyecto Terciopelo (bloque piso del sistema de fallas Chonta)

En el proyecto Terciopelo se han determinado 2 grupos (Figura 6.23C). El primero V-Zn-Cu-Mn-Bi-Sb-Mo-Pb-Ba-Cr-Sr-As, y el segundo Ag-Hg-Au. Luego se han determinado 4 factores (Figura 6.24C). El primer factor Bi-Hg (Ag-As) representa a un sistema epitermal sobre la zona de ebullición, con oro en trazas. El segundo factor Zn-Cu-Mn puede corresponder a zonas distales de un pórfido.

El factor Au-Mo es propio de un sistema de pórfido, lo que indica la presencia de un pórfido Au-Mo en profundidad. El factor Cr-Pb-Sb puede corresponder a la parte inferior de un sistema epitermal con contenido de cromo.

Proyecto Arcopunco (bloque piso del sistema de fallas Chonta)

En el proyecto Arcopunco se tiene dos grupos de elementos (Figura 6.23D), el primero de Ba-Sr-Mo-Cu-Mn-Zn-Bi-Sb-As-Pb, y el segundo grupo de Au-Ag-Hg.

Los factores determinados en Arcopunco son 4 (Figura 6.24D). El primer factor Pb-Ba-Sb (As) puede representar la zona intermedia de un sistema epitermal cerca de la zona de ebullición. El segundo factor Cu-Zn corresponde a la zona baja de un sistema epitermal. El tercer factor Hg-Ag (Au) representa a un sistema epitermal sobre la zona de ebullición. El cuarto factor Mo (Au) indica la presencia de fluidos de un sistema porfirítico en profundidad.

Proyectos Huamanraso y Carmela

Los proyectos Huamanraso y Carmela (Figura 6.23E y F) ubicados en el bloque techo y bloque piso del sistema de fallas Chonta, no han sido considerados en esta parte del estudio debido a que tienen muy pocas muestras. Además el proyecto Huamanraso no tiene análisis con los suficientes elementos y el Proyecto Carmela no indica factores para determinar componentes de los niveles de exposición de un depósito hidrotermal.

6.3.5 Implicancias de los elementos traza en la geodinámica y en la exploración de depósitos epitermales de alta sulfuración

Los factores determinados en los depósitos relacionados al sistema de fallas Chonta (Tabla 6.3), muestran que en el bloque techo se encuentran factores correspondientes a un sistema epitermal por encima del nivel de ebullición. En el sistema de fallas Chonta, los factores corresponden mayormente a sistema epitermales sobre el nivel de ebullición con algunas intervenciones de fluidos de sistemas de pórfidos. En el bloque piso, los sistemas mineralizados presentan factores mixtos correspondientes a zonas bajas de un sistema epitermal, y además presentan más intervención de fluidos correspondientes a un sistema del tipo pórfido que debe de estar en profundidad.

Los cocientes metálicos Mo/Ag-Cu/Au (Figura 6.25), muestran una tendencia de los depósitos a una asociación Cu-Mo con Au, siendo los depósitos del bloque piso del sistema de fallas Chonta (Arcopunco y Terciopelo) los que presentan mayor tendencia en comparación con los depósitos ubicados en el sistema de fallas Chonta (Corihuarmi) y en bloque techo (Picomachay).

Tabla 6.3: Grupos de elementos y factores dentro de los depósitos auríferos de alta sulfuración relacionados al sistema de fallas Chonta

DEPÓSITO	BLOQUE TECHO	SISTEMA DE FALLAS CHONTA	BLOQUE PISO	
	PICOMACHAY	CORIHUARMI	TERCIOPELO	ARCOPUNCO
GRUPOS	Ba-Sr-P-Cr-Cu-V-Mn-As	Cu - Sb - Sr - Bi - Ba - Mn,	V - Zn - Cu - Mn - Bi - Sb - Mo -	Ba - Sr - Mo - Cu - Mn - Zn - Bi
	Bi-Sb-Ag-Mo-Zn	Mo - Zn - Au - Ag - Hg - V	Pb - Ba - Cr - Sr - As	- Sb - As - Pb
	Au-Hg	Cr - Pb - As	Ag - Hg - Au	Au - Ag - Hg
FACTORES	Ag - Sb (Au - Bi - Pb) (Hg)	Bi - Pb - Sr (As - Sb)	Bi - Hg (Ag - As)	Pb - Ba - Sb (As)
	Zn-Mn	Mn-Mo-Zn (Cu),	Zn - Cu - Mn	Cu - Zn
	Cu-As	Ag - Hg - Au	Au - Mo	Hg - Ag (Au),
			Cr - Pb - Sb	Mo (Au)

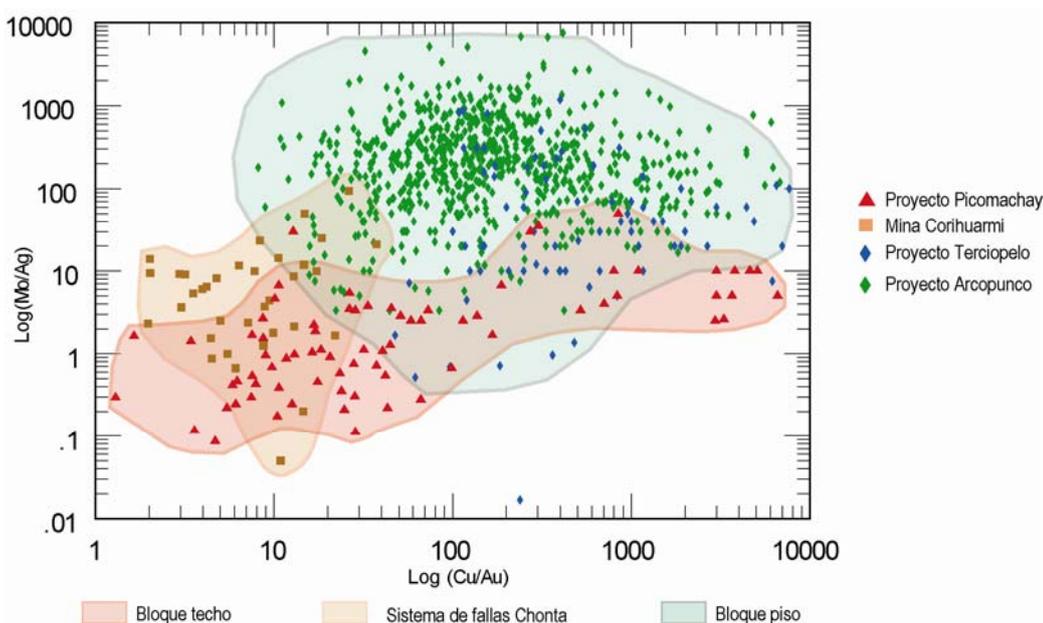


Figura 6.25: Comparación de ratios Mo/Ag - Cu/Au de los depósitos auríferos del sistema de fallas Chonta. Se observa una evolución hacia Mo-Cu, siendo los depósitos del bloque piso los más erosionados.

Noble (1995) menciona que el origen del mercurio en el distrito minero de Santa Bárbara, ubicado a lo largo de la falla Huachocolpa-Huancavelica (ver figura 4.1), puede deberse a la presencia, en profundidad, de grandes sistemas epitermales y no descarta la presencia de pórfidos de Au-Mo. En muchos estudios, se ha determinado una relación entre los yacimientos epitermales y yacimientos del tipo pórfidos (ej. Hedenquist y Arribas, 1999; Sillitoe 1997; Corbett y Leach, 1998).

En el norte del Perú, las anomalías de molibdeno, son uno de los indicadores de pórfidos en profundidad, tal como en el proyecto Kuppertal del distrito minero de Yanacocha (Pinto, 2002, Gustafson, 2004) y en el proyecto La Zanja (Rodríguez y Ccasa, 2002).

En consecuencia, de todo lo dicho en los párrafos anteriores, se interpreta que los depósitos epitermales de alta sulfuración ubicados en el bloque piso de la zona 3 del sistema de fallas Chonta (ver figura 4.1), se encuentran más erosionados, con respecto a los depósitos auríferos del bloque techo y del mismo sistema de fallas Chonta. Por lo tanto, pueden estar más cerca de un pórfido de Au-Mo.

6.4 LA GEOQUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS ASOCIADOS CON EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN RELACIÓN CON EL CONTEXTO TECTÓNICO.

La mayor abundancia del cromo hacia al bloque piso y en el mismo sistema de fallas Chonta, puede corresponder a que el cromo ha sido enriquecido en estos sectores por asimilación, de la composición primaria del depósito, según los grupos de minerales enriquecidos en depósitos epitermales (Nurmi et al., 1997).

La mayor abundancia de elementos de REE en los depósitos auríferos y polimetálicos ubicados en el bloque piso, con respecto al bloque techo del sistema de fallas Chonta, puede ser por la removilización de tierras raras en el basamento del bloque piso.

Haeberlin (2002) definió provincias isotópicas de ratios de estroncio en rocas plutónicas del centro y sur del Perú, las cuales coinciden con las provincias isotópicas de plomo de Macfarlane et al. (1990). La zona de estudio se encuentra entre la provincia Pb I ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{SR} > 0.7045$) correspondiente a zonas con contaminación de corteza continental y la provincia Pb II ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{SR} > 0.706$) (Figura 6.26) correspondiente a rocas plutónicas que no han sufrido contaminación de una corteza continental. El mismo autor sugiere que estas provincias de estroncio, son correspondientes a los bloques de basamento de edad Precámbrica. Por tanto, los fluidos mineralizantes en ambas provincias pueden estar enriquecidos con determinados elementos traza. En efecto, la mayor abundancia del cromo en los depósitos ubicados en el bloque piso y en el mismo sistema de fallas chonta, puede corresponder a la contaminación de los fluidos al atravesar la corteza continental.

En consecuencia, el límite de las provincias de estroncio (Haeberlin, 2002) y de los basamentos Precámbrico de Paracas planteado por Ramos (2008), es el sistema de fallas Chonta (Figura 6.26).

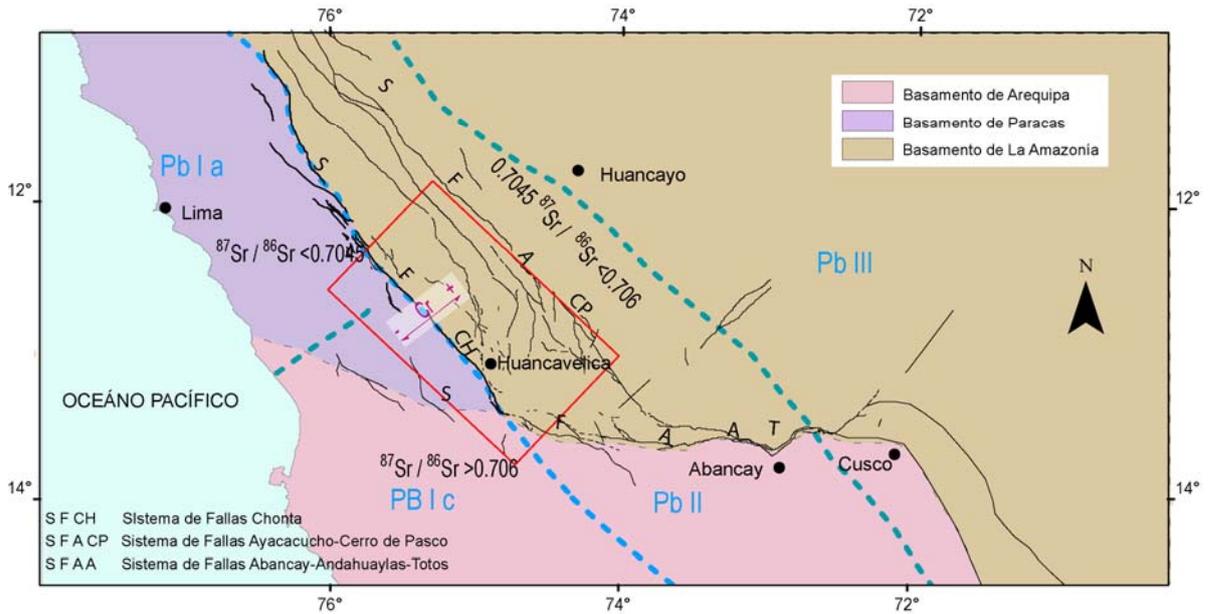


Figura 6.26: El sistema de fallas Chonta en relación con el contenido de cromo de los yacimientos epitermales de alta sulfuración, con las provincias isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y plomo y con los límites de basamentos Precámbricos, en base a los datos de Macfarlane et al., 1990; Haeberlin, 2002; Ramos, 2008 y Carlotto, 2008^a

7 DISTRIBUCIÓN METALOGÉNÉTICA DE LOS DEPÓSITOS DE MINERALES ASOCIADOS AL SISTEMA DE FALLAS CHONTA

7.1 EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN RELACIÓN CON DISTRITOS MINEROS

7.1.1 Distrito minero de Huachocolpa

El distrito minero de Huachocolpa ha sido uno de los más importantes centros mineros de la región de Huancavelica, ya que ha producido en décadas pasadas menas de Ag, Pb, y Zn. En el área aflora una secuencia mesozoica compuesta por calizas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico) y de la Formación Chunumayo (Jurásico medio), areniscas del Grupo Goyllarisquiza y calizas de la Formación Chulec, ambas del Cretácico inferior. Esta secuencia mesozoica muestra pliegues y sobre-escurrimientos sucesivos con dirección de acortamiento E-O y está cubierta en discordancia angular por coladas volcánicas, piroclastos y domos del Grupo Huachocolpa del Mioceno superior.

Las unidades mesozoicas y terciarias a su vez han sido instruidas por diques y un stock (del Mioceno) de composición diorítica y andesítica.

En la zona del distrito minero de Huachocolpa se han desarrollan tres centros eruptivos mayores denominados Tinquí, Chosecc y Manchaylla que forman parte de la Formación Domos de Lava datadas entre 8 y 10 Ma (Injoque et al, 1994).

En estas coladas volcánicas del Grupo Huachocolpa, así como en los domos volcánicos ocurren estructuras mineralizadas de gran importancia económica, tales como las que existen en las minas Tangana, Chosecc, Tinquicorral, Blenda Rubia, Maloya, Recuperada, Teresa, Teresita y otras menores (Morche et al, 1996a). Igualmente, algunas vetas se emplazan en las calizas del Grupo Pucará, como las que existen en las minas Pirata, Consuelo, China Hereje y Angélica.

El factor estructural en los volcánicos, ha sido el más importante para la localización de los clavos mineralizados o zonas de bonanza en las vetas. Los cuerpos enriquecidos ocupan las aberturas tensionales, lazos sigmoides e intersecciones de vetas (Injoque et al, 1994). El relleno de las estructuras consiste de esfalerita, galena, calcopirita, pirita, geocronita. Así como, gangas de calcita, sílice y baritina. Ocasionalmente aparecen rejalgar y oropimente.

En el distrito minero de Huachocolpa (caracterizado por una mineralogía polimetálica), existe una aureola externa argentífera, observada en las minas Rescatada y María Luz al oeste, la mina Ccolcemina al sur, y las minas Nancy Luz y Germana hacia el este (Injoque et al, 1994). El oro tiene anomalías entre 0.3 a 3 g/t en la zona de escopeta, cerca del sistema de fallas Chonta (Valdivia y Meza, 1998)

La edad de la mineralización y de la actividad magmática correspondiente estaría entre 8 y 4 Ma (McKee et al., 1975), dataciones en sericita de la veta Teresita dan 6.4 ± 0.3 Ma, lo que indica una relación genética entre la mineralización y la actividad ígnea de la Formación Domos de Lava del Grupo Huachocolpa (Injoque et al., 1994).

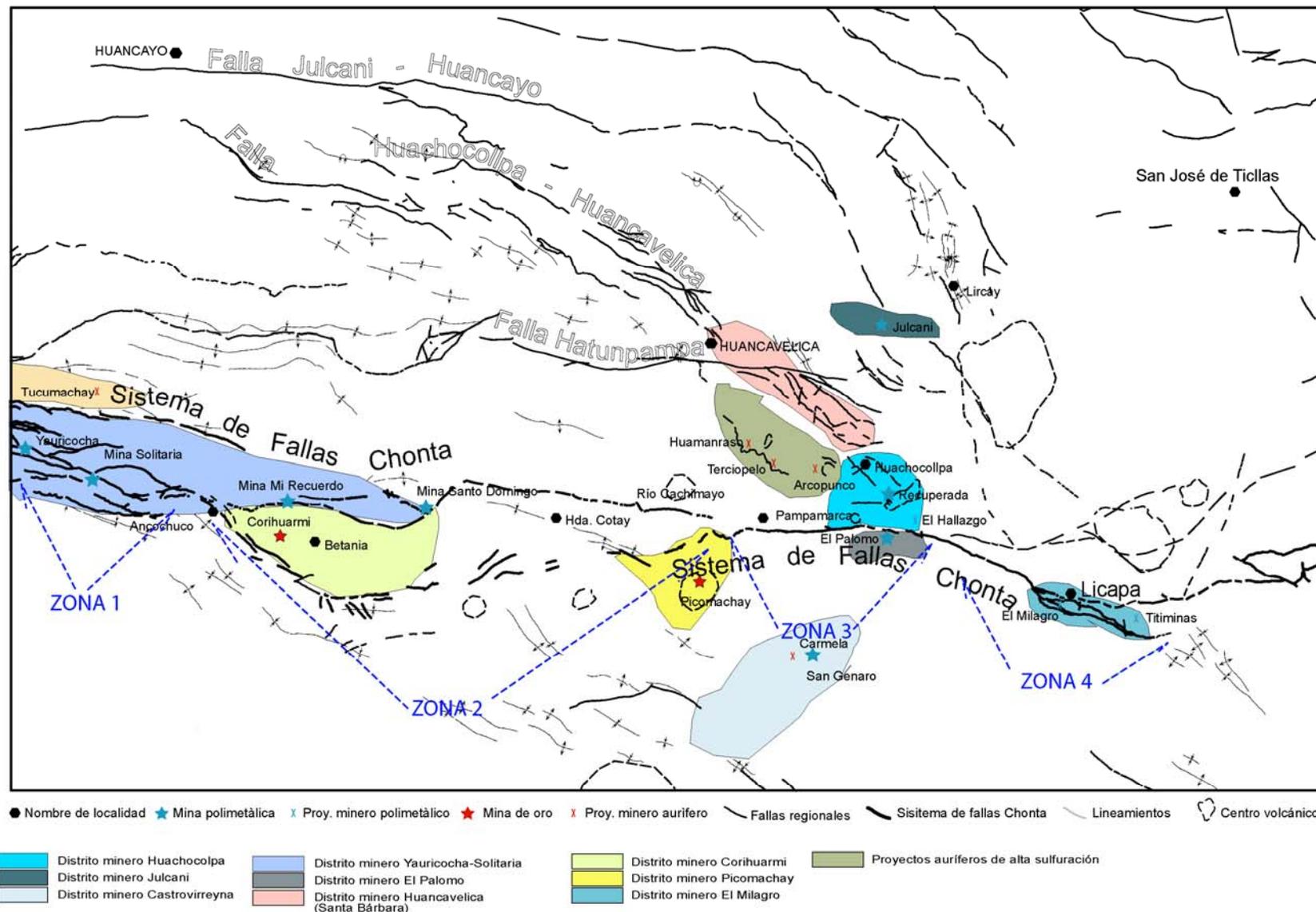


Figura 7.1: El sistema de fallas Chonta en relación con el los distritos metalogénicos de la región.

No obstante, la abrumadora presencia de vetas con mineralización polimetálica, se debe resaltar la ocurrencia de zonas de metasomatismo de contacto que muestran un moderado desarrollo de *skarn* asociado a intrusivos dioríticos y dacíticos en contacto con las calizas del Grupo Pucará. Estos cuerpos, aún cuando no son económicos, muestran granates, hedenbergitas, clinopiroxenos así como pirita, calcopirita y esfalerita (Meza et al., 2002).

7.1.2 Distrito Minero de Julcani

El distrito minero Julcani fue conocido inicialmente por su contenido de oro, el que fue extraído de las partes superiores del lugar Tentadora, en el centro del distrito, así como por la ocurrencia de wolframita en vetas con relleno de pirita.

En el área afloran pizarras y areniscas del Grupo Excelsior, las que se encuentran cubiertas en discordancia angular por rocas sedimentarias clásticas y calizas así como por una secuencia de capas rojas del Grupo Mitu, que a su vez, infrayace a las calizas del Grupo Pucará y de la Formación Chulec.

En el Cenozoico ocurren 2 grupos de rocas volcánicas y sedimentarias. El primero compuesto por material volcánico sedimentario de la Formación Rumichaca, datada por K/Ar en biotitas y plagioclasa dando una edad entre 20 y 22 Ma (Mc Kee y Noble, 1982); y el segundo es conformado por el Centro Volcánico Julcani datado en 10 Ma. (Noble et al., 1984)

La mayoría de las minas de este distrito se encuentran alojadas en dos tipos de roca caja. El primer tipo corresponde a una secuencia volcánica miocénica de dacitas, riolitas y piroclastos. Entre las principales minas se tienen Herminia, Mimosa, Sacramento, Estela, Tentadora, Nuestra Señora del Carmen, Rita, Achillia, Manto y Condoray. El segundo tipo de roca caja corresponde a filitas del Grupo Excelsior, donde se encuentran las minas Pucará, Bernabé y Contaglapampa.

El distrito minero de Julcani, está conformado por depósitos epigenéticos, donde la mineralización se encuentra a manera de relleno polifásico y zonamiento tanto horizontal y vertical. También se encuentra en rellenando fracturas con una mineralización compleja de plata, plomo, bismuto, cobre y wolframio. Las vetas tienen orientación entre N30° a N70°, con buzamientos al sur y espesores entre 0.5 y 2 m. La mineralogía que se encuentra en las vetas, está conformada por andorita, argentita, bismutinita, bornita, boulangerita, calcopirita, enargita, esfalerita, estibina y galena, como ganga se presentan ankerita, baritina, calcita, caolín, feldespatos, pirita, marcasita, rejalgar, oropimente y arsenopirita (Petersen et al., 1997).

La temperatura de la mineralización está entre 250 °C a 325 °C y 8 a 19 % en peso de NaCl respectivamente (Deen et al., 1994)

7.1.3 Distrito Minero de Castrovirreyna

Las minas del distrito minero de Castrovirreyna, han sido explotadas desde tiempos de la colonia hasta la actualidad. La producción principal es polimetálica (Pb-Zn). La geología del distrito está compuesta por rocas volcano-sedimentarias de edad miocénica correspondientes a la formaciones Castrovirreyna, Auquivilca y Caudalosa. Estructuralmente, se encuentra en el núcleo del sinclinorio de Castrovirreyna.

La mineralización es de tipo epitermal de baja sulfuración, conformada por vetas de relleno de fracturas de dirección N45°E a N60°E con buzamiento cercano a la vertical. Por lo general, el espesor de las estructuras mineralizadas es desde 0.7 a 3 m.

Entre las principales minas se tienen a San Genaro, Caudalosa, Pacococha, Astohuaraca, La Virreyna, Lira, Carmen, Bonanza, La Griega, entre otras, las cuales tienen menas de galena, esfalerita, enargita, acantita, polybasita, tetrahedrita, tenantita, calcopirita y pirargirita. La ganga está conformada por cuarzo, pirita, baritina, calcita, rodocrosita, hematina, estibina, rejalgar y oropimente (Masías, 1929, Lewis 1964)

El estudio de inclusiones fluidas, en el lado oeste del distrito, indican temperaturas de formación entre 265 y 320°C y la salinidad es 4 a 8 % en peso de NaCl equivalente (Sawkins & Rye, 1974).

7.1.4 Distrito Minero de Yauricocha-Solitaria

La geología del distrito minero de Yauricocha (Thomson, 1960 y Pinto 1970) está caracterizada por las calizas de la Formación Jumasha, y las secuencias de lutitas y calizas de la Formación Celendín, ambas del Cretácico superior; sobre estas se encuentra la Formación Casapalca del Paleoceno-Eoceno, conformado de areniscas y lutitas rojas.

Intrusivos de composición granodiorítica a cuarzo-monzonítica, afectan la serie sedimentaria, y se han emplazado a lo largo del sistema de fallas Chonta, localmente denominado falla Yauricocha (Szekely, 1969 y Valdivia, 1996). Estos cuerpos han provocado un metamorfismo de contacto, ocasionando que las areniscas se conviertan en cuarcitas, las lutitas en *hornfels*, y que las calizas se recristalicen (Thomson, 1960).

El control estructural principal es el sistema de fallas Chonta y pliegues cerrados, los cuales tienen sus ángulos más inclinados cerca de los cuerpos granodioríticos (Thomson, 1960 y Noble et al., 1979).

La mineralización en la mina Yauricocha se emplaza en forma de brechas *pipe* (Valdivia, 1996), las que están ubicadas en fallas tensionales del sistema de fallas Chonta. Sin embargo, en el distrito, es común encontrar mineralización polimetálica en *skarn*, en cuerpos mineralizados, en vetas, en *stockwork*, y mineralización diseminada en sedimentos calcáreos, lo que es similar a un depósito tipo Carlín (Álvarez y Noble, 1988, 1990). En la mina Solitaria, la mineralización se encuentra en cuerpos que están ubicados a lo largo del sistema de fallas Chonta; además se encuentran vetas rellenando fallas tensionales originadas por el movimiento sinistral del sistema de falla Chonta.

La paragénesis está dada por pirita-cuarzo-enargita con calcopirita y bornita subordinada, pirita-cuarzo-enargita-calcopirita, principalmente en los *pipes*; y pirita-galena-esfalerita-calcopirita en una matriz calcárea, arcillosa y cuarzo subordinado (Thomson, 1960).

Los cuerpos intrusivos presentan halos de alteración similar a los de un pórfido Cu-Mo, constituidas por sericitización, argilización propilitización, cloritización, carbonitización, silicificación y piritización. (Valdivia, 1996). En la roca caja, conformada principalmente por calizas, se observa marmolización, silicificación, argilitización y piritización (Valdivia, 1996).

Los estudios isotópicos de plomo en galenas indican claramente que la fuente primaria de mineralización proviene de los *stocks* y de sus apófisis, con aporte restringido de los sedimentos (Valdivia, 1996).

El potencial aurífero del distrito Yauricocha-Solitaria, ha sido estudiado en la mina Yauricocha (Álvarez y Noble, 1988, 1990 y Rado, 1997). El oro se encuentra alojado conjuntamente con la mineralización polimetálica, siendo el cobre, el metal que presenta mayor afinidad con el oro.

Las leyes de oro varían según los sectores y el modo de emplazamiento de la mineralización, así en el *skarn*, el oro se encuentra diseminado con valores de 0.1 a 8.0 g/t; en las vetas y *stocwork* el oro tiene valores entre 0.1 g/t hasta 0.8 g/t; en los cuerpos brechados, el oro tiene valores de 5.34 g/t y en la mineralización diseminada en calizas, alcanza valores de 0.2 a 2.1 g/t (Rado, 1997).

7.1.5 Distrito Minero El Palomo

Injoque et al. (1994) consideró al distrito minero El Palomo como parte del distrito minero de Huachocolpa. Cabos (2005) menciona que la edad de la mineralización de El Palomo está en el rango de 12 a 14 Ma, similar a la edad de la mineralización del distrito minero de Castrovirreyna.

Este distrito, comprende a la mina El Palomo y María Luz (Injoque et al., 1994), ambas localizadas al sur del sistema de fallas Chonta. La geología en el distrito minero está compuesta por secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Sacsaquero del Eoceno superior; y de las formaciones Castrovirreyna y Auquivilca del Mioceno. Se trata de depósitos epitermales vetiformes de baja sulfuración, con dirección casi N-S que se han emplazado en rocas de la Formación Castrovirreyna y estarían ligadas a domos subvolcánicos.

En este distrito predomina la plata sobre el plomo y zinc. La plata oscila entre 4 oz/tc y 8 oz/tc. En la mina María Luz oscila por encima de 15 oz/tc (Injoque et al., 1994). La mineralización se ha emplazado en vetas de baja sulfuración, cuya dirección es casi N-S con ancho que pueden llegar hasta los 3m. La mineralogía de las vetas está compuesta por bandas de rodocrosita, rodonita, adularia, calcita, cuarzo, baritina, platas rojas, argentita tetraédrita, galena, esfalerita, con presencia de estibina y rejalgar. La alteración dominante es argilización.

7.1.6 Distrito Minero Santa Bárbara

El distrito minero de Santa Bárbara está conformado por las minas Santa Bárbara, Botija Punco y Santa Bárbara III, El elemento principal es el mercurio, y es conocido por la explotación de la mina Santa Bárbara, desde tiempos de la colonia hasta los primeros años del siglo pasado (Fernández Concha et al., 1952).

La mineralización de mercurio se encuentra en las areniscas del Grupo Goyllarisquizga ocupando los intersticios de los granos de cuarzo de grano fino a medio. En las margas de la Formación Chulec, el mercurio forma bolsonadas y rellena fracturas. En las rocas volcánicas de la Formación Chayllacatana es escaso y se presenta en rocas riolíticas,

ocupando generalmente los contactos fallados, donde existe un fracturamiento intenso (Fernández Concha et al., 1952).

El mercurio se encuentra donde la permeabilidad y el fracturamiento de las rocas lo ha permitido, para poder migrar y depositarse. La mena principal es el cinabrio, asociado al mercurio nativo; en menores cantidades se tienen rejalgas, oropimente, estibina, pirita, arsenopirita, galena y blenda. La ganga está dada por cuarzo, calcita y baritina.

El control estructural regional es la falla Huachocolpa-Huancavelica, que tiene dirección N-S y buzamientos cercanos a la vertical. Localmente el control estructural está dado por el brechamiento que han sufrido la roca caja. La mineralización se encuentra principalmente en los estratos en donde la roca es más permeable. Por lo tanto, para el emplazamiento de la mineralización ha sido más importante la permeabilidad que el fracturamiento; que solo sirvió para que los fluidos mineralizantes circulen (Fernández Concha et al., 1952).

Si se asume que el mercurio se depositó con la plata, arsénico, antimonio, talio, hidrocarburos y pequeñas cantidades de metales básicos, incluyendo el bismuto, entonces el origen de los depósitos de mercurio, puede ser interpretado como la parte distal de un sistema epitermal (Noble y Vidal, 1990) y correspondería a una gran anomalía geoquímica complementaria de un sistema polimetálico de Cu-Zn-Pb-Ag y posiblemente a un sistema de pórfidos ± Mo-Au, los cuales no están expuestos (Noble, 1995).

7.1.7 Distrito Minero de Corihuarmi.

El distrito minero de Corihuarmi se encuentra en parte central de la zona de estudio y está operado por Minera IRL Limited. De acuerdo con la estimación independiente de recursos realizada por Australian Mining Company (AMC) para el estudio de factibilidad, Corihuarmi contaría con 3.7 millones de TM en recursos minerales medidos e indicados, con una ley promedio 1.2 gr/t de oro (reportes de prensa del BCP-Diciembre del 2007).

El distrito de Corihuarmi se encuentra en una estructura romboédrica del sistema de fallas Chonta (Figura 7.1). En la mina Corihuarmi, la falla Ely tiene dirección N320° a N340° con buzamientos entre 64° a 87° NE. Esta falla tuvo movimientos de trascurrentes y normal con convergencia al noreste, además es el control estructural principal de la mineralización de los depósitos Susan y Diana (A. Gonzáles – comunicación escrita).

La geología del distrito está compuesta por secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Sacsaguero, sobreyacido en discordancia angular por derrames de brechas, dacíticas, porfíricas, por andesítica porfíricas, y esporádicos piroclastos de la Formación Caudalosa del Mioceno medio

Las alteraciones hidrotermales son características de un sistema epitermal aurífero de alta sulfuración (A. Gonzáles – comunicación escrita). La alteración silíceá es de dos tipos, una masiva y otra con textura *vuggy sílica*. La alteración argílica avanzada (Sílica-alunita y alunita-pirofilita-arcillas) y alteración argílica (montmorillonita, algo caolín, etc).

La mineralización se presenta en un horizonte de sílice masiva con *crackle breccia* y en *vuggy silica* que se encuentra en la base de la Formación Caudalosa, en donde el oro está disseminado y microscópicamente al estado libre (A. Gonzáles – comunicación escrita).

7.1.8 Distrito Minero de Picomachay

El distrito minero de Picomachay está ubicado al norte del distrito minero de Castrovirreyna (Figura 7.1), en el bloque techo del sistema de fallas Chonta.

Desde fines del 2003 hasta el momento de este estudio, Minera Calipuy ha desarrollado un intenso programa de perforaciones que han sido orientadas a la zona de principal anomalía, en un área aproximada de 1.5 x 0.5 km², determinándose un cuerpo mineralizado con extensión aproximada de 800 x 200 m², quedando abierta la posibilidad de que la mineralización siga a los extremos oeste y noreste.

Los resultados preliminares calculados por Caracle Creek Internacional Consulting Inc. (2005) de Sudbury, Canadá, dan un aproximado de 580,000 oz/troy de oro como recursos estimados. Considerando un *cut-off* de 0.30 g/t Au en 15.9 millones de toneladas métricas con 0.85 g/t Au en promedio, se tiene 436,623 oz./troy de oro en la zona de óxidos-mixtos y 145,579 oz./troy de oro en la zona de sulfuros.

La geología del distrito, está compuesta por rocas volcano-sedimentarias de la Formación Auquivilca del Mioceno medio, sobreyacidas por lavas de la Formación Machay (Martínez et al., 2006) afectadas por magmatismo intrusivo subvolcánico, a manera de domos andesítico-dioríticos, del Plioceno. Localmente, las rocas se encuentran afectadas por diferentes grados de alteración y mineralización, con un aparente control litoestructural de orientación NO-SE y relacionado a volcánicos de composición dacítica (Martínez et al., 1996).

La alteración se presenta con una zonificación bien marcada a lo largo de lineamientos y fracturamientos de rumbo 70° a 80° Noreste. En la parte central presenta silicificación con “*vuggy silica*”, con una sobre imposición y aureola hacia los bordes de alteración argílica avanzada con sílice alunita-dickita y/o pirofilita. En la parte externa presenta alteración argílica con caolín-illita-smectita y trazas puntuales de ensamble sílice-arcillas.

La mineralización aurífera emplazada en rocas volcánicas dacíticas está asociada con algunos elementos volátiles como Sb y Hg (Martínez et al., 2006). En contraste con ellos, otros elementos como Pb, Zn y Cu se presentan en profundidad, asociados a rocas volcánicas andesíticas, evidenciando de esta manera, más de una fase de mineralización y un control, tanto estructural como litológico (Martínez et al., 2006)..

El cálculo de recursos estimados indica 436,623 onzas de oro en la zona de óxidos mixtos y 145,579 onzas en la zona de sulfuros, con porcentaje de recuperación entre 86 y 100% de en óxidos-mixtos y 17% en sulfuros (Martínez et al., 2006).

7.1.9 Distrito minero de El Milagro.

El distrito minero de El Milagro se encuentra en la parte sur del sistema de fallas Chonta. Está conformado por los depósitos El Milagro y Yuraccasa asociados a calizas de la Formación Chunumayo (Considerado en otros estudios como Formación Condorsinga del Grupo Pucará); y más al sur, por el proyecto Titiminas emplazado en capas rojas de la formación Casapalca. Los elementos principales son el zinc y plomo. Al momento de este estudio, en El Milagro se encuentran realizando socavones con miras a la preparación de

minado. En el proyecto Titiminas se ha realizado una explotación a pequeña escala y actualmente la Compañía de minas Buenaventura S.A.A. se encuentra realizando exploraciones, con el fin de encontrar mayores reservas en profundidad.

La geología del distrito, está compuesta por calizas de la Formación Chunumayo del Bajociano, la que se encuentra asociada a una estructura romboédrica. Luego se tienen areniscas y conglomerados del Paleoceno-Eoceno de la Formación Casapalca, lavas y piroclastos del Grupo Sacsaquero del Eoceno superior, sobreyacidos por las lavas, piroclastos y domos de la Formación Apacheta del Mioceno superior.

Cuerpos subvolcánicos de composición dacítica, de probable edad miocénica, se encuentran intruyendo a rocas de la Formación Chunumayo y posiblemente estén asociados con la mineralización del proyecto El Milagro.

Las formas de emplazamiento de mineralización son en brechas y vetas de dirección NE-SO, alojadas en las calizas de la Formación Chunumayo y en las capas rojas de la Formación Casapalca respectivamente. La característica principal de las brechas, es que afloran limitadamente en superficie, como islas independientes. Los cuerpos de brechas tectónicas con relleno hidrotermal presentan calcitización y remplazamiento parcial de calcita por baritina y en superficie presentan zonas de limonitización (Valdivia y Paullo 2006).

Las vetas polimetálicas, por lo general, tienen rumbo NE-SO con galena argentífera, esfalerita, calcopirita y sulfosales de Ag-Cu. En ocasiones el emplazamiento de las vetas ha provocado un halo de alteración argílica en la roca caja.

7.1.10 Proyectos epitermales de alta sulfuración

Los proyectos epitermales de alta sulfuración se encuentran entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica (Figura 7.1). Actualmente, esta zona está explorada por mineralización aurífera y no existen minas ni proyectos de exploración avanzada. Aquí se tienen los proyectos Huamanraso, Terciopelo, Arcopunco y Carhuarazo, todos explorados por oro.

Por las características geológicas, mineralógicas y geoquímicas encontradas en superficie, constituyen prospectos epitermales del tipo alta sulfuración (Valdivia y Meza, 1998). Estos depósitos presentan, en su parte central, aureolas de alteraciones silíceas y argílica avanzada, asociadas a brechas freatomagmáticas y explosivas (Valdivia y Meza, 1998). El oro se encuentra asociado a pirita, oropimente, enargita en trazas y las alteraciones son silicificación, cuarzo-alunita, *vuggy silica*, illita-sericita, argílica y argílica avanzada.

El control estructural principal está dado por fallas tensionales de dirección NE-SO, causadas por el movimiento sinistral del sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa-Huancavelica. A través de estas fallas tensionales se han emplazado centros volcánicos relacionados con los depósitos auríferos, cuyas fuentes volcano-magmáticas están vinculadas a intrusiones tardías entre 12 y 7 Ma (Valdivia y Meza, 1988).

Una datación de alunita por Ar/Ar, en el proyecto Huamanraso indica edades entre 7 y 6 Ma (Chenau, 1998), las que pueden ser asumidas tentativamente para todos los demás

proyectos auríferos. En consecuencia la mineralización aurífera en ese sector sería del Mioceno superior.

7.1.11 Proyectos auríferos relacionados con metales base emplazados en calizas

La mineralización aurífera relacionada con rocas calcáreas está representada por el proyecto Tucumachay que se encuentra al este del sistema de fallas Chonta (Figura 7.1). La geología en los alrededores de Tucumachay esta caracterizada por la calizas de la Formación Chunumayo del Jurásico medio (en otros estudios considerada como Formación Condorsinga), areniscas de la Formación Cercapuquio y las calizas de la Formación Chaucha, ambas del Jurásico medio. Estas tres unidades estratigráficas, se encuentran plegadas formando el anticlinal Saturno. Dentro del área del proyecto Tucumachay se encuentran rocas intrusivas emplazadas como *stocks* y diques de composición diorítica y riolítica, las cuales afloran en el eje del anticlinal Saturno.

La mineralización es de tres tipos (Blackwell et al., 2005 y Fernández-Baca et al., 2006). La primera mineralización es de tipo contacto, encuentra en la parte superior de la Formación Chunumayo, muy cerca al contacto con la Formación Cercapuquio. Los resultados analíticos muestran contenidos sobre 50 ppb de oro. Se encuentran jasperoides por remplazamiento a lo largo de planos de estratificación, *joins* y fracturas; localmente asociadas con baritina, oropimente y rejalgar. Geoquímicamente, la mineralización es elevada en arsénico, antimonio, mercurio y talio (Blackwell et al., 2005).

La segunda, mineralización del tipo Cerro Oeste, se caracteriza por encontrarse en las lodolitas grises que sobreyacen las calizas de la Formación Chunumayo. Las lodolitas están brechadas y a su vez deformadas por una serie de fallas inversas. Se observa abundante material carbonoso en las zonas de más alta ley. No se observa sílice. Se tiene también oropimente y asociación geoquímica Au-As-Hg-Tl±Ag. Las leyes de oro están entre 0.4-5 g/t (Fernández-Baca et al., 2006).

La tercera mineralización, es de tipo brecha, donde los sulfuros son difíciles de encontrar, sin embargo se han reconocido granos finos de pirita y/o oropimente. Geoquímicamente, es similar a la mineralización de tipo contacto (Blackwell et al. 2005).

En general los valores más altos de oro se encuentra asociada a silicificación, pirita, rejalgar y oropimente y geoquímicamente está asociada con valores altos de plata, arsénico, antimonio talio y mercurio (Blackwell et al., 2005).

Aunque existen numerosas evidencias de mineralización aurífera en calizas en el Perú, Tucumachay es uno de los primeros prospectos de este tipo en ser explorado de forma agresiva. La alteración, geoquímica y geología tienen muchas similitudes, pero también diferencias, con algunos de los depósitos Carlin de Nevada (Fernández-Baca et al., 2006)

7.2 EL SISTEMA DE FALLAS CHONTA EN EL CONTEXTO DEL MAPA METALOGENÉTICO DEL PERÚ

Parte de las actividades del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es la constante actualización del mapa metalogenético del Perú con relación a los grandes sistemas de fallas y las grandes unidades geológicas. Los sistemas de fallas son las rutas principales para el ascenso de magmas y por lo tanto de mineralización. El presente estudio

a contribuido para dividir la faja metalogenética de depósitos epitermales del Oligoceno-Plioceno (Quispe et al, 2007) en las fajas metalogenéticas XXI y XXIII (Figura 7.2; Quispe et al., 2008) los cuales pasaremos a describir a continuación.

El sistema de fallas Chonta, se encuentra al límite de las franjas metalogenéticas XXI y XXIII (Quispe et al., 2008) de la figura 7.2A y corresponden a la franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno (Franja XXI) y a la franja depósitos epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno (Franja XXIII).

7.2.1 Franja XXI

La Franja XXI corresponde a los depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno (Quispe et al., 2008), entre 10°-13°30' S. Sus principales controles estructurales son los sistemas de fallas Chonta y Conchao-Cocachacra con dirección NO-SE, situados al oeste; los sistemas de fallas Cerro de Pasco-Ayacucho y La Oroya-Huancavelica con dirección N-S, localizadas al este; mientras que al sur es el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas con dirección E-O.

Esta franja agrupa a depósitos de Au-Ag (Pb-Zn-Cu) tipo alta, baja e intermedia sulfuración. Según las edades de mineralización, se les puede subdividir en dos épocas metalogenéticas de 18-13 Ma y 12-8 Ma (Quispe et al., 2008).

Asociado al sistema de fallas Chonta, en la zona de estudio, la mineralización existente corresponde a la segunda época entre 12-8 Ma. Entre las fallas Jatumpata, Huachocolpa-Huancavelica y el sistema de fallas Chonta, (Figura 7.2), se encuentra el proyecto Tucumachay dentro de la Formación Chunumayo del Jurásico medio; mientras que cerca de la unio del sistema de fallas Chonta y Julcani-Huancayo (Figura 7.2), se tienen epitermales de Pb-Zn-Ag de baja a intermedia sulfuración como Julcani, Palomo, San Genaro, Huachocolpa, Caudalosa Grande, Caudalosa Chica y los proyectos auríferos de alta sulfuración como Arcopunco, Terciopelo y Huamanraso (Figura 7.2B).

7.2.2 Franja XXIII

La Franja XXIII está caracterizada por depósitos epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno (Quispe et al., 2008) se extiende en el dominio volcánico de la Cordillera Occidental del centro-sur del Perú (12°30'-18°00' S). La mineralización de Au-Ag está relacionada con la actividad magmática Mio-Pliocena. El control estructural al este, son fallas NO-SE, tal es así que en el centro del Perú el control es el sistema de fallas Chonta (Figura 7.2), y en el sur son los sistemas de fallas Abancay-Condoroma-Caylloma y Cincha-LLuta.

La mineralización está registrada entre 7 y 1 Ma, y constituida principalmente por epitermales de Au-Ag de alta sulfuración, con excepción del depósito de Ag-Au de Arcata, de baja sulfuración (5.4 Ma, Candiotti et al., 1990, además del depósito de Pb-Zn-Ag de Recuperada de intermedia sulfuración (6.4 Ma, Noble & McKee, 1999). Los depósitos epitermales de Au-Ag de alta sulfuración de la zona de estudio que se distribuyen en esta franja son Picomachay y Corihuarmi (Figura 7.2B).

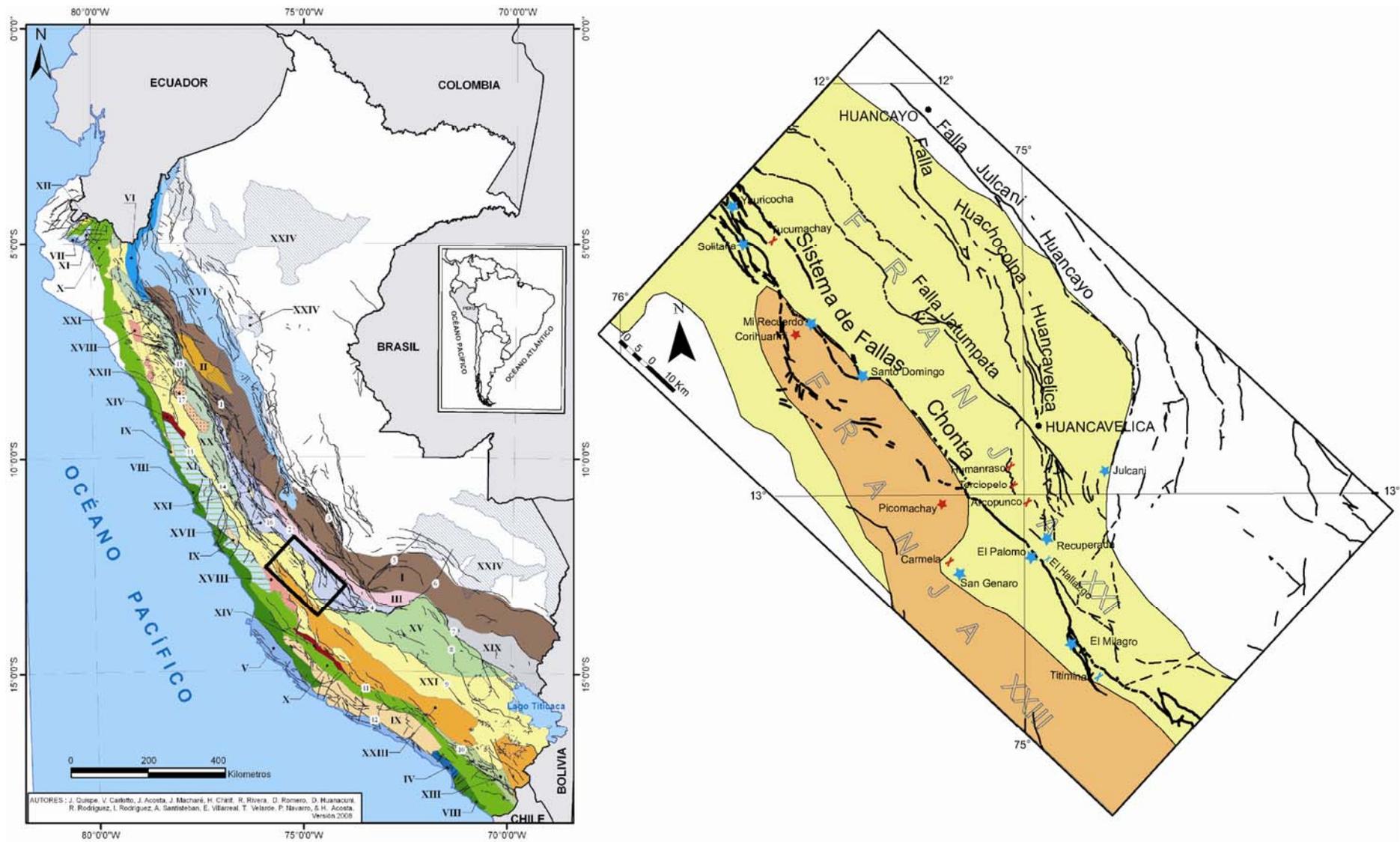


Figura 7.2: (A) Mapa Metalogénico del Perú, Quispe et al., 2008 (B) Influencia del sistema de fallas Chonta en las franjas metalogénicas

8. CONCLUSIONES

- 1 El sistema de fallas Chonta correspondería al límite del Basamento de La Amazonía (Incluyendo el Complejo Metamórfico del Marañón) y el Basamento de Paracas. Al sur, el sistema de fallas Chonta se une al sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos, el mismo que representaría el límite del Basamento de Arequipa con los basamentos de la Amazonía y Paracas.
- 2 El sistema de fallas Chonta, desde el Jurásico medio al Cretácico superior, ha tenido movimiento normal y era el límite occidental de un alto estructural formado por el sistema de fallas Chonta y las fallas Jatumpata y Huachocolpa-Huancavelica. A consecuencia de la actividad tectónica en el Jurásico superior, se tiene una cuenca marina al occidente (Formación Chicama del Jurásico superior) y un sistema de ríos distales cercanos a la costa (Formación Cercapuquio del Jurásico superior).
- 3 Desde el Mioceno superior, a partir de 10.4 Ma, en la zona de estudio se originan movimientos transcurrentes con componente vertical. En el sistema de fallas Chonta se diferencian 4 sectores asociados a eventos magmáticos y mineralización. Tres de estos sectores forman estructuras romboédricas y un sector forma una zona de tensión entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa Huancavelica. Desde esta época se han registrado dos eventos cinemáticos.
- 4 El evento I, tentativamente es subdividido en tres subeventos. El evento IA (10.4 y 8 Ma), corresponde a las primeras manifestaciones de volcanismo y la etapa de apertura de estructuras en transtensión (zonas 1, 2 y 4) y zona de fallas tensionales entre el sistema de fallas Chonta y la Falla Huchocolpa-Huancavelica. El Evento IB (8 y 6 Ma) corresponde a la etapa de mayor mineralización aurífera y polimetálica, también hay magmatismo. El evento IC (6-3.7 Ma) corresponde a las últimas etapas de mineralización y volcanismo en el distrito minero de Huachocolpa.
- 5 El evento II (menor de 3.7 Ma) corresponde a movimientos dextrales del sistema de fallas Chonta; provoca que las zonas de transtensión sean ahora zonas de transpresión y consecuentemente se cierran los sistemas estructurales propicios para el emplazamiento de volcanismo y mineralización.
- 6 El tipo de mineralización polimetálica dentro del sistema de fallas Chonta (minas Yauricocha, Solitaria y proyecto El Milagro) corresponde a cuerpos mineralizados y presenta mayor enriquecimiento de tierras raras pesadas (HREE) en comparación con otros depósitos. En cambio la mineralización polimetálica a ambos lados del sistema de fallas Chonta, corresponde a vetas de dirección NE-SO (minas San Genaro, Recuperada, Caudalosa, proyecto Titiminas, etc).
- 7 La mineralización aurífera se presenta en depósitos diseminados del tipo alta sulfuración (Corihuarmi, Picomachay, Arcopunco, Terciopelo y Huamanraso) y en depósitos relacionados a reemplazamiento de calizas con cierta analogía a un yacimiento del tipo Carlín (Tucumachay y al norte de la mina Yauricocha).
- 8 El enriquecimiento de las tierras raras livianas y pesadas (LREE y HREE) en los depósitos auríferos, es mayor en los depósitos con menores contenidos de oro (Arcopunco, Terciopelo y Huamanraso), lo que puede deberse a que los fluidos son de mayor

temperatura y mayor pH, en comparación con los fluidos de los depósitos más ricos en Au (Picomachay y Tucumachay).

9 La anomalía negativa de europio en los depósitos auríferos puede ser un indicador para la exploración aurífera, así mientras se tenga mayor contenido de oro, la anomalía negativa de europio se hace más discreta e incluso no está presente; en cambio cuando se tiene anomalía positiva los yacimientos son pobres en Au.

10 Los sulfuros de las minas polimetálicas en producción, presentan anomalía positiva de europio cuando se encuentran a ambos lados del sistema de fallas Chonta, y anomalía negativa cuando están dentro del sistema de fallas Chonta.

11 Los factores de elementos traza determinados en los depósitos auríferos epitermales de alta sulfuración (Picomachay, Corihuarmi, Arcopunco y Terciopelo), indican que en el bloque techo, los depósitos se encuentran por encima del nivel de ebullición de un sistema epitermal. En el mismo sistema de fallas Chonta, los depósitos se encuentran sobre el nivel de ebullición con algunas intervenciones de fluidos de un sistema de pórfido. En el bloque piso, los depósitos corresponden a zonas bajas de un sistema epitermal, y además presentan más intervención de fluidos de un sistema del tipo pórfido, lo cual conlleva a la interpretación que los depósitos epitermales de alta sulfuración se encuentran más erosionados en el bloque piso. Esta interpretación también es corroborada con los ratios Mo/Ag-Cu/Au.

12 El enriquecimiento del cromo en los depósitos epitermales de alta sulfuración, es mayor en los depósitos ubicados en el mismo sistema de fallas Chonta y en el bloque piso. El cromo es asimilado por la composición primaria del depósito, por tal representa diferentes substratos a ambos lados del sistema de fallas Chonta y coincide con las provincias isotópicas de plomo y estroncio.

El presente estudio ha contribuido para determinar los límites de las franjas XXI y XXIII del nuevo mapa metalogenético del Perú 2008 (INGEMMET). Estas corresponden a los depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno (Franja XXI) y a la franja de depósitos epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno (Franja XXIII).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLMENDINGER, R. 1989. Notes on Fault Slip Analysis. Prepared for the Geological Society of America Short Course on "Quantitative Interpretation of Joints and Faults" November 4 & 5, 1989. Department of Geological Sciences Cornell University Ithaca, New York.
- ALLMENDINGER, R., JORDAN, T., KAY, S., y ISACKS B. 1997. The evolution of the Altiplano- Puna Plateau of the Central Andes. *Annual Reviews Earth Planetary Sciences*, v.25, pp. 139-174.
- ÁLVAREZ, A. y NOBLE, D. 1988. Sedimentary rock-hosted disseminated precious metal mineralization at Purísima Concepcion, Yauricocha district, Central Perú. *Economic Geology*, vol. 83, n. 7, pp. 1368-1378
- ÁLVAREZ A. y NOBLE, D. 1990. Mineralización de metales preciosos diseminados (alojados en yacimientos de Purísima Concepción, distrito de Yauricocha, Centro del Perú). Centro de Estudios y Promoción de Ciencias de la Tierra, Lima, El Oro: aspectos sobre formulación de proyectos, aspectos sobre exploración, tecnología de extracción y procesamiento, industrialización. . Lima. pp. 106-119
- ÁNGELES, C. 1987. Les chevauchements de la Cordillere Occidentale par 12°15'S (Andes du Pérou Central). Université Des Sciences Et techniques Du Languedoc. Académie De Montpellier. 184 p.
- BLACKWELL, J., FOSTER, J. y MOSHER, G. 2005. Tucumachay project. Departement oj Junín and Lima. Exploration report Gitennes Exploration Inc. 22p. <http://www.infomine.com/index/pr/Pa228017.PDF>
- BOSCH, M. y RODRÍGUEZ, I. 1992. North Venezuelan collisional crustal block, the boundary between the Caribbean and South American plates: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 6, p. 133-143.
- CABOS, J. 2005. Potencial minero en la región Huancavelica. Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (inédito)
- CALDAS, J., 1978. Geología de los Cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca, Hojas: 31-m, 31-n, 32-n. Boletín N° 30 Serie A. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 78 p.
- CANCHAYA, S. 2000. Caracterización geoquímica multielemental en la exploración de yacimientos polimetálicos. Universidad Nacional de Ingeniería, Seminario Metalogenia y Exploración de Yacimientos Polimetálicos. Lima. pp. 205-217.
- CANDIOTTI, H., NOBLE, N., y MCKEE, E. 1990. Geologic setting and epithermal silver veins of the Arcata district, southern Peru. *Economic Geology*, vol. 85, n. 7, pp. 1473-1490.
- CARLIER, G., LORAND, J., LIÉGEOIS, J. P., FORNARI, M., SOLER, P., CARLOTTO, V. y CARDENAS, J. 2005. Potassicultrapotassic mafic rocks delineate two lithospheric mantle blocks beneath the southern Peruvian Altiplano. *Geology*, 33, 601-604.
- CARLOTTO, V., CÁRDENAS, J. y CARLIER, C., 2008a. The lithosphere of Southern Peru: A result of the accretion of allochthonous blocks during the Mesoproterozoic. 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts: 105-108. In press.
- CARLOTTO, V., CÁRDENAS, J., BÁEZ, C Y RODRÍGUEZ, R. 2008b. Alto estructural Totos-Paras (Ayacucho): Limite paleogeográfico en la evolución mesozoica de las cuencas Arequipa y Pucara. XIII Congreso Latinoamericano de Geología. En prensa.
- CHACALTANA, C., MORALES, M., y RODRÍGUEZ, R. 2004. Estratigrafía del Cenozoico Inferior en la cuenca Ayacucho, Andes del Perú Central: revisión litoestratigráfica y evidencia de Nitellopsis (Charophyta). Dávila Burga, Jorge, ed., Carlotto Caillaux, Víctor Santiago, ed., Chalco Luna, Alejandro Antonio, ed., Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2004, p. 428-431. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial
- CHENAUX, A., 1998. Le district aurifère épithermal "high sulfidation" de Huamanraso, Pérou: Géologie, géochronologie 40Ar/39, caractérisation isotopique de l'altération (S,O,H), Diplôme d'Ingenieur géologue, 90 p.
- CHEW, M., SCHALTEGGER, U., KOŠLER, J., WHITEHOUSE, M., GUTJAHR, M., SPIKINGS, R. y MIŠKOVIĆ, A. 2007. *GSA Bulletin*, Vol. 119, no. 5-6, p. 697-711.
- CLOOS, H. 1928. Experimente zur inneren Tektonik. *Zentralblatt für Mineralogie Geologie und Paläontologie*, v. 1928, p. 609-621.
- COBBING, E., OZARD, J. y SNELLING, M. 1977. Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of the Coastal Cordillera of Southern Peru. *GSA Bulletin*, Vol 88 pp. 241-246.

- CORBETT, G. y LEACH, T. 1998. Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralisation. Society of Economic Geologists Special. Publication 6, 234 p.
- CRUZAT, A. 1984. Prospección Geoquímica Aplicada a Yacimientos de Oro. Revista Geológica de Chile 21: 3-10.
- DALMAYRAC, B., LAUBACHER, G. y MAROCCO, R. 1977. Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes. Travaux et Documents de l'ORSTOM, no. 122, 501 p.
- DEWEY J. y BIRD 1970. Mountain belts and the new global tectonics, J. Geophys. Res., 75, p.2625-2647.
- EPPINGER, R. y GRAHAM, C. 1990. Variation of trace elements and rare earth elements in fluorite: a possible tool for exploration. Economic Geology, vol. 85, n. 8, pp. 1896-1907.
- FERNÁNDEZ-BACA, A., FOSTER, J., y BLACKWELL, J., 2006. Proyecto Tucumachay - Junín, un nuevo descubrimiento aurífero: oro en calizas del Grupo Pucará. Carlotto Caillaux, Víctor Santiago, ed., Cárdenas Roque, José Dionicio, ed., Soler, Pierre, ed., Jacay Huarache, Javier Pablo, ed., Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 732-734. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial
- FERNÁNDEZ-CONCHA, J., YATES, R. y KENT, D. 1952. Geología del Distrito mercurífero de Huancavelica. Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero. Boletín, n. 5, pp. 1-56.
- FIGUEIREDO, M. 1986 Introducao a geoquímica dos elementos terras raras. Universidade de Sao Paulo. Instituto de Geociencias. Boletín, n. 16, pp. 15-31.
- GANSSER A. 1973. Facts and theories on the Andes. Journal geological Society London, 129, 93-131.
- GILETTI, B. y DAY, H. 1968. Potassium-Argon Ages of Igneous Intrusive Rocks in Peru. Nature 220, 570 - 572
- GIRITHARAN, T. Y RAJAMANI, V. 2001. REE Geochemistry of ore zones in the Archean auriferous schist belts of the eastern Dharwar Craton, south India. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.), 110, No. 2. pp. 143-159.
- GUSTAFSON, L., VIDAL, C., PINTO, R. y NOBLE, D. 2004. Porphyry-epithermal transition, Cajamarca region, northern Peru. Sillitoe, Richard H., ed., Perelló, José, ed., Vidal Cobián, César E., ed., Andean metallogeny: new discoveries, concepts, and updates. . Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists, 2004, pp. 279-299 Society of Economic Geologists. Special Publication, n. 11
- GUTIÉRREZ, A. 2000. Dispersión Geoquímica Primaria y Metalogénesis de Depósitos Tipo Pórfido Cuprífero y Epitermal, Distrito Minero Agua de Dionisio, Argentina. Universidad Católica del Norte, Tesis de Magíster (inédita), 131p., Antofagasta.
- GUTIÉRREZ, A., CHONG D., G. y ESPINOZA R. 2006. Niveles de exposición de yacimientos del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Catamarca. Rev. Asoc. Geol. Argent. [online]. Apr./June 2006, vol.61, no.2 [cited 04 August 2008], p.269-278. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222006000200010&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0004-4822.
- HAEBERLIN Y. 2002. Geological and structural setting, age, and geochemistry of the orogenic gold deposit at the Pataz Province, Eastern Andean Cordillera, Peru. Genève Université. Département de Minéralogie, 182 p.
- HARDING, T.P. 1974. Petroleum traps associated with wrench faults. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 58, 1290-1304.
- HEATH, C. y CAMPELL, I. 2004. A new geochemical technique for gold exploration: alkali element mobility associated with gold mineralization in the west australian goldfields. Economic Geology, vol. 99, n. 2, pp. 313-324.
- HEDENQUIST, J., y ARRIBAS, A., JR. 1999. Epithermal gold deposits: I. Hydrothermal processes in intrusion-related systems. II. Characteristics, examples and origin of epithermal gold deposits. Society of Economic Geologists, Fieldtrip Guidebook, Mineralization of the Western Carpathians, v. 31, p. 14-63.
- INJOQUE, J., VALDIVIA, J., Y GARCÍA, L. 1994. Geología del distrito minero de Huachocolpa. VIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 1994, pp. 10-15.
- ISACKS, B. 1988. Uplift of the Central Andes plateau and bending of the Bolivian Orocline. Journal of Geophysical Research, Vol. 93, p. 3211-3231.

- JAILLARD, E. 2004. Evolución geológica del norte del Perú y del Ecuador (0°-7°S): claves para la estructuración de los Andes. XII Congreso Peruano de Geología. Lima. Dávila, J., ed., Carlotto, V., ed., Chalco, A., ed., Resúmenes extendidos. pp. 767-771. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial
- JAMES, D. 1971. Andean crust and upper mantle structure. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 76, p. 3246-3271.
- DEEN, J., RYE, R., MUÑOZ, J. y DREXLER, J. 1994. The magmatic hydrothermal system at Julcani, Peru: evidence from fluid inclusions and hydrogen and oxygen isotopes. *Economic Geology*, vol. 89, n. 8, pp. 1924-1938.
- JORDÁN, T., ISACKS, B., ALLMENDINGER, R., BREWER, J., RAMOS, V. y ANDO, C. 1983. Andean tectonics related to geometry of the subducted Nazca plate. *Geological Society of America. Bulletin*, vol. 94, n. 3, pp. 341-361.
- KELLOGG, J.N., y BONINI, W.E., 1982. Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate, *Tectonics*, v.1, pp. 251-276.
- KELSO I. 2006. Independent technical report Pico machay gold deposit Huancavelica province, Peru. Informe de Caracle Creek International Consulting Inc. para Absolut Resources Corp. <http://www.aquiline.com/SiteResources/data/MediaArchive/pdfs/technical%20reports/abs%20technical%20report%20oct%202006.pdf>
- KRANTZ, R. 1995. The transpressional strain model applied to strike-slip, oblique-convergent and oblique-divergent deformation. *Journal of Structural Geology*, Vol. 17, No. 8, pp. 1125-137
- KULM, L., PRINCE, R., FRENCH, W., JOHNSON, S., MASÍAS, A. 1981. Crustal structure and tectonics of the central Peru continental margin and trench. Nazca Plate: crustal formation and Andean convergence. *Geological Society of América*, 1981, pp. 445-468.
- LEVINSON, A. A. 1980. *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd. Wilmette, 924 p., Illinois.
- LEWIS, R. 1964. The geology, mineralogy and paragenesis of the astrovirreyna lead-zinc-silver deposits, Perú: U.S. Geological Open-File Report 64-726, 265p.
- LOEWY, S.L., CONNELLY, J.N., DALZIEL, I.W.D., 2004. An Orphaned Basement Block: The Arequipa-Antofalla Basement of the Central Andean margin of South America: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 116, p.171-187.
- MACFARLANE, A., MARCET, P., LEHURAY, A. y PETERSEN, U. 1990. Lead isotope provinces of the Central Andes inferred from ores and crustal rocks. *Economic Geology*, vol. 85, n. 8, pp. 1857-1880.
- MAMANI, M., TASSARA, A., WÖRNER G. 2007. Crustal domains in the Central Andes and their control on orogenic structures. *Colloquio Latin America Earth Science*, 20th, Kiel, pp. 27-28.
- MARTÍNEZ C., NOONE, D., CLEATH, R. 2006. Sistema epitermal de alta sulfuración en Pico Machay (Huancavelica) Carlotto Caillaux, Victor Santiago, ed., Cárdenas Roque, José Dionicio, ed., Soler, Pierre, ed., Jacay Huarache, Javier Pablo, ed., Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2006, pp. 747-750. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial
- MASÍAS, A. 1929. Geología de la región minera de Castrovirreyna. *Sociedad Geológica del Perú. Boletín*, n. 3, pp. 59-113, 1929
- MCCLAY, K. Y DOOLEY, T. 1995. Analogue models of pull-apart basins. *Geology*, v. 23, no. 8, pp. 711-714.
- MCKEE, E., NOBLE, D., PETERSEN, U., ARENAS, M. y BENAVIDES, A. 1975. Chronology of late Tertiary volcanism and mineralization, Huachocolpa district, Central Peru. *Economic Geology*, vol. 70, n. 2, pp. 388-390.
- MCKEE, E., y NOBLE, D. 1982. Miocene volcanism and deformation in the western Cordillera and high plateaus of south central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 93, n. 8, pp. 657-662.
- MÉGARD F., 1978. *Estudio Geológico de los Andes del Perú Central*. Inst. Geol. Min. y Met. Bol. N° 8 Serie D. Estudios Especiales.
- MÉGARD, F. 1973. *Etude géologique d'une transversale des Andes au niveau du Pérou central*. These doct., Univ. Sc. Tech. Languedoc, Montpellier, 263p.

- MÉGARD, F., MAROCCO, R., VICENTE, J., MUÑOZ, C., PASTOR, R., MÉGARD-GALLI, J. 1983. Apuntes sobre la geología de Lircay (Huancavelica-Perú Central). El plegamiento tardihercínico y las modalidades del plegamiento andino (Fase Quechua). Sociedad Geológica del Perú. Boletín, vol. 71, pp. 255-262
- MÉGARD, F., CALDAS, J., PAREDES, J. y DE LA CRUZ, N. 1996. Geología de los cuadrángulos de Tarma, La Oroya y Yauyos. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 69, iv, 293 p.
- MÉGARD, F., NOBLE, D., MCKEE, E. y BELLON, H. 1984 Multiple pulses of Neogene Compressive Deformation in the Ayacucho Intermontane Basin, Andes of central Peru. Geological Society of America Bulletin, vol. 95, n. 9, pp. 1108-1117.
- MEZA, J., INCA, S. Y VALDIVIA, J. 2002. Ocurrencias de cuerpos de reemplazamiento y skarn en el distrito minero de Huachocolpa. XI Congreso Peruano de Geología. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2002, p. 98.
- MICHARD, A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochemistry Cosmochim. Acta* 53. pp745-750
- MICHARD, A. y ALBARÈDE, 1986. The REE content of some hydrothermal fluids. *Chem. Geol.*, 55. pp 51-60.
- MORCHE, W. y LARICO, W. 1996b. Geología del cuadrángulo de Huancavelica. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 73, 172 p.
- MORCHE, W., LA TORRE V., DE LA CRUZ, N., CERRÓN, F. 1996a. Geología del cuadrángulo de Huachocolpa. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 63, iii, 132 p.
- MORGAN, J. y GREGORY, W. 1980 Rare earth element distribution in some hydrothermal minerals: evidence for crystallographic control. *Geochimica y Cosmochimica. Acta* Vol. 44 pp. 973 to 980. Pergamon Press. Great Britain
- NAKAMURA, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 38, Issue 5, pp.757-775
- NOBLE, C. 1995. Geological setting, deposit characteristics and genetic models, Huancavelica mercury district, central Peru. Sociedad Geológica del Perú, Volumen jubilar Alberto Benavides. Sociedad Geológica del Perú, pp. 231-237
- NOBLE, D. y SIBELBERMAN, M. 1984. Evolución volcánica e hidrotermal y cronología de K-Ar del distrito minero de Julcani. Sociedad Geológica del Perú, Volumen jubilar LX Aniversario, homenaje al Dr. Georg Petersen G.. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 1984, Fasc. 5, 35 p.
- NOBLE, D. y MCKEE, E. 1999. The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru Skinner, Brian J., ed., *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists, pp. 155-193 Society of Economic Geologists. Special Publication, n. 7
- NOBLE, D., MCKEE, E. y MÉGARD, F. 1979. Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of Central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 90, n. 10, pp. 903-907,
- NOBLE, D. y VIDAL, C. 1990. Association of silver with mercury, arsenic, antimony and carbonaceous material at the Huancavelica district, Peru. *Economic Geology*, vol. 85, n. 7, pp. 1645-1650.
- NURMI, P., BORNHORST, T. y KONTAS, E. 1997. Trace element signature of selected gold deposits in the Fennoscandian shield and the North American Continent. Papunen, Heikki, ed., *Mineral deposits: research and exploration where do they meet?*. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997, pp. 253-255
- PALACIOS, O. 1994. Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chocorvos y Paras. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, vol. 49, 116 p.
- PARK, C. y MAC DIARMID, R. 1964. *Ore Deposits*. Gilluly J., y A. O. Wood-ford (Eds). Freeman Co. San Francisco, 475 p.
- PETERSEN, U., NOBLE, D., ARENAS F., MARIO., GOODELL, P. 1977. *Geology of the Julcani mining district, Peru*. *Economic Geology*, vol. 72, n. 6, pp. 931-949.
- PETERSEN, U. 1965. Regional geology and major ore deposits of Central Peru. *Economic Geology*, vol. 60, n. 3, pp.407-476.
- PETERSEN, U. 1999. Magmatic and metallogenic evolution of the Central Andes. Skinner, Brian J., ed., *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists, 1999, pp. 109-153 Society of Economic Geologists. Special Publication, n. 7

- PETERSEN, U. Y VIDAL, C., 1996. Magmatic and tectonic controls on the nature and distribution of copper deposits in Peru. Camus, Francisco, Sillitoe, Richard H., Petersen, Richard, Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny. . Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists, pp. 1-18 Society of Economic Geologists. Special Publication, n. 5.
- PINTO, J. 1970. Geología de la Mina Yauricocha, en Geología de los yacimientos minerales operados por la Cerro de Pasco Copper Corporation. I Congreso Latinoamericano de Geología, pp 110-129. 20p.
- PINTO, R. 2002. Transición de un sistema de alta sulfuración a un sistema porfirítico de alto nivel en Kupfertal, distrito minero de Yanacocha, Cajamarca, Perú. Tesis de Ingeniero Geólogo. Universidad: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Escuela académico profesional de ingeniería geológica. 46 p.
- PIRAJNO, F. 1992. Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. Springer-Verlag, 709 p., Berlín Heidelberg.
- PITCHER, W., ATHERTON, M., COBBING, E. y BECKINSALE, R. 1985. Magmatism at a plate edge, the peruvian Andes. New York: John Wiley & Sons. 328p.
- QUISPE, J. 2006. Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytará-Tantará, Huancavelica (Perú). Tesis de Maestría. Universidad Complutense de Madrid. 88p
- QUISPE, J., CARLOTTO, V., CHIRIF, H., MACHARÉ, J. Y LU, S. 2007. Mapa Metalogenético del Perú. INGEMMET.
- QUISPE, J., CARLOTTO, V., ACOSTA, J., MACHARÉ, J., CHIRIF, H., RIVERA, R., ROMERO, D., HUANACUNI, D. Y RODRÍGUEZ, R. 2008. Mapa Metalogenético del Perú 2008. XIII Congreso Latinoamericano de Geología, XIV Congreso Peruano de Geología, en prensa.
- RADO, E. 1997. Potencial aurífero de la mina Yauricocha. Convención de Ingenieros de Minas, 23 Arequipa. Trabajos técnicos. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú 1997, tomo 1, pp. 15-22.
- RAMOS V. y BASEI MA. 1997. Gondwanan, Perigondwanan, and exotic terranes of southern South America. S. Am. Symp. Isotope Geol., 1st, Sao Paulo, pp. 250-52. Brazil: Univ. Sao Paulo
- RAMOS, V. A., 1999. Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. Episodes 22 (3): 183-190
- RAMOS, V. y ALEMAN, A. 2000. Tectonic evolution of the Andes. In: Cordani, U.G., et al. (Eds), Tectonic Evolution of South America. 31st Int. Geol. Cong., Rio de Janeiro, pp. 635-685."
- RAMOS, V. 1988. Late Proterozoic Early Paleozoic of South America a Collisional History. Episodes, 11,3:168174.
- RAMOS, V. 2008. The Basement of the Central Andes: The Arequipa and related Terranes, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Volume 36 (2008): In press"
- REED, M. H. y SPYCHER, N. F. 1985. Boiling, Cooling, and Oxidation in Epithermal Systems: a Numerical Modeling Approach. En Berger, B. R. and P. M. Bethke (eds.) Geology and Geochemistry of epithermal Systems, Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology 2: 249-272.
- RIEDEL, W. 1929, Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. Zentralblatt für Mineralogie Geologie und Paläontologie, v. 1929B, p 354-368.
- RODRÍGUEZ, O. y CCASA, N. 2002. Posibilidades de pórfidos de Au-Cu en los niveles profundos del yacimiento epitermal de alta sulfuración La Zanja - Cajamarca. XI Congreso Peruano de Geología. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2002, tomo 1, pp. 563-572.
- RODRÍGUEZ, R. y CHACALTANA, C. 2003. Actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1/50000. Cuadrángulo de la Ayacucho, hoja 27ñ-IV. Institutp Geológico Minero y Metalúrgico. Perú
- ROMERO, D. Y TORRES, V. 2003. Revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica (26-n), Escala 1:50 000. Lima INGEMMET. 28 p.
- ROPERCH, P., SEMPERE, T., MACEDO, O., ARRIAGADA, C., FORNARI, M., TAPIA, C., GARCÍA, M., y LAJ, C. (2006), Counterclockwise rotation of late Eocene–Oligocene fore-arc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the central Andes, Tectonics, 25, TC3010, doi:10.1029/2005TC001882.
- ROSAS, S. y FONTBOTÉ, L. 1994. Sedimentology of the Cercapuquio and Chaucha Formations (Central Peru). Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Développement en Cooperation, Symposium International "Geodynamique Andine", 15-17 Mai 1990, Grenoble, France. Résumés des Communications. Paris: Editions de l'ORSTOM 1990, pp. 261-264.

- ROSE, A. W., HAWKES, H. E. y WEBB, J. S. 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press Inc., Second Edition, 657 p., London
- SAAGER, R. y SINCLAIR, A. J. 1974. Factor analysis of stream sediment geochemical data from the Mount Nansen Area, Yukon Territory, Canada. *Mineral Deposita* 9: 243-252.
- SALAZAR, H. y LANDA, C. 1993. Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantara y Castrovirreyna. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, vol. 44, 96 p.,
- SANJUAN B, MICHARD A y MICHARD G 1988 Influence of the temperature of CO₂ -rich springs on their aluminium and rare earth contents, *Chemical Geology* 68. pp 57-67.
- SAWKINS, F. J. 1990. *Metal deposits in relation to plate tectonics*. 2nd Ed., Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg, New York. 461 p.
- SAWKINS, F.J., AND RYE, R.O., 1974, Fluid-inclusion and stable isotope studies indicating mixing of magmatic and meteoric waters, Caudalosa silver deposit, central Andes, Peru, in Bogdanov, B., Zhelyazkova-Panayotova, Kol'kovskiy, B., y Dragov, P., Eds., *Problems of ore deposition: Bulgarian Academy of Sciences, Symposium LAGOD, 4th, Varna, Sofia, v. II, pp. 110–116.*"
- SCHALTEGGER, U., CHEW, D. y MISKOVIC, A. 2006. Neoproterozoic to early mesozoic evolution of the western gondwana margin: evidence from the eastern cordillera of Peru. XIII Congreso Peruano de Geología. Conferencias..
- SÉBRIER, M. y SOLER, P. 1991. Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from Late Oligocene time to the present: in Harmon, R.S. and Rapela, C.W., eds, *Andean magmatism and its tectonic setting*, Geological Society of America Special Paper, v. 265, p. 259-276.
- SHACKLETON, B. BIES, A., COWARD, M. y COBBOLD, P. 1979. Structure, metamorphism and geochronology of the Arequipa Massif of coastal Peru. *Journal of the Geological Society, London, Vol136*, pp 195-214.
- SHENBERGER D. y BARNES H. 1989 Solubility of gold in aqueous sul de solutions from 150 to 350 C, *Geochim.Cosmochim.Acta* 53 269. pp 278
- SIEGEL, F.1992. *Geoquímica aplicada*. Secretaría General de la OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 170 p.
- SILBERMAN, M. y BERGER, R. 1985. Relationship of Trace-Element Patterns to Alteration and Morphology in Epithermal Precious-Metal Deposits. En Berger, B. R. y Bethke, P. M. (eds.) *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*, Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology* 2: 203-232.
- SILLITOE, R. 1997. Characteristic and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-pacific region,
- SKINNER, B. 1979. The Many Origins of Hydrothermal Mineral Deposits. 2nd Edition, pp. 1-21. in H. L. Barnes (ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. John Wiley, New York.
- SOLER, P. y LARA, M. 1990. Minor and trace elements in the polymetallic stratabound ore deposits of the Central Peruvian Andes. Fontboté, Lluís, ed., Amstutz, Gerhardt Christian, ed., Cardozo Goytizolo, Luis Miguel, ed., Cedillo Pardo, Esteban, Frutos J., José, ed., *Stratabound ore deposits in the Andes*. Berlín: Springer-Verlag, 1990, pp. 735-748 Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Special Publication.
- SOLER, P. 1982. Comentario sobre la distribución de elementos menores y trazas. (Ag, Bi, Hg, Se, Cd, In, Ge, Ga, Sn) en los yacimientos de Pb-Zn del Perú Central. Congreso Latinoamericano de Geología, 5 Buenos Aires 1982, Actas. Buenos Aires: Servicio Geológico Nacional, pp. 159-175.
- SOLER, P. 1986. La province polymétallique des Andes du Pérou central: synthese géologique. *Chronique de la Recherche Minière*, vol. 482, pp. 39-54.
- SOLER, P. 1991. Contribution a l'étude du magmatisme associé aux marges actives: pétrographie, géochimie et géochimie isotopique du magmatisme Crétacé a Pliocène le long d'une transversale des Andes du Pérou central. Université Pierre Et Marie Curie. Thesis de doctor. Université Pierre Et Marie Curie. 2 tomos 846 p.
- SOULAS, J. 1977. Las fases tectónicas del Terciario superior en Perú corte Ayacucho-Pisco. *Sociedad Geológica del Perú. Boletín*, n. 57-58, pp. 59-72, 1977
- SZEKELY, T. 1969. Structural geology, Cochabamba to Yauricocha, Central High Andes, Peru. *A.A.P.G. Bulletin*, vol. 53, n. 3, pp. 553-567

- STERN, C. Y KILIAN, R. 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123: 263-281.
- STERN, C., 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Rev. geol. Chile*. [online], vol.31, no.2 [citado 09 Julio 2008], p.161-206. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-02082004000200001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0716-0208.
- STEWART, J., EVERNDEN, J. & SNELLING, N. 1974. Age determinations from Andean Peru: a reconnaissance survey. *Bull. geol. Soc. Am*, 85, 1107-16.
- SZEKELY, T.. 1969. Structural geology, Cochabamba to Yauricocha, Central High Andes, Peru Fuente: A.A.P.G. Bulletin, vol. 53, n. 3, pp. 553-567."
- THOMPSON, J. F. H. 1993. Application of Deposit Models to Exploration. En *Mineral Deposit Modeling*, Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe R. I., y Duke, J. M. (eds.) GAC Special Paper 40: 42-51.
- THOMSON, D. 1960. The Yauricocha sulphide deposits, Central Peru. Tesis Doctoral. Imperial College. London, 164 p.
- THORNBURG T, KULM, L. 1981. Sedimentary basins of the Peru continental margin: structure, stratigraphy, and Cenozoic tectonics from 6°S to 16°S latitude. *Geological Society of America Mem.* 154:393-422
- THORPE R., FRANCIS P., y HARMON R.1981. Andean andesites and crustal growth. *Phil Trans R. Soc. Lond.* A301, 305-20.
- THORPE, R. 1984. The tectonic setting of active Andean volcanism, in Harmon, R. and Barreiro, B. eds, *Andean Magmatism*, Cheshire, Shiva Pub. Ltd., pp. 4-8.
- VALDIVIA, J. Y MEZA, J. 1998. Mineralización de oro relacionada a los Volcánicos Terciarios en la región de Huancavelica. Tercer Simposium Internacional del Oro. Conferencias. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 1998, pp. 400-407.
- VALDIVIA, J. Y PAULLO, J., 2006. Mineralización polimetálica en el extremo sur de los afloramientos del Pucará, en la región de Huancavelica. Carlotto Caillaux, Víctor Santiago, ed., Cárdenas Roque, José Dionicio, ed., Soler, Pierre, ed., Jacay Huarache, Javier Pablo, ed., Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 816-819. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial
- VALDIVIA, N. 1996. Geologia e metalogenia da mina Yauricocha (Cu-Pb-Zn-Ag) Perú-Central. Tesis de Maestría. Universidade De Brasilia. Instituto De Geociências. Brasilia. 78 p.
- VALENCIA, M. y ATENCIO E. 2003. Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Paras (28-n), Escala 1:50 000. Lima:INGEMMET, 2003
- VIDAL, C. Y NOBLE, D. 1994. Yacimientos hidrotermales controlados por magmatismo y estructura en la región central del Perú. XII Congreso Peruano de Geología. Lima. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú, pp. 48-52.
- WALDRON, J. 2005. Extensional fault arrays in strike-slip and transtension. *Journal of Structural Geology*, tomo 27. pag 23-34. 12p.
- WESTERMANN, G. RICCARDI, A., PALACIOS, O. y RANGEL, C. 1980. Jurásico Medio en el Perú. Boletín N° 9 (D), INGEMMET, 47 p.
- WISE, J. 2005. Undulatory Silver-Rich Polymetallic Veins of the Castrovirreyna District, Central Peru: Fault Growth and Mineralization in a Perturbed Local Stress Field. *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 100, pp. 689-705.
- WISE, J., y NOBLE, D. 2001. La falla Chonta del Perú central-una falla inversa con reactivación de rumbo sinistral respondiendo a un cambio de la oblicuidad relativa de convergencia de las placas tectónicas. *Sociedad Geológica del Perú. Boletín*, Vol. 92, pp. 29-41.
- YPARRAGIRRE, J. 2005. Secuencias paragenéticas, alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas de la veta Bienaventurada, mina Bienaventurada, Huachocolpa - Huancavelica. Tesis de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica. 128p.