

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



## **“CONTROLES GEOLÓGICOS - ESTRUCTURALES DE LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA EN EL SISTEMA DE VETAS DE LA MINA ORIÓN CHALA - AREQUIPA”**

**TESIS PARA OPTAR:**

**EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentada por: José Michael Santos Cisneros**

LIMA – PERÚ

Octubre 2009

**A MI FAMILIA Y AMIGOS QUE COLABORARON EN LA  
CULMINACIÓN DE ESTE PROYECTO.**

## **AGRADECIMIENTOS**

El estudio para optar el título profesional de ingeniero geólogo titulado: **Controles Geológicos - Estructurales de la Mineralización Aurífera en el Sistemas de Vetas de la Mina Orión – Chala (Arequipa)**, no habría sido posible sin el apoyo de Compañía Minera Orión (hoy, Analítica Mineral Services S.A.C); por la tanto mi mayor muestra de gratitud al gerente general Ingeniero Bernardo Álvarez Calderón, al gerente de operaciones Gregorio Llanos Villarreal.

A los profesionales del departamento de geología, Luis Mostaceros y a todo el equipo de trabajo, al superintendente de operaciones Carlos Ayala.

Al Dr. José Macharé, por el continuo seguimiento de mi trabajo y las apropiadas recomendaciones realizadas acerca del objetivo y desarrollo del estudio.

Al ingeniero Alfonso Huamán, asesor UNI, por las observaciones pertinentes e interesantes acerca del trabajo.

Al Dr. Humberto Chirif asesor de tesis externo INGEMMET, por al apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Jorge Merino Morante, geólogo senior de Exploandes S.R.L, por las interesantes observaciones y guías de campo efectuadas para el mejoramiento del presente estudio.

Al Master Jorge Quispe Cangana, por el constante apoyo y recomendaciones importantes en la evaluación de las características estructurales observadas en el campo.

# **CONTROLES GEOLÓGICOS ESTRUCTURALES DE LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA EN EL SISTEMA DE VETAS DE LA MINA ORIÓN, CHALA - AREQUIPA**

**PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO PRESENTADO POR EL BACHILLER JOSÉ  
SANTOS CISNEROS**

## **ASESORES:**

- **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**
  - **DOCTOR JOSÉ MACHARÉ ORDOÑEZ**  
**PROFESOR ESCUELA PROFESIONAL DE GEOLOGÍA – UNI**  
**Exploandes S.R.L - Consultor**
  - **ING. ALFONSO HUAMÁN**  
**PROFESOR ASOCIADO ESCUELA PROFESIONAL DE**  
**GEOLOGÍA - UNI**
- **INGEMMET**
  - **DOCTOR LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA**  
**DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO GEOLOGÍA ECONÓMICA**

# **CONTENIDO**

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
----------------	----------

## ***CAPITULO I: GENERALIDADES***

<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
<b>1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>2</b>
<b>1.5 ANTECEDENTES HISTÓRICOS</b>	<b>4</b>
<b>1.6 UBICACIÓN Y ACCESO</b>	<b>5</b>
<b>1.7 PROPIEDAD SUPERFICIAL</b>	<b>5</b>

## ***CAPITULO II: CONTEXTO GEOLÓGICO TECTÓNICO REGIONAL***

<b>2.1 EL BATOLITO DE LA COSTA SUR EN LOS ANDES DEL PERÚ CENTRAL</b>	
<b>2.1.1 COMPLEJO BELLA UNIÓN</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2 DACITA MOLLES</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3 GABROS</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4 SÚPER UNIDAD LINGA</b>	<b>9</b>
<b>2.1.5 SÚPER UNIDAD PAMPAHUASI</b>	<b>9</b>
<b>2.1.6 SÚPER UNIDAD INCAHUASI</b>	<b>10</b>
<b>2.1.7 SÚPER UNIDAD TIABAYA</b>	<b>11</b>
<b>2.1.8 COMPLEJO SANTA RITA</b>	<b>12</b>
<b>2.1.9 INTRUSIVOS CENOZOICOS</b>	<b>12</b>

<b>2.2</b>	<b>EVOLUCIÓN ESTRATIGRAFICA</b>	
2.2.1	MESOZOICO	
2.2.1.1	VOLCÁNICOS CHOCOLATE	14
2.2.1.2	FORMACIÓN YUNCACHACA	14
2.2.1.3	FORMACIÓN GUANEROS	14
2.2.1.4	FORMACIÓN YAUCA	14
2.2.1.5	FORMACIÓN MURCO	15
2.2.1.6	FORMACIÓN ACURQUINA	15
2.2.2	CENOZOICO	
2.2.2.1	FORMACIÓN HUANCA	15
2.2.2.2	FORMACIÓN PARA	15
2.2.2.3	GRUPO TACAZA	15
2.2.2.4	FORMACIÓN PISCO	15
2.2.2.5	FORMACIÓN MILLO	16
2.2.2.6	VOLCÁNICO SENCCA	16
2.2.2.7	FORMACIÓN CAPILLUNE	16
2.2.3	DEPÓSITOS CUATERNARIOS	
2.2.3.1	GRUPO BARROSO	16
2.2.3.2	TERRAZAS MARINAS	16
2.2.3.3	FORMACIÓN SARA SARA	16
2.2.3.4	DEPÓSITOS MORRÉNICOS	16
2.2.3.5	DEPÓSITOS RECIENTES	16
2.3	CONTEXTO TECTÓNICO	18
2.3.1	LINEAMIENTOS REGIONALES	19
2.3.1.1	LINEAMIENTOS FOTOINTERPRETADOS	
2.3.1.2	SISTEMAS DE FALLAS REGIONALES	
2.4	GEOLOGÍA ECONÓMICA DEL BATOLITO DE LA COSTA: FRANJA NAZCA – OCOÑA	22

### **CAPITULO III: GEOLOGÍA DEL ÁREA DEL DEPÓSITO AURÍFERO ORIÓN**

3.1	ESTRATIGRAFÍA Y MAGMATISMO	28
3.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	36
3.3	ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN	41
3.4	PAREGÉNESIS Y EVENTOS DE MINERALIZACIÓN	50
3.5	CONTROLES DE MINERALIZACIÓN	52

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA MINA ORIÓN**

<b>4.1 ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL SISTEMA DE VETAS</b>	<b>53</b>
<b>4.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO</b>	<b>56</b>

## **CAPITULO V: INTERPRETACIONES**

<b>5.1 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y FASES DE DEFORMACIÓN EN LA MINA ORIÓN – CHALA</b>	<b>75</b>
<b>5.2 RELACIÓN ENTRE LA TECTÓNICA REGIONAL Y LA MINERALIZACIÓN DEL PROSPECTO AURÍFERO – ORIÓN</b>	<b>79</b>

<b>ÁREAS DE INTERÉS PROSPECTIVO</b>	<b>81</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>90</b>

## **RELACIÓN DE PLANOS**

Mapa 01: Topográfico y Limite de Propiedades a escala 1/10000.

Mapa 02: Geológico – Estructural Distrital, escala 1/10000.

Mapa 03: Alteraciones y Mineralización Distrital, escala 1/10000.

Mapa 04: Compósito de Labores y Estructural Local, escala 1/1000.

Mapa 05: Sección Transversal 4 – 4”, escala 1/2500.

Mapa 06: Sección Transversal 5 – 5”, escala 1/2500.

## **RELACIÓN DE FIGURAS y TABLAS**

Tabla 1: Cuadro resumen de actividades realizadas

Tabla 2: Concesiones Mineras Orión, Tauro N<sup>o</sup>1 y Tauro N<sup>o</sup>3, vigentes al 2009.

Tabla 3: Cuadro resumen de las súper unidades emplazadas en el segmento de Arequipa del Batolito de la Costa, (modificado: Wallace S. Pitcher, 1985).

Figura 1: Ubicación de la Mina Orión dentro de la faja Nazca – Ocoña.

Figura 2: Mapa mostrando la segmentación de las súper unidades del Batolito de la Costa y la distribución de los plutones, (Wallace S. Pitcher, 1985)

Figura 3: Distribución de las Súper unidades del batolito de la Costa, segmento de Arequipa, en relación a algunas dataciones (modificado Injoque, 2000).

Figura 4: Mapa geológico regional del distrito Minero, ubicación de la Mina Orión y dataciones radiométricas (modificado Injoque, 2000).

Figura 5: Mapa estructural regional, mostrando en color magenta los lineamientos interpretados, estos se relacionan a lineamientos importantes dentro del distrito minero Orión.

Figura 6: Ubicación de Minas y ocurrencias de Au – Cu de la franja Palpa – Ocoña y relación a pórfidos de Cu (modificado Injoque, 2000/ Pitcher 1985).

Figura 7: Modelo esquemático de la transición de niveles hipotermales – mesotermales – epitermales, mostrando ensambles de mineralización y alteración (Corbett and Leach, 1997).

Figura 8: Mapa Regional de Franjas Metalogenéticas, mostrando la ubicación de la Mina Orión dentro de la franja de yacimientos mesotermales de Au-Pb-Zn del Pérmico, (modificado INGEMMET, 2007).

Figura 9: Columna estratigráfica local, Mina Orión.

Figura 10: Mapa geológico – estructural distrital de la Mina Orión, Chala - Arequipa.

Figura 11: Derecha, diagrama de rosetas, muestra clara tendencia N30<sup>o</sup>-50<sup>o</sup>E de estructuras mineralizadas y N10<sup>o</sup>-50<sup>o</sup>E de fallas post mineralización. Izquierda, diagrama de contornos de puntos señala mayor preponderancia de tendencia NW sobre las NE corroborando el diagrama de rosetas.

Figura 12: Plano estructural, mostrando tendencia NE - SW post mineralización y tendencias NW – SE trend mineralizados.

Figura 13: Mapa de alteración y mineralización de la mina Orión y alrededores.



Figura 14: Cuadro paragenético preliminar de la Mina Orión, Chala - Arequipa

Figura 15: Vista en planta de las estructuras mineralizadas, mostrando las sigmoides y ramificaciones tipo rosario, Mina Orión.

Figura 16: Sección transversal, mostrando comportamiento sinuoso en la vertical, con ramificaciones tipo cola de caballo en superficie.

Figura 17: Tectoglifos (Quispe, 2006. et al Macharé 2001), A) Elemento estriador al cabo de la estría. B) Material triturado al cabo de la estría. C) Banqueta al cabo de la estría. D) Escama de Arrastre. E) Nichos de Arranque. F) Escama de arranque. G) Colas de Mineral. H) Lomos al abrigo. I) Planos onduladas: facetas estriadas VS. J) Cristalización al abrigo. K) Ridel R1. L) Ridel R2. M) Lunulas de Tracción. N) Lenticulaciones.

Figura 18: Modelo de Fracturación (Quispe, 2006). A) Modelo de fracturación de Ridel, R1 y R2, P: fallas de Skempton, T: fracturadas por tracción, S: esquistocidad. B) Modelo de fracturación tensional en zonas de cizalla (Dubé & Guha, 1992). C) Zona de Transtensión. D) Zona de Transpresión.

Figura 19: Veta falla Francia, Estereodigramas A) Fallas dextrales WNW – ESE y NNW – SSE. B) Fallas normales NW – SE y NNW – SSE.

Figura 20: Veta falla Francia, Estereodigramas C) Fallas Sinestrales NE - SW y dextrales NW - SE. D) Fallas Dextrales NE – SW.

Figura 21: Veta falla Bonanza, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW - SE y sinestrales NE - SW. B) Fallas normales NW – SE y WNW – ESE. D) Fallas dextrales NE – SW.

Figura 22: Veta falla Ana María, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. B) Fallas normales NW – SE y WNW – ESE. D) Fallas dextrales NNW – SSE.

Figura 23: Veta falla Burra Muerta, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. D) Fallas dextrales NE – SW.

Figura 24: Veta falla Gallera, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. D) Fallas dextrales NE – SW.

Figura 25: Veta falla Cristina, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. B) Fallas normales NW – SE.

Figura 26: Mina Orión, Esquema conceptual de los esfuerzos compresivos efectivos en la primera fase de deformación y las estructuras resultantes observadas dentro del área de estudio.

Figura 27: Mina Orión, modelo esquemático de la fase extensional, que origino la apertura de estructuras pre existente y algunas adicionales creadas en este proceso.

Figura 28: Mina Orión, esquema de la fase sinestral que produjo la fragmentación de las estructuras mineralizadas, teniendo su origen en fallas de naturaleza dextral mayores.

Figura 29: Mina Orión, modelo conceptual mostrando la reactivación dextral sobre el sistema de fallas post mineralización, siendo consecuencia de fallas sinestrales de orden distrital.

Figura 30: Mina Orión, modelo conceptual mostrando la reactivación dextral sobre el sistema de fallas post mineralización, siendo consecuencia de fallas sinestrales de orden distrital.

Figura 31: Mina Orión, cuadro esquemático conceptual relacionando las fases tectónicas en la mina Orión con eventos tectónicos, magmáticos y mineralización regionales.

Figura 32: Imagen Google Earth, mostrando áreas prospectivas dentro de la concesión - Alrededores; sistemas de vetas fallas (rojo) y fallas post mineralización de importancia.

## **RESUMEN**

La mina Orión se encuentra localizada en las coordenadas UTM 578500 Este y 8276000 Norte proyección PSAD 56, a 30 Km. al Norte de la ciudad de Chala-Arequipa, entre 1700 - 2500 m.s.n.m.

Geológicamente está ubicada en el segmento de Arequipa del Batolito de la Costa, dentro de la Súper unidades Tiabaya y Linga (97.0  $\pm$  3.0 Ma) que se asume como responsable de la mineralización de Cu, Fe, Mo; aflora la unidad Tiabaya de 80.5  $\pm$  1.4 Ma y una secuencia sedimentaria con rocas de edades que van desde el Precámbrico hasta el Cenozoico: Complejo Basal de la costa, Grupos Ambo y Tarma, Formaciones Chocolate, Yuncachaca, Guaneros, Yauca, Pisco, Millo y Volcánicos Sencca. Orión está dentro de la faja de yacimientos filonianos Nazca – Ocoña perteneciente a la Provincia Metalogenética Occidental, Sub-provincia Cuprífera de la costa.

Petrográficamente, la secuencia volcánica sedimentaria está compuesta por una intercalación de lavas andesíticas porfiríticas con niveles sílico - clásticos representados por areniscas cuarzosas de grano medio, arcosas, areniscas de grano fino grises, limo areniscas con cemento calcáreo, limolitas y lutitas gris verdosas pertenecientes a las formaciones Guaneros y Yauca del Liásico al Neocomiano, intruidas por las súper unidades Linga y Tiabaya caracterizadas por mozodioritas, dioritas faneríticas, dioritas porfiríticas de grano medio, gabros y dioritas porfiríticas de grano grueso, teniendo estas descripciones un alcance distrital.

La Metalogenia del área de estudio está caracterizada por la ocurrencia de vetas mesotermales de Au-Ag-(Cu), Mantos de Cu, Skarns y pórfidos de Cu emplazados en el intrusivo y en las secuencias sílico – clásticas. Estas vetas tienen rumbo N40°-60°W buzando al 40°-75°NE predominantemente y en

algunos casos 50°-60°SW, son fallas de naturaleza dextral – normal. Se observan hasta 4 episodios de actividad tectónica de los cuales uno corresponde a procesos distensivos y los restantes son de naturaleza compresiva. En estas estructuras se forman concentraciones o “clavos” irregulares con mineralización económica de 0.3 a 1.5 m de ancho y de 50 a 100 m de profundidades conocidas hasta ahora que se alinean en “rosario” hasta 400 m de longitud, a veces en estructura sigmoidal. La mineralización está conformada por un intenso relleno de cuarzo – sericita, pirita, pirrotita, calcopirita, covelita y magnetita con concentraciones de Au, la parte superficial muestra un ensamble de hematita – goetita – jarosita. El oro se encuentra relacionado genéticamente a las fases finales de los intrusivos de la súper unidad Tiabaya. La alteración hidrotermal está dada por una moderada a intensa silicificación - sericitización – caolinización - cloritización seguida por una propilitización marginal con clorita, epidota, pirita y más extensa de carbonatos.

Desde 1960 hasta la fecha, se estima que ha producido unas 50,000 onzas de Au. En la década del 90, se producía un promedio de 108 Kg de Au por año a cargo de informales. Actualmente, se explotan 75 tm/día con 10 Au gr/tm en promedio (estimación Minera Orduz).



# **CAPITULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En base al convenio de tesis suscrito entre la empresa Analitic Mineral Services S.A.C y el bachiller en geología Jose Santos Cisneros, se realizaron sucesivas campañas de campo y trabajos de gabinete en la mina Orión (Chala – Arequipa) y en la oficina Lima desde Noviembre del 2006 hasta Octubre del 2007. Las diversas actividades fueron desempeñadas por el bachiller en geología Jose Santos Cisneros. Se contó con el apoyo logístico necesario para el adecuado desarrollo del trabajo de campo y gabinete (oficina, camioneta, personal de apoyo, alimentación y hospedaje en la mina).

El presente trabajo relaciona las características estructurales del yacimiento con la mineralización considerando tres episodios importantes para la interpretación, un evento tectónico pre-mineralización en el cual se observa un periodo de deformación, seguido de un evento sin-mineralización donde se puede observar otra fase adicional de esfuerzo y finalmente una post-mineralización donde se identificaron dos periodos de reactivación este ultimo periodo es importante pues permite analizar y reconstruir la fragmentación de las estructuras mineralizadas, así también se pueden medir los desplazamientos productos de estas fallas.

Se elaboraron planos estructurales interpretados de imágenes satelitales a escala regional y distrital que han permitido asociar estructuras regionales con estructuras mineralizadas de orden local.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

- ❖ En Orión, se desconoce el comportamiento estructural de las fallas mineralizadas así como el de las fallas post – mineralización, por esto es necesario plantear un modelo estructural que permita predecir el movimiento de dichas fallas.
- ❖ No se tiene un adecuado cartografiado a escala distrital ni local, es necesario elaborar planos geológicos a dichas escalas para así tipificar adecuadamente los afloramientos y las características del yacimiento.
- ❖ La distribución de los clavos mineralizados dentro de las estructuras no está bien definida, es de interés conocer este dato para poder orientar las exploraciones adecuadamente.

- ❖ No se tiene una data geológica organizada y sistematizadas, por esto se organizaran folios y bases de datos que sirvan como base para futuros trabajos.

### **1.3 OBJETIVOS**

- Elaborar un modelo geológico – estructural con principios geocientíficos a escala distrital-regional, tomando como fundamento la data estructural de campo.
- Generar un modelo estructural predictivo a escala local, que facilite el reconocimiento del sentido del movimiento y la distancia del desplazamiento de una falla en particular.
- Sistematizar y organizar la información geológica recopilada y generada actualmente, con el fin de tener información actualizada y útil para diseñar programas de exploración.
- Definir la distribución espacial de los clavos mineralizados dentro de las estructuras, para poder orientar adecuadamente las labores subterráneas y taladros de exploración.
- Determinar nuevas áreas de interés prospectivo dentro de la propiedad a escala local y distrital.
- Presentar este estudio y sus resultados como tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

### **1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El trabajo se ha realizado en cinco fases: I trabajo de gabinete, II trabajo de campo, III trabajo de gabinete, IV trabajo campo revisiones, V trabajo de gabinete y campo (observaciones finales, ver Tabla 1).

I Gabinete: Esta primera fase consistió en la recopilación y selección de la información existente del área en estudio. Se obtuvo información de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra del INGEMMET del boletín No 34 serie A, imágenes satelitales landsat bandas 424, interpretaciones estructurales a escala regional, organización y estudio de los planos existentes geológicos y topográficos, elaboración de programa de trabajo de campo.

II campo: En esta fase se efectuó el cartografiado superficial geológico estructural a escala 1: 10,000 y 1: 2,500, restringiéndose los trabajos dentro de la propiedad del denuncia, este sector abarca los afloramientos de Tiabaya y Linga y de las formaciones Guaneros y grupo Yura. También se tomaron 17 muestras superficiales y de interior mina para realizar estudios petrográficos y 4 muestras para estudios minerográficos. Se realizó el cartografiado estructural a escala 1: 1000 y 1: 250 en interior mina del 80% del laboreo existente.

**Tabla 1: cuadro resumen de actividades realizadas**

<b>Actividades Realizadas</b>		
<b>Periodo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Geólogo</b>
Noviembre - Diciembre, 2006	I Gabinete: Recopilación de información y sistematización.	José S. Cisneros
Enero – Febrero – Marzo, 2007	II Campo: Cartografiado a escala 1/10000 distrital y escala 1/2500 local, toma de muestras para estudios petrográficos.	José S. Cisneros
Abril – Mayo – Junio, 2007	III Gabinete: Elaboración de planos geológicos, estructurales, proyecciones a niveles profundos, elaboración de secciones transversales y longitudinales, digitalización, estudios petrográficos en secciones delgadas.	José S. Cisneros
Julio, 2007	IV Campo: Levantamiento de observaciones de campo (geológico – estructural), interpretaciones de campo, toma de muestras para estudios minerográficos.	José S. Cisneros
Agosto – Setiembre – Octubre, 2007	V Campo – Gabinete: Reinterpretación de datos de campo, observación de campo focalizado, estudios minerográficos en secciones pulidas, redacción de informe. Entrega de borradores.	José S. Cisneros

III Gabinete: Se pasaron a limpio los planos geológicos – estructurales a diferentes escalas, se elaboraron interpretaciones estructurales a escala 1: 2,500 superficiales y niveles inferiores. Se construyeron ocho secciones transversales y tres secciones longitudinales a escala 1: 2,500, toda esta información fue digitalizada en programas Gis como MapInfo 7.8 y Arc Gis 9.1.

IV Campo Revisión: Esta parte del trabajo se llevo a cabo con la visita de geólogos de experiencia como el Geólogo Senior Jorge Merino Morante y el Master Jorge Quispe, con la consiguiente revisión y supervisión de los trabajos de campo efectuados, hubieron observaciones con respecto a la parte estructural y algunas al cartografiado distrital que serian resueltas en una campaña de campo adicional. Se obtuvieron 4 muestras adicionales para estudios petrográficos.

V Campo - Gabinete: Esta fase del trabajo consistió en absolver las observaciones de las fases anteriores, como realizar un cartografiado distrital con mayor detalle y definir con mayor precisión los procesos de deformación que afectaron al yacimiento en estudio.



## **1.5 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

Se tienen trabajos previos que tratan la génesis del yacimiento, los temas estructurales no son abarcados a profundidad. Se tienen algunos estudios a escala distrital – regional, en yacimientos como la mina Ishiuhinca y mina Caraveli entre otros.

Injoque J., Rodríguez I. & Alvarez B. (2002), Geología del Distrito Minero Orión, se menciona las características litológicas, mineralógicas y estructurales del yacimiento, relacionando la mineralización al pórfido Ena – Marisol y el origen del Au al reciclaje cortical de la faja de greenstones entre Atico – Ocoña como ocurre en la cuenca del Marañon.

Zacarias & Injoque J. (1998), Resumen del área de trabajo Mina Orión, plantean las relaciones estructurales existentes entre las Vetas Francia, Bonanza, Ana María y Burra Muerta. Reconocen tendencias estructurales, litologías, ensambles de alteración y mineralización, se menciona similitud estructural con la Mina Julcani.

Martinez P. (1996), Yacimientos Auríferos Relacionados al Batolito de la Costa en la Franja Nazca – Ocoña, otorga importantes aportes al plantear modelos esquemáticos de los emplazamientos de distintos tipos de depósitos en un eje transversal al Batolito de la Costa, adicional se observan modelos para los depósitos tipo stockwork y vetas mesotermiales.

Nuñez F. & Condori A. (1994), Características Metalogenéticas de la Mineralizaciones Auríferas asociadas al segmentos Sur del Batolito de la Costa, resalta la información de la diferenciación entre las tendencias NW – SE al norte de la latitud 15°45" y NE – SW al Sur, marcando posibles periodos tectónicos mineralógicos diferentes.

De Montreuil L. (1990), Mineralogía de Yacimientos Auríferos del Perú, realiza una sinopsis de las diferentes franjas de yacimientos de Au en el Perú, rescatando la ocurrencia de Au nativo sobre electrum en los depósitos mesotermiales de la franja Nazca – Ocoña, también la relación del ratio Au/Cu mostrando la importancia en este tipo de yacimientos, hay valores de Au si ocurren contenidos de Cu en la pirita. Ejecuta un modelo primigenio de lo que serían las franjas metalogenéticas del Perú publicadas por el INGEMMET (2007).

De Montreuil L. (1979), Ocurrencias de Oro y sus asociaciones – Franja Nazca Ocoña, resalta las características mineralógicas del distrito minero mostrando

una estrecha relación entre el Au, la pirita y el cuarzo, mencionan las tendencias andinas en las estructuras y el emplazamiento de la mineralización desde ambientes hidrotermales, hipotermiales a mesotermiales.

## 1.6 UBICACIÓN Y ACCESO

Las concesiones mineras Orión, Tauro 1 y Tauro 3, están localizadas en el departamento de Arequipa, distrito de Chala, provincia de Caraveli, el área de estudio se encuentra a una altura promedio entre 1700 a 2500 m.s.n.m. Carta Nacional 32 – ñ (Chala). Los terrenos superficiales no corresponden a ninguna comunidad campesina registrada en el lugar (ver Figura 1).

Las coordenadas UTM del área de estudio son:

Este : 578500  
 Norte : 8276000  
 Zona : 18  
 Altitud : 2000 m.s.n.m  
 Datum : PSAD56 – UTM18

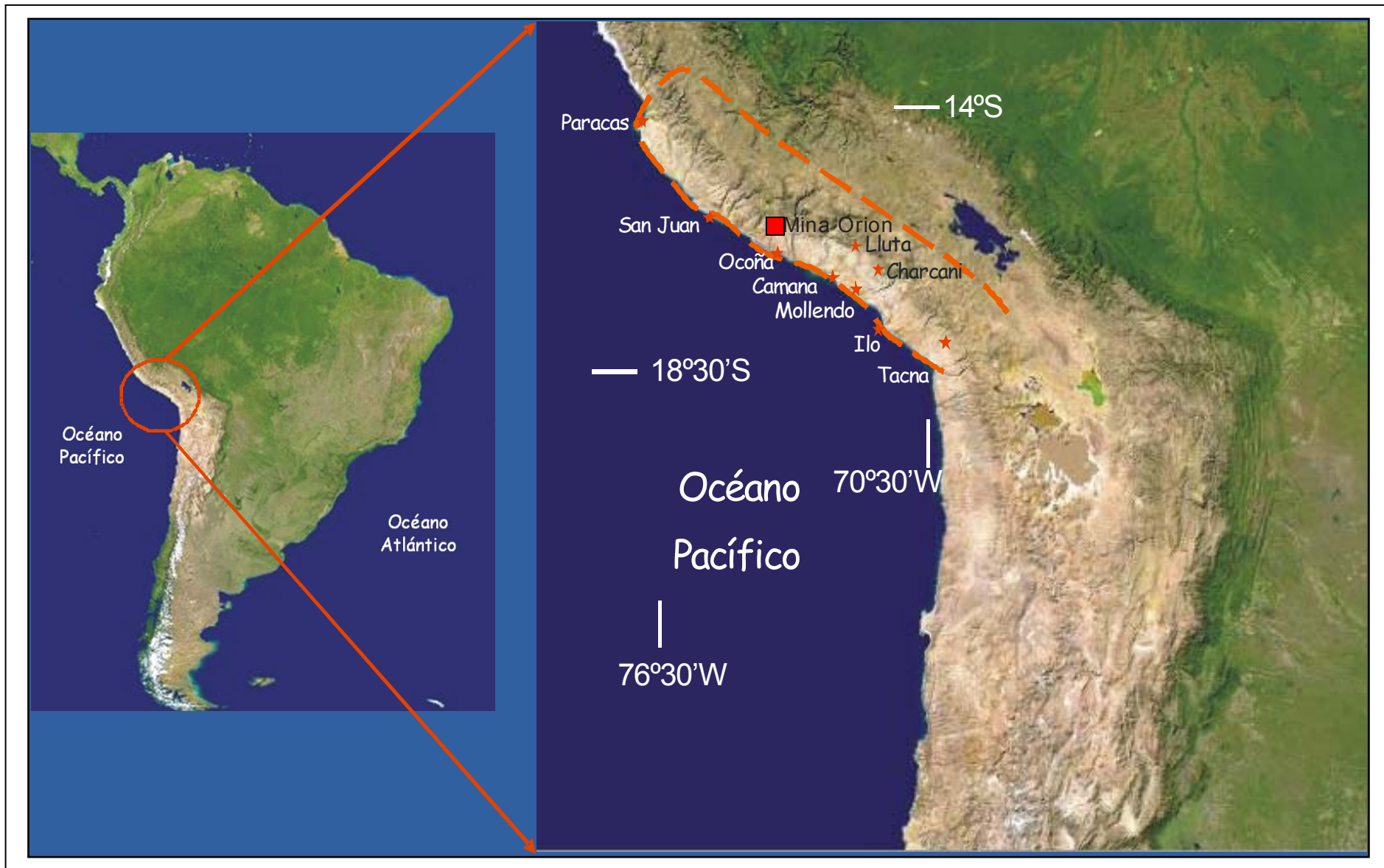
La mina Orión es perfectamente accesible por una carretera afirmada de 60km desde la ciudad de Chala, el trayecto toma aproximadamente 2 horas de viaje en camioneta.

## 1.7 Propiedad Superficial

El ámbito territorial total que abarcan las concesiones Orión, Tauro 1 y Tauro 3, corresponden políticamente a la provincia de Chala. Las concesiones en esta área totalizan 1250 has que se encuentran íntegramente dentro de los terrenos del distrito de Chala, las mismas que se encuentran vigentes en la actualidad, el detalle se adjunta en el siguiente tabla.

Concesión	Area	Vértice	Este	Norte
Orión	700 has	1	580290	8276882
		2	580073	8274895
		3	576596	8275275
		4	576813	8277262
Tauro N <sup>o</sup> 1	250 has	1	579405	8277984
		2	579296	8276991
		3	576813	8277262
		4	576921	8278255
Tauro N <sup>o</sup> 3	300 has	1	579576	8274950
		2	579468	8273956
		3	576487	8274281
		4	576596	8275275

Tabla 2: Concesiones Mineras Orión, Tauro N<sup>o</sup>1 y Tauro N<sup>o</sup>3, vigentes al 2009.



**Figura 1: Ubicación de la Mina Orión dentro de la faja Nazca – Ocoña.**

# **CAPITULO II**

## **CONTEXTO GEOLÓGICO TECTÓNICO REGIONAL**

**2.1 EL BATOLITO DE LA COSTA SUR EN LOS ANDES DEL PERÚ CENTRAL: El Batolito de la Costa está constituido por cientos de plutones individuales, agrupados en un número limitado de súper-unidades (Pitcher, 1974). Geográficamente está dividido a lo largo del eje del batolito en 5 grandes segmentos, caracterizado cada súper-unidad por un ensamble litológico particular (Cobbing et al., 1977b); el segmento de mayor longitud es el de Arequipa con 900 km. de largo (Figura 2).**

El orden de emplazamiento de los plutones en el segmento de Arequipa está dada de la siguiente manera: (1) gabros tempranos y dioritas, (2) súper-unidad Linga (Stewart, 1968), (3) súper-unidad Pampahuasi el nombre corresponde a una localidad al este de Ica, (4) súper-unidad Incahuasi, localidad al norte de Pisco, (5) súper-unidad Tiabaya ( Jenks, 1948; Jenks y Harris, 1953).

### **Segmento de Arequipa:**

Se considera en la descripción el segmento de Arequipa del Batolito de la costa, que está constituido por cuerpos de algunos kilómetros hasta afloramientos individuales, todas estas ocurrencias intrusivas están enmarcadas dentro de un conjunto de súper unidades que describiremos a continuación.

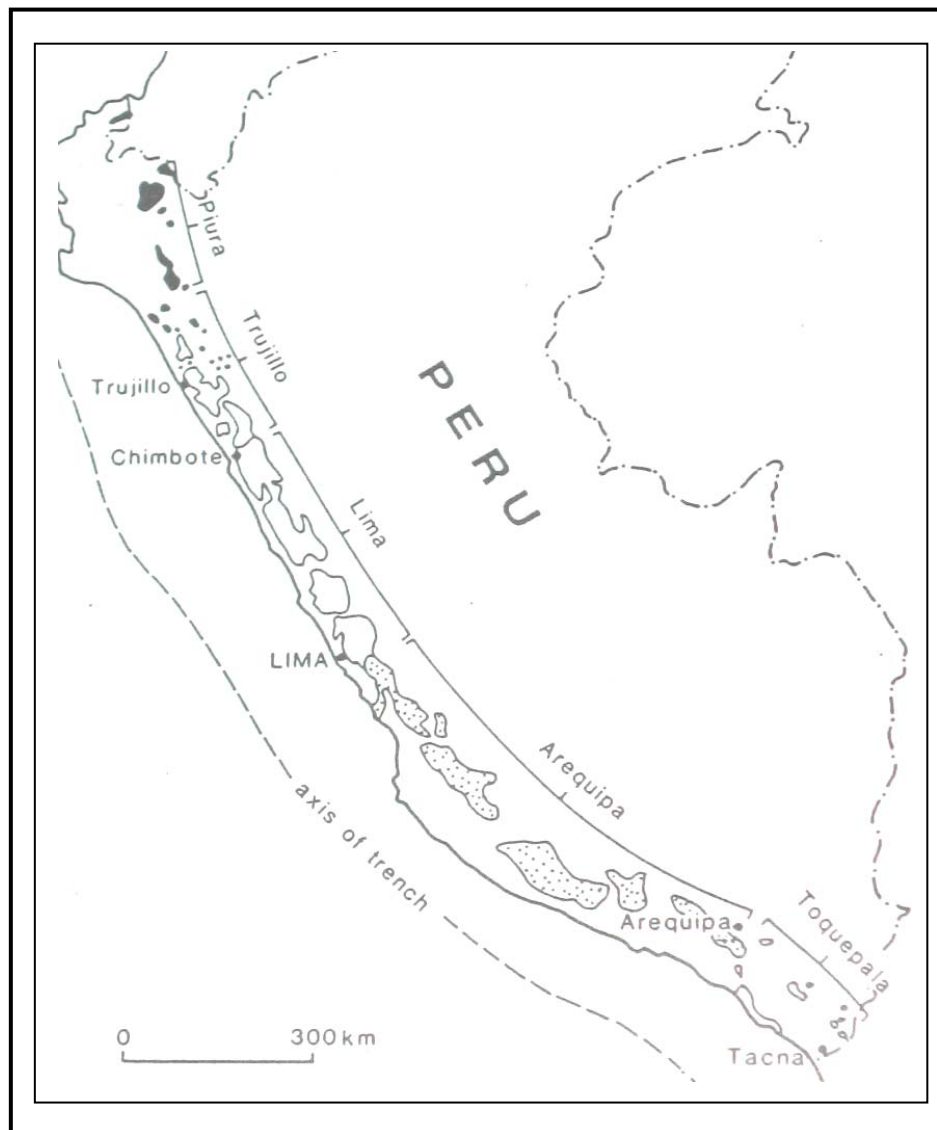
#### **2.1.1 COMPLEJO BELLA UNIÓN**

La litología es muy variada dentro del complejo Bella Unión, caracterizada por una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítica, en bloques angulosos y subangulos, también se observan otros cuerpos de composición básica, como diabasas porfiríticas gris verdosas, este complejo está cortado por diques de andesita porfirítica. Se extiende a lo largo de faja de dirección E-O a NW-SE, limitado por grandes lineamientos estructurales que posiblemente controlen su emplazamiento.

#### **2.1.2 DACITA MOLLES**

Se conoce con este nombre a una dacita hipabisal que aflora en el sector norte del cuadrángulo de Jaqui, a lo largo de una falla longitudinal NW. Estos afloramientos presentan una textura porfirítica, con fenos de plagioclasas y

grandes granos de cuarzo en una matriz afanítica grisácea. Edad de emplazamiento entre 102 MA, hasta 80 MA (Cobing, 1979).



**Figura 2: Mapa mostrando la segmentación de las súper unidades del Batolito de la Costa y la distribución de los plutones, (Wallace S. Pitcher, 1985)**

### **2.1.3 GABROS**

La evolución del segmento de Arequipa se inicia con la intrusión de grandes volúmenes de magma básico. Estos afloramientos de gabros fueron diseccionados y erosionados por el emplazamiento de granitoides jóvenes (N.D. Moore, R.A. Agar). Los gabros pertenecen a la Súper-unidad Patap y tienen una edad de emplazamiento de 107 Ma (Cobbing E. et al., 1977).

Los segmentos de Arequipa y Lima son litológicamente bastante similares, caracterizados por gabros horbléndicos melanócratas con variaciones a otras

rocas de carácter básico como leucogabros y dioritas horbléndicas. Este tipo de rocas son observadas en afloramiento en áreas muy limitadas. Los contactos entre rocas similares se dan gradacionales, por zonas de brechamiento por dioritas tardías, parches irregulares de pegmatitas horbléndicas en zonas de contacto. Otra característica son las zonas de intensa deformación (bandeamiento), ocurrida en fases sin-plutónicas.

La mineralogía de los gabros sugiere una diferenciación representada por gabros de olivino – augita – horblenda, gabros de olivino – augita – hiperstena – horblenda, gabros de augita – horblenda, gabros horbléndicos y dioritas (Bussell, 1975; Mullan y Bussell, 1977; Regan, 1976; Agar, 1978; Moore, 1979).

La progresiva importancia de la horblenda en la composición y la textura observable indican un incremento del PH<sub>2</sub>O. La fuente exacta del H<sub>2</sub>O todavía no es clara; podría corresponder a una concentración debido a la diferenciación o probablemente a la absorción de la roca encajonante durante las fases finales del emplazamiento de los gabros (N.D. Moore, R.A. Agar).

#### **2.1.4 SÚPER UNIDAD LINGA**

Esta súper – unidad se caracteriza por mostrar litologías bastante distinguibles como son gabros y dioritas con contenidos relativamente altos de feldespato potásico. Las rocas monzoníticas agrupadas como la Súper-unidad Linga, registran una edad de 97 Ma y se asume responsable de la mineralización de Cu, Fe, Mo (Cobbing, E. et al., 1977).

La súper unidad Linga fue descrita en detalle en la quebrada Linga en Arequipa por Stewart (1968, Garcia). Los mayores afloramientos del Linga están restringidos al flanco oeste del batolito. Es la mas variable de las súper – unidades del segmento de Arequipa conformada aproximadamente por unas 30 unidades que has sido reconocidas al detalle. La unidad Humay varia de monzogabros a cuarzo – monzonitas, la unidad Rinconada contrasta con la unidad Humay pues es mas silicia migrando de una cuarzo – monzodiorita a un monzogranito (Tabla 3).

Stewart (1968), Hudson (1974), consideraron la súper – unidad Linga como un grupo de rocas hibridas producidas por un metasomatismo potásico, Agar (1978) y Agar y Le Bel, demostraron convincentemente que la súper – unidad Linga corresponde a un grupo específico de rocas dentro del batolito derivando de un magma común.

### **2.1.5 SÚPER UNIDAD PAMPAHUASI**

El principal afloramiento de esta súper – unidad se ubica en la localidad de Ica – Pisco, estando restringida al flanco oeste del batolito, con una extensión de 100 km. de largo con rumbo andino y un ancho aproximado de 10 km. Esta siendo cortado principalmente por la súper – unidad Tiabaya (N.D. Moore, R.A. Agar). Las rocas plutónicas dioríticas y tonalíticas, forman parte de la Súper unidad Pampahuasi y reportan una edad de 94 Ma (Cobbing E. et al., 1977).

La litología predominante en esta súper – unidad esta dada por las tonalitas y cuarzo dioritas. Esto conlleva a 2 grandes divisiones una inicial foliada de grano medio a grueso de tonalita – diorita, intruída por una tonalita leucocrata menos foliada, ambas unidades son rocas horbléndicas y biotíticas con similares texturas.

Los contactos entre estas diferentes facies son bastante irregulares sin poderse establecer una cronología relativa confiable. Estos contactos indican diferencias de flujos dentro del plutón (Cobbing y Pitcher, 1972a).

Relacionado a este estadio es apropiado mencionar la unidad Catahuasi, que esta compuesta por cuarzo dioritas, monzogranitos y principalmente tonalitas. Los afloramientos se localizan al este y norte del segmento de Arequipa, sin tener un cartografiado y estudio en detalle; la relación cronológica relativa y absoluta con otras súper – unidades no ha sido establecida (E.J. Cobbing).

### **2.1.6 SÚPER UNIDAD INCAHUASI**

Esta súper – unidad está dividida en 5 unidades menores cuyo orden de emplazamiento es el siguiente: cuarzo-diorita, cuarzo-monzodiorita, granodiorita, pórfidos monzoníticos y monzograníticos. Siendo la cuarzo-monzodiorita y la granodiorita las de mayor ocurrencia en volumen. La súper unidad Incahuasi tiene una edad de emplazamiento de 83 Ma (Moore et al., 1985).

La súper – unidad Incahuasi presenta una fabrica mineral planar siguiendo el trend andino, sin embargo existe una fabrica mineral asociadas a fallas normales regionales de rumbo andino, esto indica que dichas fallas estuvieron activas durante el emplazamiento del plutón.

Se observan 2 sistemas de diques que cortan al Incahuasi, una esta relacionada a la súper – unidad Tiabaya, el segundo grupo al emplazamiento de magmas del Incahuasi, estos diques son oscuros y de grano fino probablemente de composición andesítica. La orientación de estas fracturas es de rumbo andino y

normal al rumbo andino, indicando que fueron controladas por los mismos esfuerzos regionales que rigieron el emplazamiento de los plutones del Incahuasi.

<b>SE G M E N T O  D E  A R E Q U I P A</b>	T o n a l i t a - G r a n o d i o r i t a	<b>Tiabaya</b> Se extiende a lo largo de todo el segmento.	K – Ar 81 Rb - Sr 80	Granodiorita de horblenda – biotita, con variaciones menores a tonalita y monzogranitos.
		<b>Incahuasi</b> Es la más importante súper unidad del segmento, continuando al sur del río Vitor 30 km al NW de Arequipa.	K – Ar 83 Rb – Sr 78	Las litologías predominantes son granodioritas de horblenda – biotita y cuarzo monzodioritas, existiendo variaciones a cuarzo dioritas y monzogranitos.
		<b>Pampahuasi</b> El afloramiento esta restringido a unos 105km de longitud dentro de la franja Ica – Pisco.	K – Ar 94 U – Pb 94	Unidad temprana de tonalitas de horblenda – biotita a cuarzo diorita. Unidad Tardía tonalita leucocrata de horblenda – biotita.
	M o n z o d i o r i t a	<b>Linga</b> Ocurre a lo largo del flanco oeste del segmento.	K – Ar 97 Rb – Sr 96 U – Pb 101	Esta dentro de un rango de litologías monzoníticas, tenemos desde monzogabros a monzogranitos.

**Tabla 3: Cuadro resumen de las súper unidades emplazadas en el segmento de Arequipa del Batolito de la Costa, (modificado: Wallace S. Pitcher, 1985).**

### 2.1.7 SÚPER UNIDAD TIABAYA

Esta súper – unidad es la más tardía y la de mayor ocurrencia en el segmento de Arequipa, dividiendo las súper – unidades Incahuasi al este y Linga en el flanco oeste del batolito. La súper unidad Tiabaya tiene una edad de emplazamiento 81 Ma (Moore et al., 1985).

La composición de la súper – unidad Tiabaya varia del rango de tonalita a monzogranito, además se han observado algunos afloramientos de granodioritas. Tiabaya presenta 2 importantes unidades que corresponden a



granodioritas de horblenda – biotita: el principal plutón esta en Ica – Pisco es una roca de grano grueso y un plutón mas pequeño al oeste de grano medio. La relación cronológica no esta explicada. En menor proporción se observan facies de pórfidos granodioríticos de grano grueso (Figura 3).

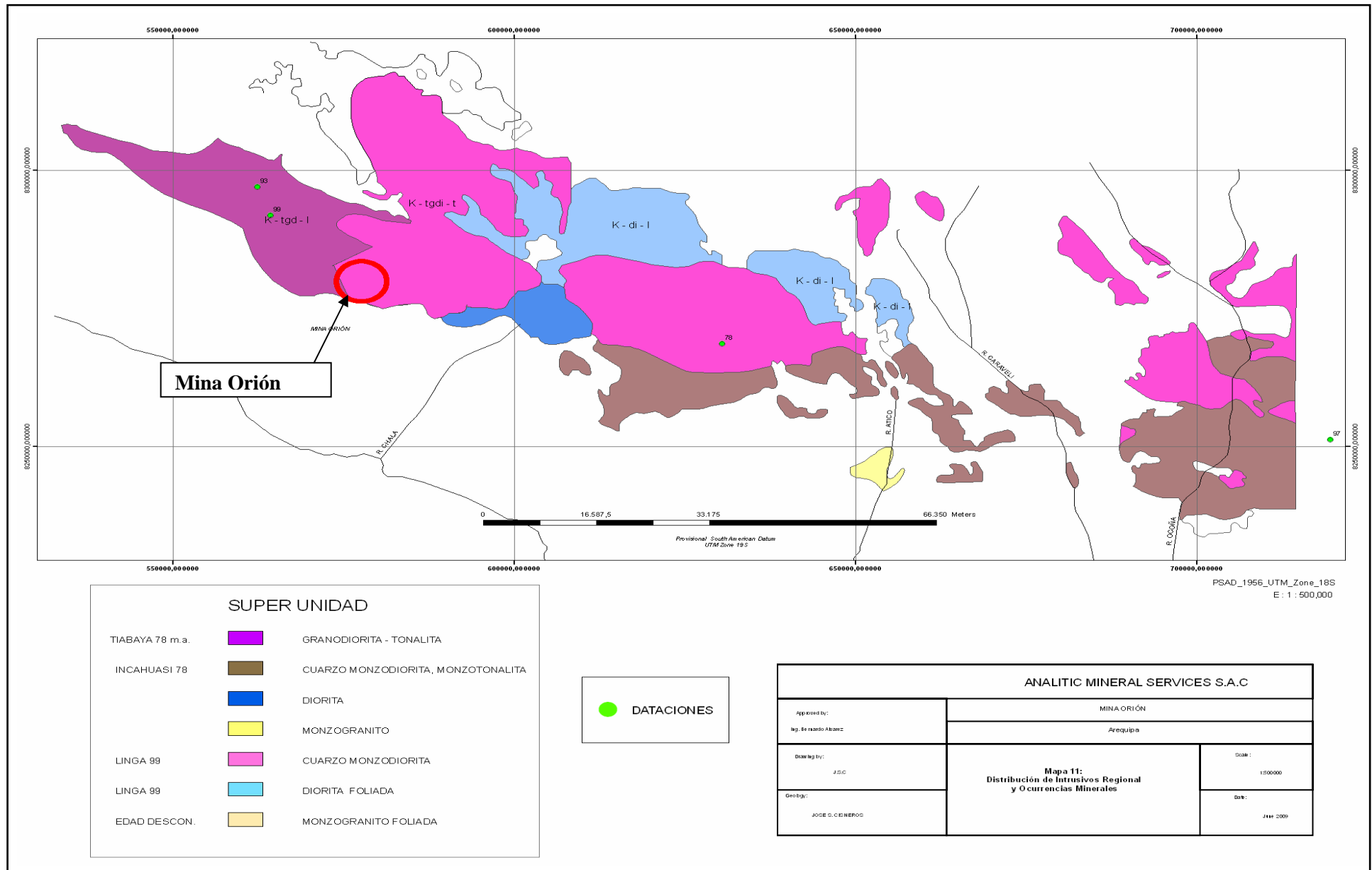
#### **2.1.8 COMPLEJO SANTA RITA**

Es un complejo de rocas producto del metamorfismo de contacto, desarrollado por la intrusión del Linga y Tiabaya afectando a rocas sedimentarias, volcánicas, microgabros y dioritas precursoras, ubicada en sector occidental del cuadrángulo de Jaquí, entre los cerros Cauchete y el Morro. En general las rocas metamórficas son de color gris oscuro, los contactos intrusivos son verticales, encontrándose esquistos sillimaníticos, intrusivos gneisoides, hornfels volcánicos y sedimentarios, metasomatitas, dioritas piroxénicas y microgabros hornfélsicos. Los metavolcánicos y metaintrusivos tienen un aspecto lustroso, predominando dioritas piroxénicas, dioritas cuarcíferas y andesitas, cortados por pequeños plutones y diques andesíticos.

#### **2.1.9 INTRUSIVOS CENOZOICOS**

En el cuadrángulo de Coracora y Chaparra, a lo largo de la zona plegada se extiende una alineación de stocks plutónicos, que por las características petrográficas no corresponden al batolito de la costa, siendo mas jóvenes perteneciendo probablemente a un plutonismo Cenozoico.

Dichos stocks están compuestos por cuerpos de gabro-diorita de color gris oscuro y tonalita-granodiorita. Estos cuerpos deben haberse emplazado entre fines del cretáceo y el meso-cenozoico.



**Figura 3: Distribución de las Súper unidades del batolito de la Costa, segmento de Arequipa, en relación a algunas dataciones (modificado Injoke, 2000).**

## **2.2 EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA**

Se tomaron como base los estudios realizados por el INGEMMET, representados por los cuadrángulos y planos del área de trabajo (Boletín No 34, Serie A, 1980. Hojas 31-ñ Jaqui, 31-0 Coracora, 32-ñ Chala y 32-O Chaparra). Considerando un radio de influencia de no más de 20 km de la propiedad minera, se tienen rocas sedimentarias y volcánicas aflorando desde edades mesozoicas hasta cuaternarias (ver Figura 4).

### **2.2.1 MESOZOICO**

#### **2.2.1.1 VOLCÁNICOS CHOCOLATE (Liásico inferior)**

Está agrupado en 2 miembros, el miembro inferior denominado Chala esta constituido por areniscas, conglomerados y brechas andesíticas. El miembro superior Lucmilla esta compuesto principalmente por andesitas porfiríticas de color marrón, espesor +\_ 2800 m. Aflora en los cuadrángulos de Chala y Chaparra.

#### **2.2.1.2 FORMACIÓN YUNCACHACA (Bajociano)**

Está representado por una secuencia volcánico – sedimentaria, caracterizada por una intercalación de andesitas porfiríticas gris verdosas muy fracturadas con lutitas en bancos gruesos y areniscas con fragmentos de rocas volcánicas retrabajadas, espesor +\_500 m. Aflora al sur de Jaqui.

#### **2.2.1.3 FORMACIÓN GUANEROS (Kimmeridgiano – Caloviano)**

Muestra una secuencia de areniscas blancas-verdes de grano medio a grueso, intercaladas con lutitas abigarradas, limolitas y margas fosilíferas en un nivel intermedio, seguida de una columna de andesitas porfiríticas intercaladas con limolitas, brechas volcánicas con fragmentos de andesita de color verde a rojo, además se observan areniscas grises de grano medio, lutitas gris verdosas, cuarcitas grises, brechas volcánicas y meta volcánicos, aflora en el cuadrángulo de Chala, espesor 200-1000 m.

#### **2.2.1.4 GRUPO YURA (Titoniano)**

Esta conformado por 2 formaciones Yauca y Hualhuani.

Formación Yauca: esta constituida por areniscas arcósicas intercaladas con lutitas, areniscas blancas en bancos gruesos, andesitas de color gris claras, aflora en el cuadrángulo de Coracora, espesor +\_ 2000 m.

Formación Hualhuani (Neocomiano): se compone de cuarcitas blancas de grano medio a fino con estratificación cruzada, aflora en los cerros Choquequilca,

Quillaco y Ayacucho, formando parte del flanco occidental del sinclinal de Pucaloma, espesor  $\pm$  200 m.

#### **2.2.1.5 FORMACIÓN MURCO (Aptiano)**

Está compuesta por areniscas gris verdosas de grano grueso, con estratificación gradada y cruzada, areniscas calcáreas gris verdosas, limolitas carbonosas gris oscuras, afloran en los cerros Choquequilca, y aledaños, espesor  $\pm$  300 m.

#### **2.2.1.6 FORMACIÓN ACURQUINA (Albiano – Turoniano)**

Está conformado por 2 miembros Aguas Verdes y Arenizo.

Miembro Aguas Verdes: Presenta una facie calcárea de calizas grises de diferentes tonalidades, presentan abundantes concreciones de sílice, forma parte del sinclinal de Pucaloma, espesor  $\pm$  400 m.

Miembro Arenizo: consiste en calizas blanquecinas o verdes claras, se notan algunas capas de yeso delgadas, aflora en el cuadrángulo de Coracora, espesor  $\pm$  150 m.

### **2.2.2 CENOZOICO**

#### **2.2.2.1 FORMACIÓN HUANCA (Senoniano – Eoceno)**

Litológicamente está constituido por brechas conglomerádicas de color rojo de fragmentos de andesitas porfíricas, areniscas blancas, calizas grises, gneis graníticos, conglomerados y areniscas conglomerádicas, aflora en el cuadrángulo de Coracora, espesor  $\pm$  400 m.

#### **2.2.2.2 FORMACIÓN PARA (Oligoceno)**

Está conformada por areniscas tobáceas de grano fino de color blanco y verde intercaladas con areniscas conglomerádicas, lutitas grises, limolitas amarillas, aglomerados, andesita microbrechosa marrón, lapillos blancos y cenizas, aflora en Coracora, espesor  $\pm$  1000 m.

#### **2.2.2.3 GRUPO TACAZA (Plioceno)**

Está compuesta por tobas dacítica redepositadas de color crema, seguida de una arenisca tobácea de color verde, aflora en el cuadrángulo de Coracora, espesor  $\pm$  100 m.

#### **2.2.2.4 FORMACIÓN PISCO (Mio – plioceno)**

Está conformada por areniscas finas en estratos delgados, arcillitas y capas de yeso, Aflora en el cuadrángulo de Chala, espesor  $\pm$  100 m.

#### **2.2.2.5 FORMACIÓN MILLO (Plioceno inferior)**

Está compuesta por conglomerados polimícticos donde las fuentes de rodados debe ser diversa, areniscas conglomeradas, tobas y cenizas volcánica, aflora en cuadrángulo de Jaquí y Cháparra, espesor +\_ 400 m.

#### **2.2.2.6 VOLCÁNICO SENCCA (Plioceno superior)**

Litológicamente está constituida por una secuencias de tobas dacítico – riolítico, superficialmente tienen un color rojizo a naranja, aflora en los 4 cuadrángulos, espesor +\_ 200 m.

#### **2.2.2.7 FORMACIÓN CAPILLUNE (Plioceno superior)**

Es representada por limonita verde clara intercalada con areniscas tufáceas de grano fino y con micro conglomerados, aflora en el cuadrángulo de Coracora, espesor +\_ 200 m.

### **2.2.3 DEPÓSITOS CUATERNARIOS**

#### **2.2.3.1 GRUPO BARROSO (Plio – pleistoceno)**

Está formado predominantemente por lavas andesíticas y dacíticas de matriz gris claras hasta gris oscuro o violáceo, ignimbritas, brechas, aflora en los diversos cuadrángulos, espesor +\_ 1000 m.

#### **2.2.3.2 TERRAZAS MARINAS (Pleistoceno)**

Está representado por conglomerados, areniscas y bancos de coquina, aflora en los cuadrángulos de Chala y Cháparra, espesor +\_ 200 m.

#### **2.2.3.3 FORMACIÓN SARASARA (Post – pleistoceno)**

Está compuesta por aglomerados volcánicos de color rosado con fragmentos de toba andesítica, dacítica y riolítica dentro de una matriz de ceniza, intercalados con areniscas de grano medio semi consolidados de color gris amarillentos, aflora en el cuadrángulo de Coracora, espesor +\_ 200 m.

#### **2.2.3.4 DEPÓSITOS MORRÉNICOS (Holoceno)**

Está formado por fragmentos volcánicos y sedimentarios dentro de una matriz arcillosa, aflora en el cuadrángulo de Coracora.

#### **2.2.3.5 DEPÓSITOS RECIENTES (Holoceno)**

Conformado por depósitos eólicos, aluviales, coluviales y eluviales.

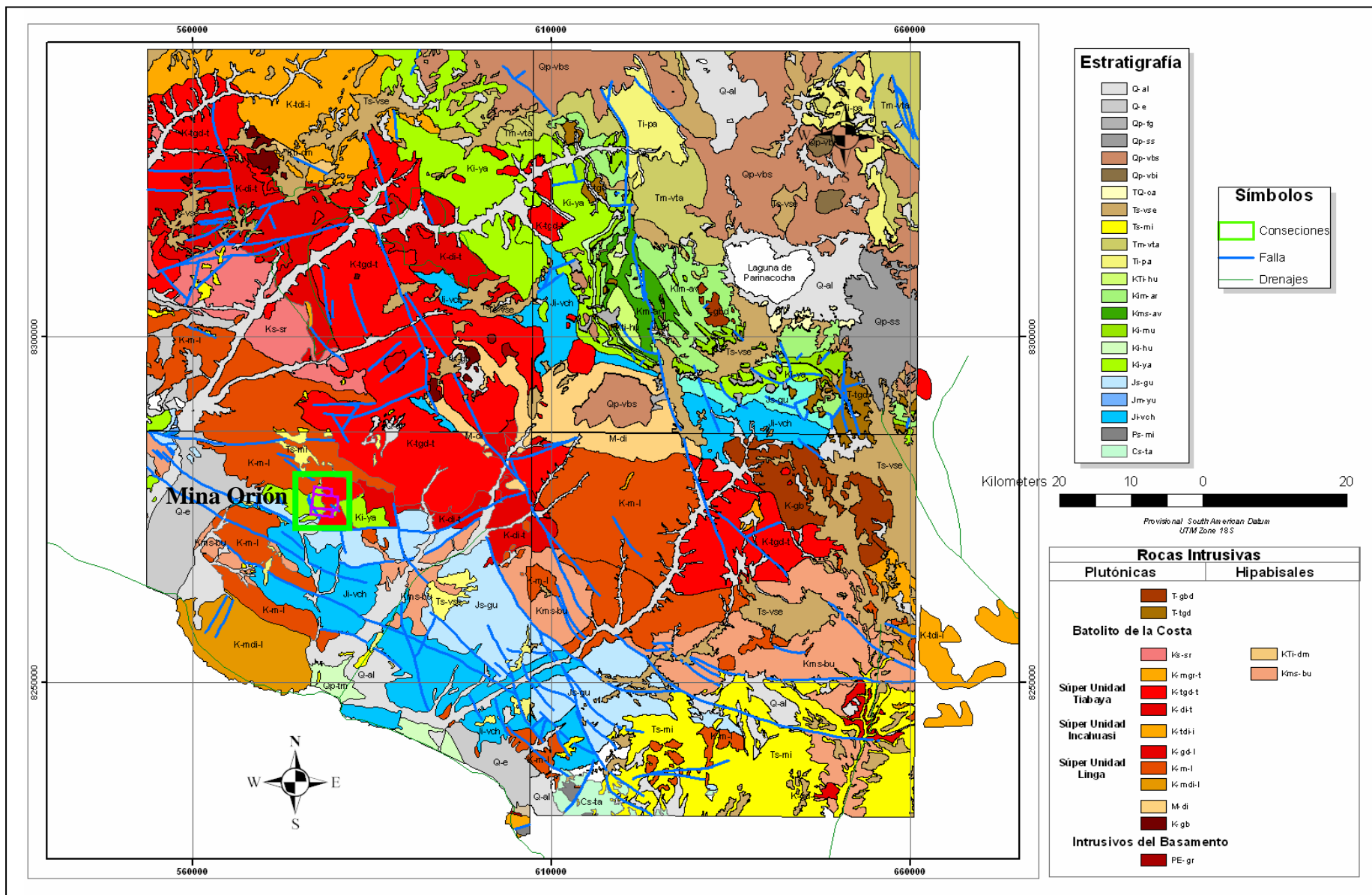


Figura 4: Mapa geológico regional del distrito Minero, súper unidades del Batolito de la Costa, formaciones volcánicas y sedimentarias, ubicación de la Mina Orión (modificado Injoque, 2000).

## **2.3 CONTEXTO TECTÓNICO**

El área en estudio está asociada a la cordillera de los andes del Perú central cuya evolución está relacionada a la orogenia andina (Mégard, 1978a); que es resultado de la subducción entre la placa de Nazca y la placa ensiálica Sudamericana.

El ciclo Andino comienza en el Triásico tardío con un fuerte régimen extensional que se mantuvo hasta fines del Cretáceo inferior; evidenciado por la apertura y relleno de cuencas con secuencias carbonatadas, silicoclásticas (Grupo Yura) y niveles volcano - clásticos de edad Caloviana – Titoniana (Formación Guaneros). En los estadios finales de este periodo (Hauteriviano – Albiano medio), se genera el graben Huarmey – Cañete con vulcanismo tholeítico a calcoalcalino (volcánicos del Cretáceo superior).

En los estadios tardíos del Albiano Medio - Cenomaniano, se produce una fase tectónica compresional, definida como la Orogenia Mochica (Myers, 1974; Cobbing et al., 1981; Mégard et al., 1984a). Esta fase genera ejes de pliegues en dos direcciones, uno principal ligeramente oblicuo al rumbo andino (NE – SW) y el otro más joven, normal al rumbo andino (ENE - WSW) (Myers, 1974; 1980). Asimismo, durante esta fase se desarrollaron sistemas de fallas en echelón y fallas con movimientos dextrales y que aparentemente permitieron el emplazamiento de gabros y diques tholeíticos sinplutónicos del Batolito de la Costa, relacionados a la Superunidad de Patap (100 Ma – 107 Ma; Cobbing E. et al., 1977).

Se define que a partir del Campaniano temprano, se produjeron una serie de fases tectónicas compresivas; como es el caso de la fase Peruana (84 Ma – 79 Ma), Incaica I (59 Ma – 55 Ma), Incaica II (43 Ma – 42 Ma), Incaica III (30 Ma – 27 Ma), Incaica IV (22 Ma), Quechua I (17 Ma), Quechua II (8 Ma – 7 Ma) y Quechua III (5 Ma – 4 Ma). Benavides-Cáceres (1999).

La Orogenia Peruana (Campaniano temprano – medio), originó ejes de pliegues NW - SE en el Grupo Yura y unidades más antiguas, fallas longitudinales NW - SE y el emplazamiento de plutones graníticos de las superunidades de Incahuasi y Tiabaya, del Batolito de la Costa (Benavides-Cáceres, 1999).

Entre los pulsos finales de la fase Peruana y el inicio de la fase Incaica I (Campaniano tardío – Paleoceno), se produce un régimen extensional manifestado por la presencia de cuencas intermontanas, rellenas por capas rojas como es el caso de la Formación Casapalca (Benavides-Cáceres, 1999).

Durante el Paleoceno tardío y Eoceno temprano se desarrolló la fase compresiva Incaica I (Noble et al., 1985). Este evento generó ejes de pliegues NW - SE en las capas rojas de la Formación Casapalca, seguido de levantamiento y erosión.

En los estadios tardíos del Eoceno medio, se da lugar a una nueva fase compresiva NE - SW, Incaica II que genera pliegues y fajas corridas, en las secuencias sedimentarias (Steinmann, 1929; Noble et al., 1979b, 1985, 1990). En el oligoceno, se produce la fase compresiva Incaica III, caracterizada por un brusco acortamiento NNE - SSW; paralelo a la dirección de convergencia en el Oligoceno (Sebrier et al., 1991). De igual manera, destaca la presencia de superficies de erosión.

Entre los 27 Ma y 26 Ma, se registra una fase extensional en la dirección NW – SE, que generó fallas normales, como las identificadas al Este de la localidad de Laramate y zonas de tensión NE - SW para el emplazamiento de la mineralización de 26.34 Ma en la Mina Antapite. Benavides-Cáceres (1999), en estadios tempranos del Mioceno (22 Ma) registra la fase compresiva Incaica IV (Noble et al., 1979a). Este evento generó ejes de pliegues NW – SE en los volcánicos del Oligoceno y superficies de erosión en los niveles más expuestos del Batolito de la Costa; que sirvieron para la deposición de secuencias volcánicas del Grupo Nazca de 20 Ma (Noble et al., 1979a; Bellon et al., 1977). Alrededor de los 17.0 Ma (Mioceno medio), se evidencia una fuerte fase compresiva definida como Quechua I (Steinmann, 1929; McKee et al., 1982; Mégard et al., 1985). Relacionada a esta fase se tiene la presencia de extensas superficies de erosión denominada como Superficie Puna (Benavides-Cáceres, 1999), que afectó a las secuencias volcánicas oligocenas – miocenas y al Batolito de la Costa (Macharé et al., 1986).

### **2.3.1 LINEAMIENTOS REGIONALES**

#### **2.3.1.1 LINEAMIENTOS FOTOINTERPRETADOS**

Los lineamientos que se describirán a continuación han sido interpretado a partir de imágenes satelitales Landsat TM, B4 – filtro 424, representando los rasgos estructurales de mayor importancia y extensión. Se han identificado tendencias N60°-80°W, N20°-50°W, N10°W, N-S, N10°E y E-W (Figura 5).

Los lineamientos N60°-80°W tienden al E-W, se extienden desde el cerro Lagunillas al cerro Mendoza al este de la propiedad, siendo la continuación de las fallas regionales Lagunillas y Cateador.



La tendencia E-W se observa en el Alto Mal Paso, como proyección E de la falla El Faro, atravesando los depósitos cuaternarios aluviales.

Los lineamientos N20°-50°W tendrían alguna importancia económica debido a la relación que manifiestan con los sectores con presencia de mineralización, se ubican entre los cerros Cornac y Frente de Jaqui al SE y NW de la propiedad minera, atravesando la zona mineralizada y proyectándose al NW de el área en explotación, sobre las secuencias volcánico – clásticas de la formación Guaneros (Kimmeridgiano – Caloviano) y las secuencias silico – clásticas de grupo Yura (Titoniano – Neocomiano). También se ha observado este lineamiento en la hoja de Jaqui en la quebrada la Paccha, emplazada en la diorita mesozoica y la tonalita y granodiorita Tiabaya.

Las tendencias N10°W a N10°E, vienen a ser posteriores a los lineamientos NW que son cortadas y desplazadas de manera dextral (100 a 200 m), observándose este comportamiento en los cerros Chaupi Orcco y Colorado.

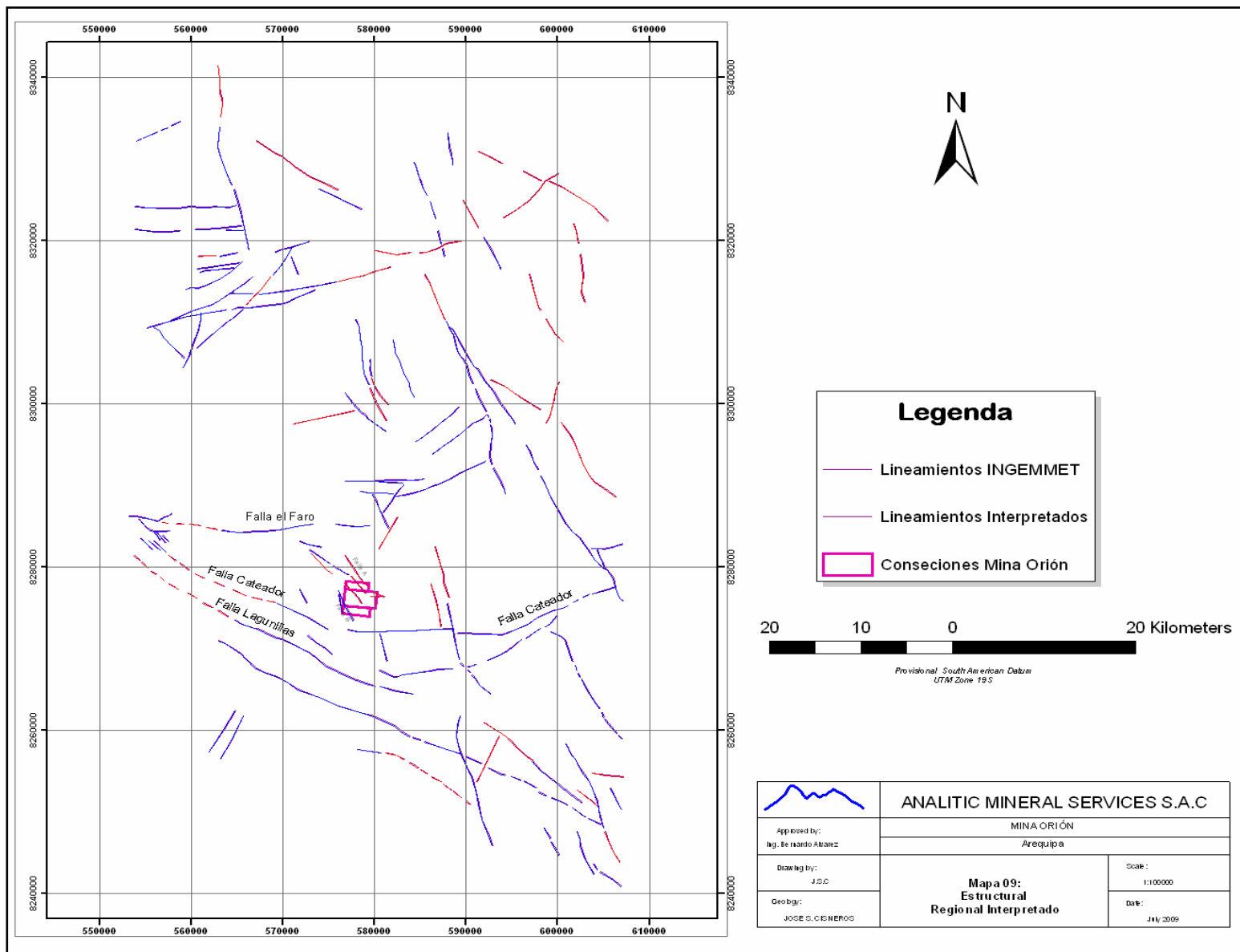
Los lineamientos N60°-70°E con tendencia a E-W, cortan y desplazan (50 a 100 m) al sistema NW, se ha determinado en el cerro Hierba Buena Mayor (Hoja 31-ñ), ubicados sobre las secuencias del grupo Yura (Titoniano – Caloviano) y los Volcánicos Sencca (Plioceno Superior).

### **2.3.1.2 SISTEMA DE FALLAS REGIONALES**

El área en estudio se encuentra localizada dentro de la zona de fallamiento en bloques, donde se manifiestan estructuras mesoscópicas que se extienden de 30 a 40 km. de rumbo E-W con variaciones NW-SE, a continuación se describirán algunas estructuras de importancia regional.

**Falla Cateador:** Forma parte del conjunto de fallas normales verticales de este sector, que ha sufrido reactivaciones debido a movimientos orogénicos y epirogénicos, donde el bloque norte ha descendido con respecto al bloque sur. Esta falla limita al sur el área de estudio mostrando un posible movimiento normal – dextral, que va ha contribuir a la formación de las estructuras dextrales de menor envergadura pero de importancia distrital.

**Falla El Faro:** Muestra un rumbo promedio E-W ubicándose al norte del cuadrángulo de Chala, es una falla normal vertical donde el bloque sur desciende con respecto al bloque norte, esto evidencia la presencia de un graben entre estas 2 fallas mayores, además tendría que mostrar una



**Figura 5: Mapa estructural regional, mostrando en color magenta los lineamientos interpretados, estos se relacionan a lineamientos importantes dentro del distrito minero Oríón.**

componente dextral que favorece la formación de las estructuras simétricas.

**Falla del Atado**: Se manifiesta como una falla de naturaleza normal vertical que ha pasado por reactivaciones debido a movimientos gravitacionales, tiene un rumbo NW-SE.

**Falla Palomino**: Es una falla normal de dirección N15<sup>0</sup>W a E-W, que se expone aproximadamente por unos 40 Km. el bloque NE ha descendido con respecto al bloque SW.

## **2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA DEL BATOLITO DE LA COSTA: FRANJA NAZCA - OCOÑA**

El tectonismo por efecto de la convergencia de las Placas referidas en la orogenia del Cretáceo Superior-Cenozoico Inferior dio lugar a la emersión de la Cordillera Occidental de los Andes con un magmatismo intenso en su borde Oeste de la Cordillera Occidental provocando el emplazamiento del Batolito de la Costa principalmente, cuyas soluciones residuales fueron ricos en Cu, Au-Cu originando la Provincia Metalogenética de Cu del Batolito de la Costa y Planicie Costera y de la Subprovincia Metalogenética de Au-Cu del Batolito de la Costa en Nazca-Ocoña. El Batolito de la Costa es mayormente de composición intermedia a ácida (Figura 8).

Basándose en las características mineralógicas y geométricas, se han catalogado 7 tipos de depósitos minerales claramente relacionados al magmatismo y los intrusivos del batolito. De estos 2 son volcanogénicos (IOCG) y los 5 restantes tienen una afinidad plutónica (Vidal C., 1980. Figura 6).

Los depósitos de afinidad volcanogénica (IOCG) se definen como capas con concentraciones de baritina, metales base y sulfatos, o cuerpos estratiformes de anfibolitas-pirita-calcopirita. Ambos ocurrieron con predominancia de rocas volcánicas durante el cretáceo medio-tardío.

Los depósitos de afinidad plutónica probablemente están mayormente asociados a los gabros tempranos que a los granitoides tardíos, y estos comprenden cuerpos y vetas irregulares de anfibolitas-magnetita-calcopirita. Los granitoides están asociados a vetas de cuarzo-especularita-calcopirita-(turmalina-K, feldespatos), skarns de calcopirita-molibdenita-schelita, vetas de cuarzo-carbonatos-pirita aurífera, zonas de stockwork y diseminados de calcopirita-molibdeno-pirita-(cuarzo-sericita) del tipo pórfido de cobre.

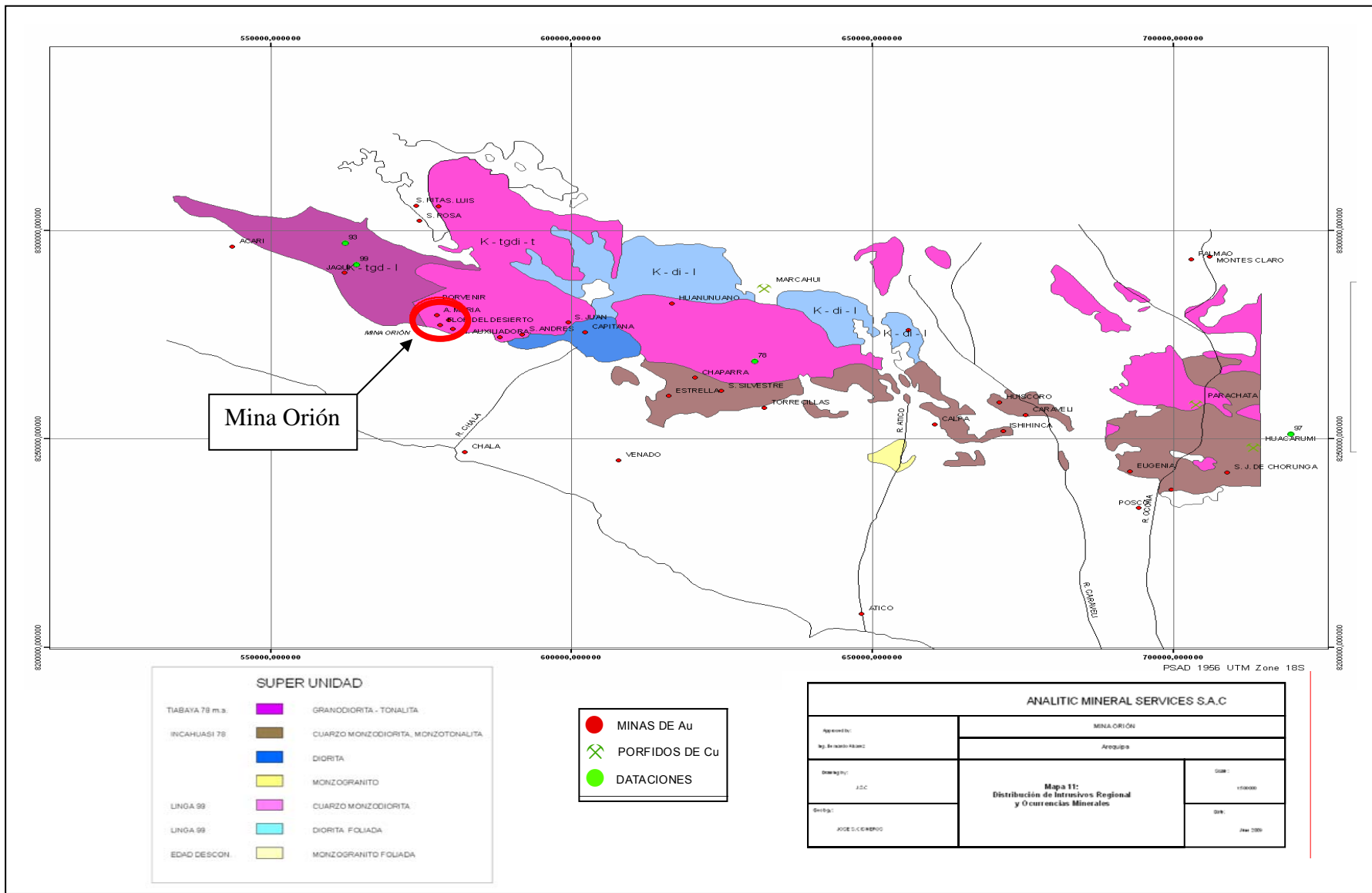


Figura 6: Ubicación de Minas y ocurrencias de Au – Cu de la franja Palpa – Ocoña y relación a pórfidos de Cu (modificado Injoke, 2000/ Pitcher 1985).

Regionalmente estos distritos auríferos mesotermales del Batolito de la Costa están relacionados a las súper unidades félsicas Linga, Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la costa, asociados a los pórfidos de Cu-Mo teniendo estos alguna vinculación con la mineralización de Au.

Para una adecuada comprensión de la distribución espacial de las mineralizaciones de Au-Ag, Cu-Fe; de la franja Nazca – Ocoña se procederá a describir los principales yacimientos y ocurrencias del sector.

### **Mina Ishihuinca**

El depósito se ubica en el cerro Sunihuilca, distrito y provincia de Caravelí región Arequipa. El yacimiento presenta estructuras de relleno, con mineralización de Au-Cu de origen hidrotermal facies mesotermal, con texturas de relleno de fracturas y micro fisuras.

La mineralización supergénica se caracteriza por bornita, calcosita, digenita, covelita, malaquita, hematita y limonita. La mineralogía hipógena se observa oro nativo, pirita, calcopirita, arsenopirita, esfalerita, tetraedrita, cuarzo, calcita y esfena o titanita.

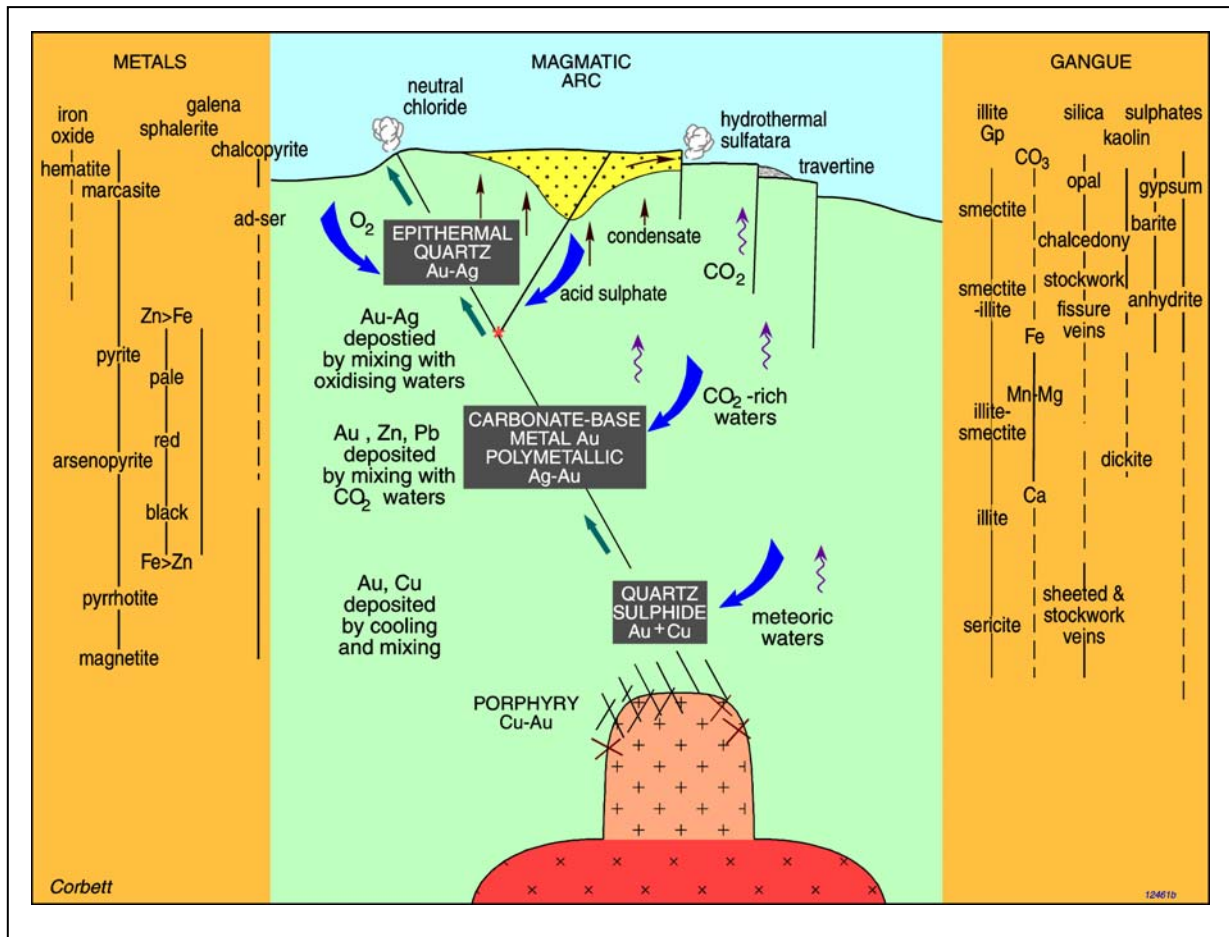
La pirita es el sulfuro predominante en la veta principal, ocurre diseminada irregularmente en el cuarzo, los cristales de pirita son euhedrales, subhedrales y anhedrales micro fracturadas, siendo la pirita el receptáculo fundamental del Au en las estructuras.

### **Mina Diluvio**

Ubicada en el distrito de Otocha (Lucanas – Ayacucho), es un yacimiento de relleno de fisuras y brechas, con una mineralización de Au-Pb-Zn-(Cu) de origen hidrotermal, facies mesotermal.

El ensamble de mineralización esta dado por cuarzo lechoso-pirita-arsenopirita-esfalerita (exsoluciones de calcopirita), calcopirita granular-galena-oro nativo. Existe una relación directa entre el Pb-Zn y Au, debido que al incrementarse los valores de Pb-Zn se incrementa a su vez los de Au.

La galena es el principal receptáculo de la mineralización aurífera, el oro se encuentra como inclusiones y en contactos de los diferentes minerales de mena. No se observan inclusiones de oro en la pirita.



**Figura 7: Modelo esquemático de la transición de niveles hipotermiales – mesotermiales – epitermiales, mostrando ensambles de mineralización y alteración (Corbett and Leach, 1997).**

### Mina Calpa

Situada en el distrito de Atico, provincia de Caravelí, región Arequipa. La mineralización de Au (Ag – cu) se han emplazado en fracturas formando vetas de origen hidrotermal, facies mesotermal.

Las características mineralógicas en el nivel supergénico son calcocita, digenita, covelita, bornita, marcasita y limonita; nivel hipógeno oro nativo, calcopirita, pirita, galena, esfalerita, pirrotita, arsenopirita, tetraedrita, boulangerita, esfena, sericita, cuarzo y calcita; agrupando a minerales de mena, ganga y alteración.

### Mina León

Se encuentra en el distrito y provincia de Caravelí, región Arequipa. Depósito vetiforme Au de origen hidrotermal, facies mesotermal; roca encajonante de composición tonalítica.

La pirita es el sulfuro predominante, se presenta en cristales subhedricos y euhedricos, se encuentra diseminado irregularmente en el cuarzo blanco y grisáceo. Los agregados granulares de pirita están microfracturados, parcialmente rellenos y reemplazados por limonita. La pirita exhibe inclusiones de oro nativo, calcopirita, cuarzo y limonita.

### **Mina Posco**

Se ubica en la parte inferior de la quebrada Posco, entre los cerros Infiernillo y Cruz Blanca, en la margen derecha del río Ocoña, provincia de Condesuyos, región Arequipa.

Depósito vetiforme de Au – Cu – (Ag) de origen hidrotermal, facies hipotermal superior a mesotermal. La mineralización hipógena esta dada por cuarzo, esfena o titanita, pirita, oro nativo, electrum, nagyajita, pirrotita, calcopirita, bismutinita, esfalerita (con exsoluciones de calcopirita), galena, tetraedrita, calcita, sericita, clorita y biotita hidrotermal; muestra ensambles de mena, ganga y alteración.

La pirita microfracturada es el principal receptáculo del oro nativo, la tonalidad del oro es variable desde amarillo, blanco amarillento hasta crema.

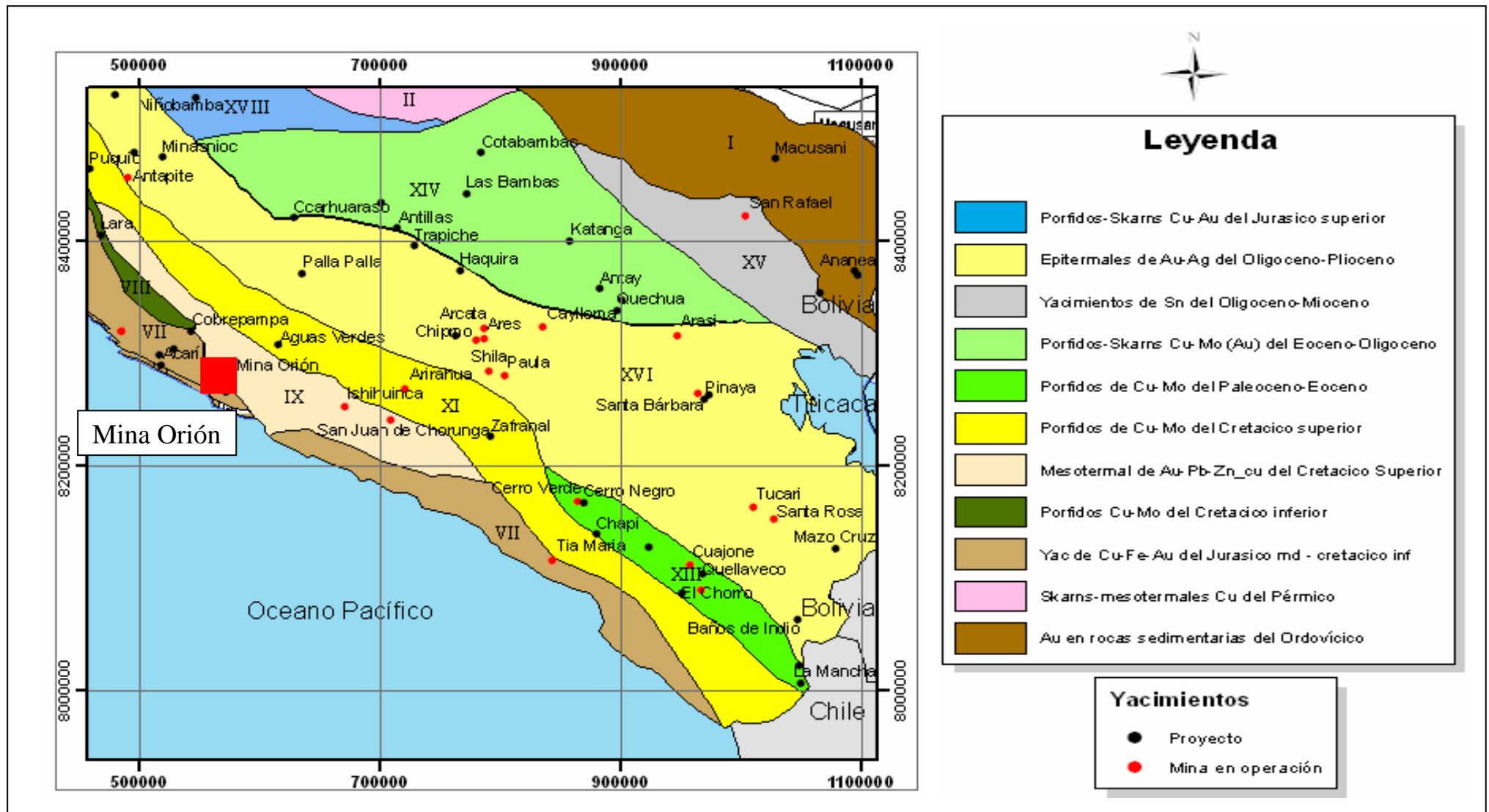


Figura 8: Mapa de Franjas Metalogenéticas Regional, mostrando la ubicación de la Mina Orión dentro de la franja de yacimientos mesotermiales de Au-Pb-Zn del Cretáceo Superior (modificado INGEMMET, 2007).



# **CAPITULO III**

## **GEOLOGÍA DEL ÁREA DEL DEPÓSITO AURÍFERO**

### **ORIÓN**

En el área de estudio se han identificado rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas. Estas rocas se emplazan entre edades que van del Jurásico al Cenozoico inferior, seguidas de depósitos cuaternarios erosionados.

#### **3.1 GEOLOGÍA LOCAL**

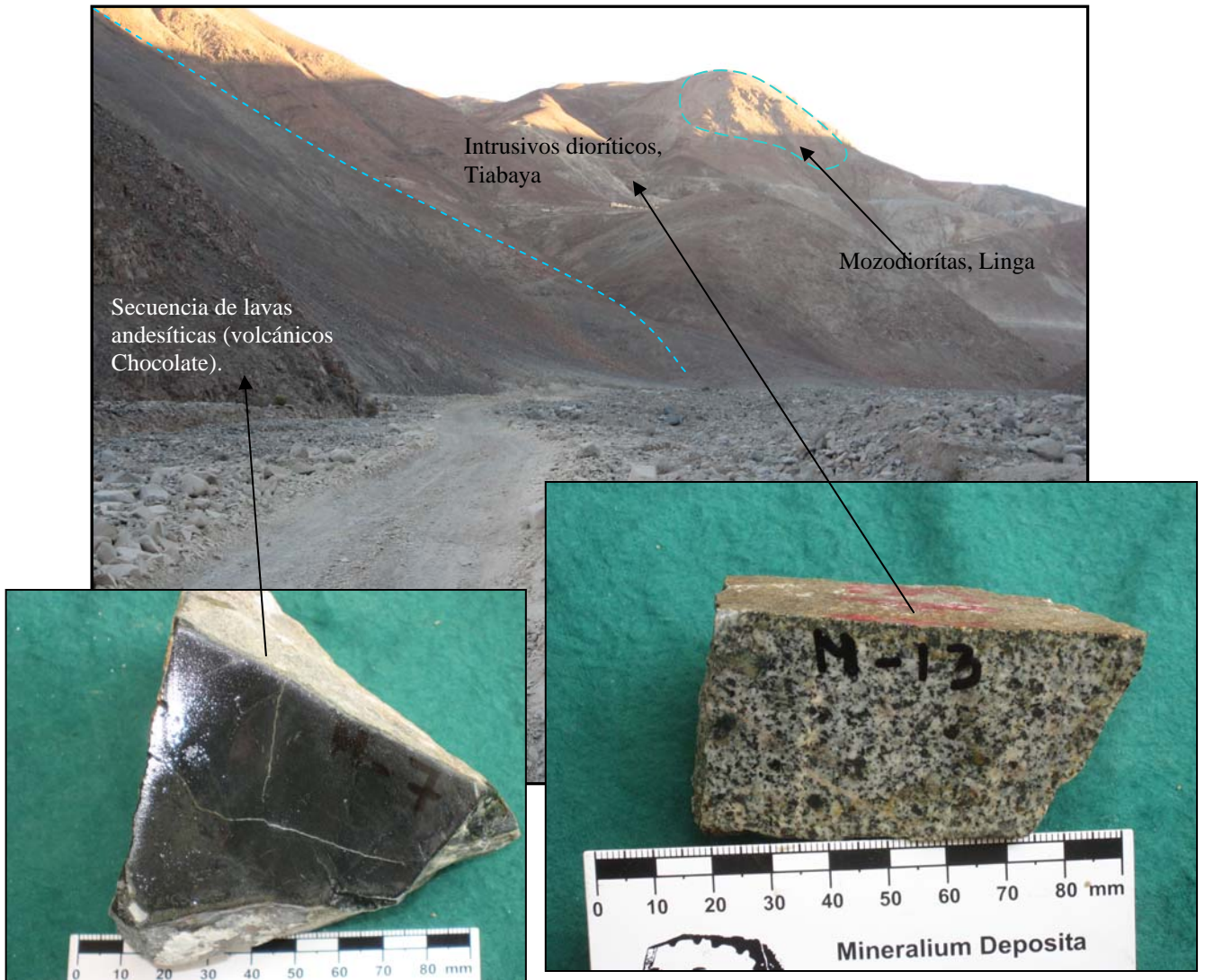
La litoestratigrafía está definida por los volcánicos Chocolate, formación Guaneros, grupo Yura (formaciones Yauca y Hualhuani), formación Millo, volcánicos Sencca y depósitos cuaternarios. Además existen diversas unidades intrusivas de alcance regional en el área de estudio (Figura 9).

##### **3.1.1 ESTRATIGRAFÍA Y MAGMATISMO**

**Volcánicos Chocolate (Liásico inferior):** esta secuencia aflora en los sectores este y sureste del prospecto, se ha observado en la base (al este, cerro Cornac) series de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, con intercalaciones de niveles delgados conglomerádicos (pocos centímetros) correspondiente al miembro inferior Chala. Seguido de bancos de lavas andesíticas de color lila a gris – verdoso, textura porfírica (fenos de plagioclasas, horblendas), matriz afanítica, intercalada con niveles delgados (1 m) de tufos de cristales de color lila y sills porfido dioríticos (horblendicos, potencias de 2 a 20 m), esta secuencia corresponde al miembro Lucmilla (quebrada Francia).

**Formación Guaneros (Kimmeridgiano – Caloviano):** se ha observado una secuencia de lavas andesíticas, color gris – verdoso, textura porfírica, matriz afanítica, intercalado con niveles delgados de areniscas cuarzosas blancas compactas; seguido de bancos de areniscas cuarzosas de color blanco, grano medio a grueso (cuarcitas, cerro Francia y Orión), finalmente se nota una secuencia de areniscas rojizas de grano medio a fino, cemento de arcillas, intercalado con limo areniscas con cemento calcáreo y limolitas de color beige a naranja; cortados por diques porfido dioríticos (horbléndico) y pequeños stocks de diorita.

En contacto con el intrusivo se desarrollaron niveles de metamorfismo moderado, se observan esquistos de sericita, micas y andalucita, esquistos sericita + micas – cordierita?, corneanas de cuarzo, micas y andalucita determinados en estudio de secciones delgadas.

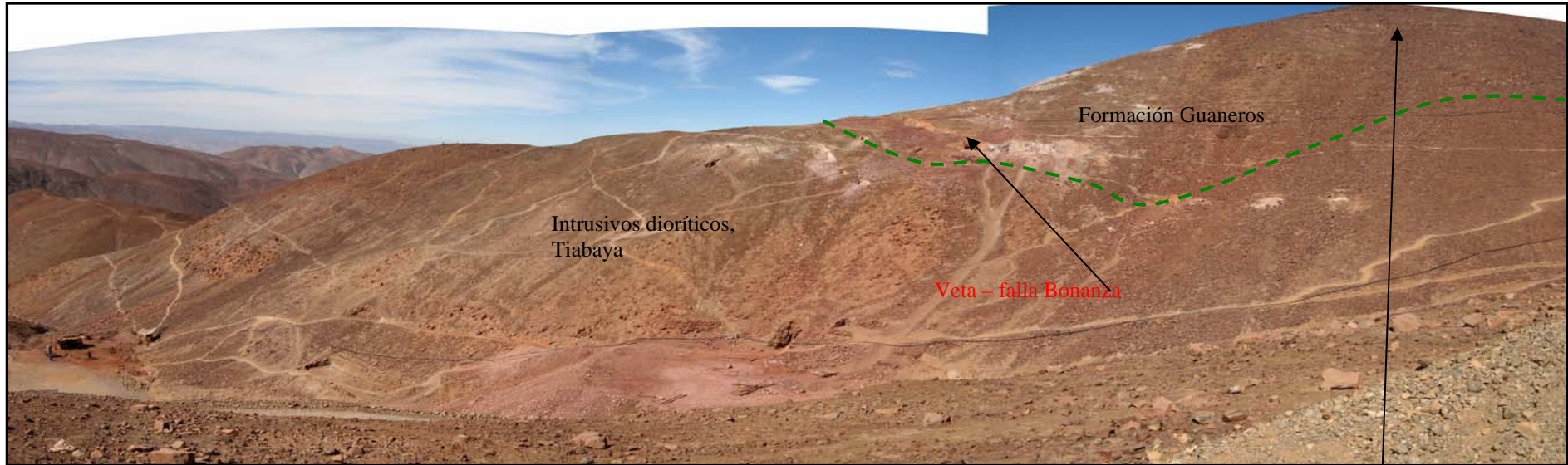


**Foto 1: vista al norte, volcánicos Chocolate en contacto con las dioritas – tonalitas de la súper unidad Tiabaya.**

**Grupo Yura (Titoniano):** Extendiéndose al suroeste del prospecto se han identificado dos formaciones del grupo Yura, la Formación Yauca y Hualhuani.

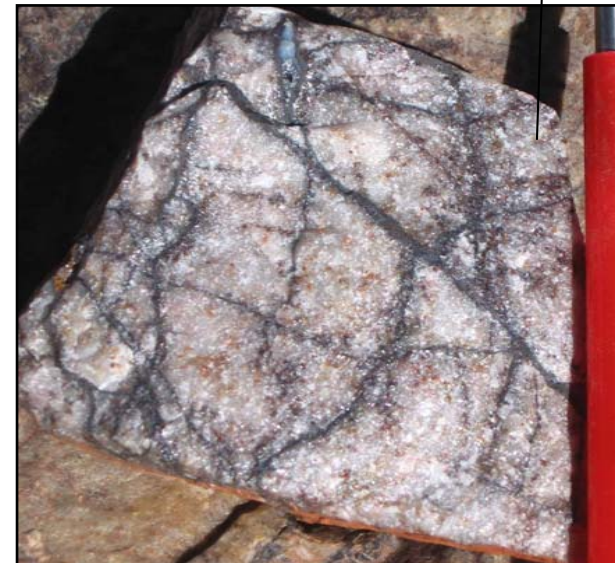
**Formación Yauca:** Del cerro Orión al suroeste se nota unas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, color blanco a rojizo, con diseminación de óxidos de hierro (pirita), limo areniscas con cemento calcáreo, color rojizo a pardo, limolitas y lutitas de color gris – rojizo. En contacto con los intrusivos se notan horfelns compactos y venillas de epidota.

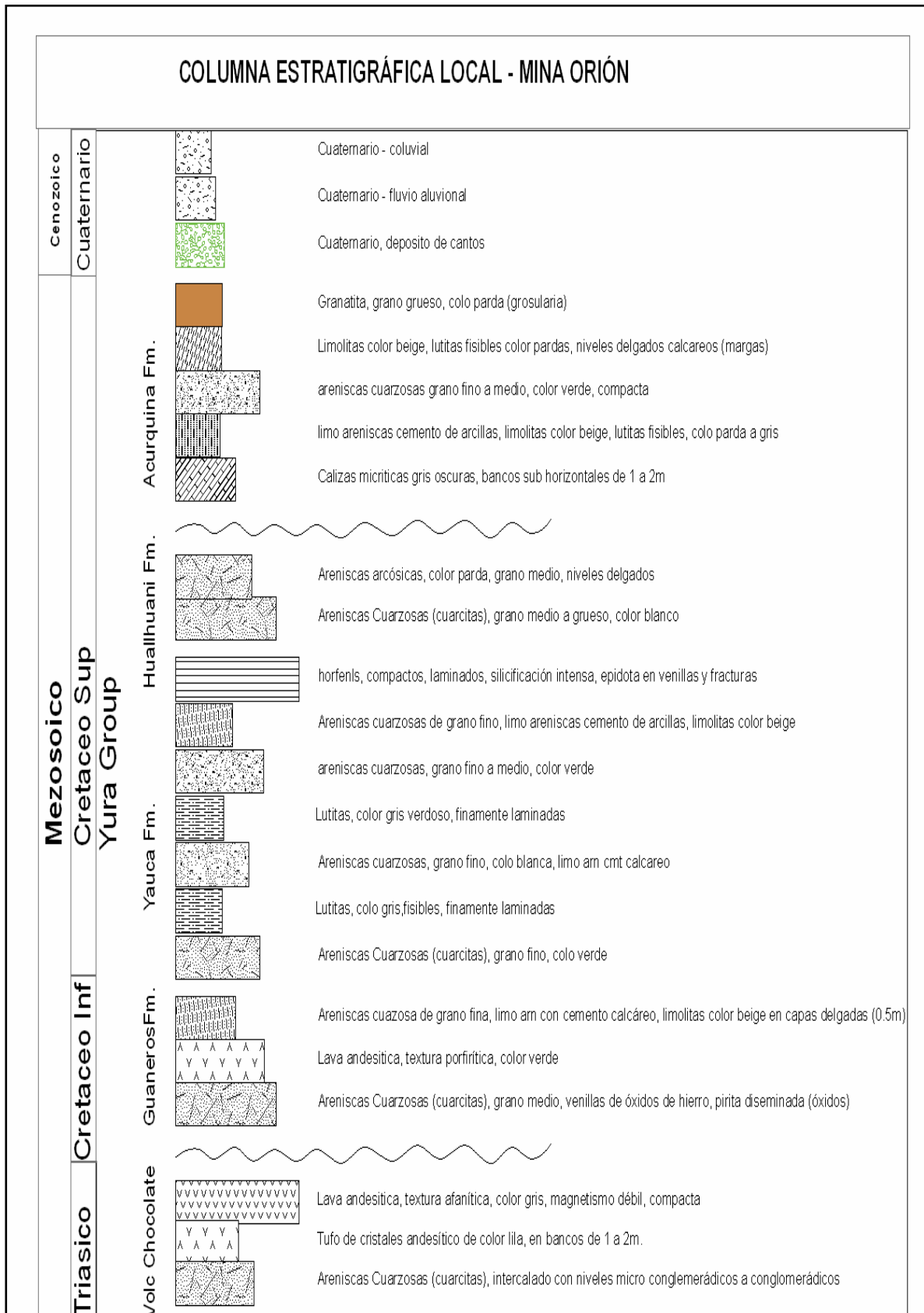
**Formación Hualhuani:** al oeste de la veta Tauro (Js – 143), se tiene una secuencia de areniscas cuarzosa de grano medio, color blanco en un banco potente (200 m) con venillas de óxidos de hierro, jarosita y pirita diseminada (débil), seguido de una secuencia de areniscas arcósicas, grano medio, color gris – rojizas y óxidos de hierro en intersticios.



**Foto 2: Secuencia sedimentaria de la formación Guaneros en contacto con las dioritas del Tiabaya, presencia de stock monzodiorítico del Linga.**

**Foto 3: Areniscas cuarzosas de la formación Guaneros, fracturadas, venillas de óxidos de manganeso, diseminación de pirita (óxidos de hierro).**





**Figura 9: Columna estratigráfica local, Mina Orión.**

**Formación Acurquina (Albiano - Turoniano):** Se encuentra aflorando en el sector oeste – suroeste del prospecto, habiéndose identificado 2 miembros de esta formación.

**Miembro Aguas Verdes:** En el extremo suroeste del área prospectada se tiene una secuencia de calizas grises, fosilíferas, en paquetes de 1 a 2 m, la estratificación tiene una orientación de N330<sup>0</sup> buzando 6<sup>0</sup>.

**Miembro Arenizo:** Aflora como niveles intercalados de areniscas con cementos calcáreos, limo areniscas calcáreas, limolitas claras y algunos niveles esporádicos de margas (violeta), en bancos de 0,5 a 1 m, muestra una orientación N200<sup>0</sup> buzando de 15<sup>0</sup> a 50<sup>0</sup>.

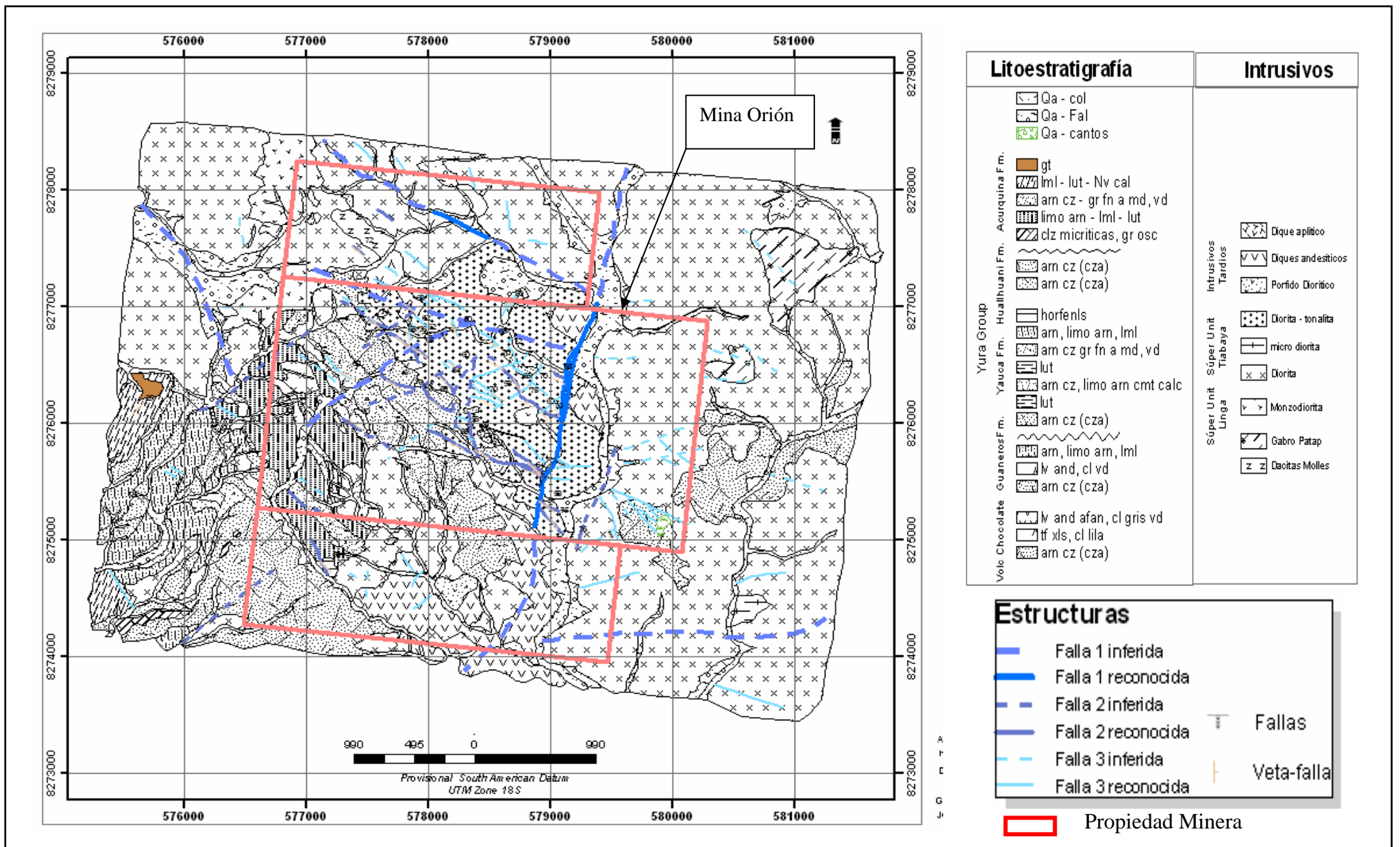
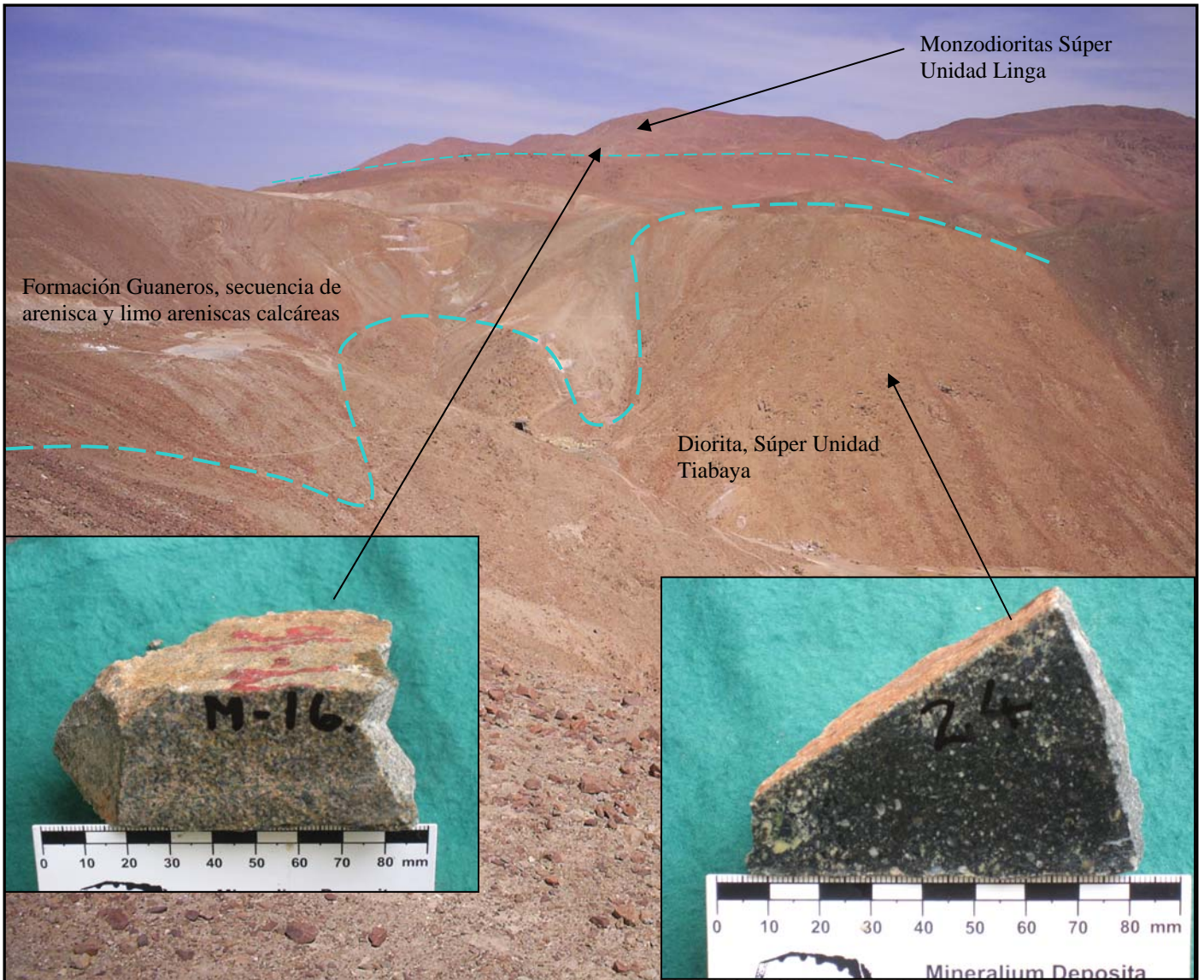


Figura 10: Mapa geológico – estructural distrital de la Mina Orión, Chala - Arequipa.

### 3.1.2 MAGMATISMO

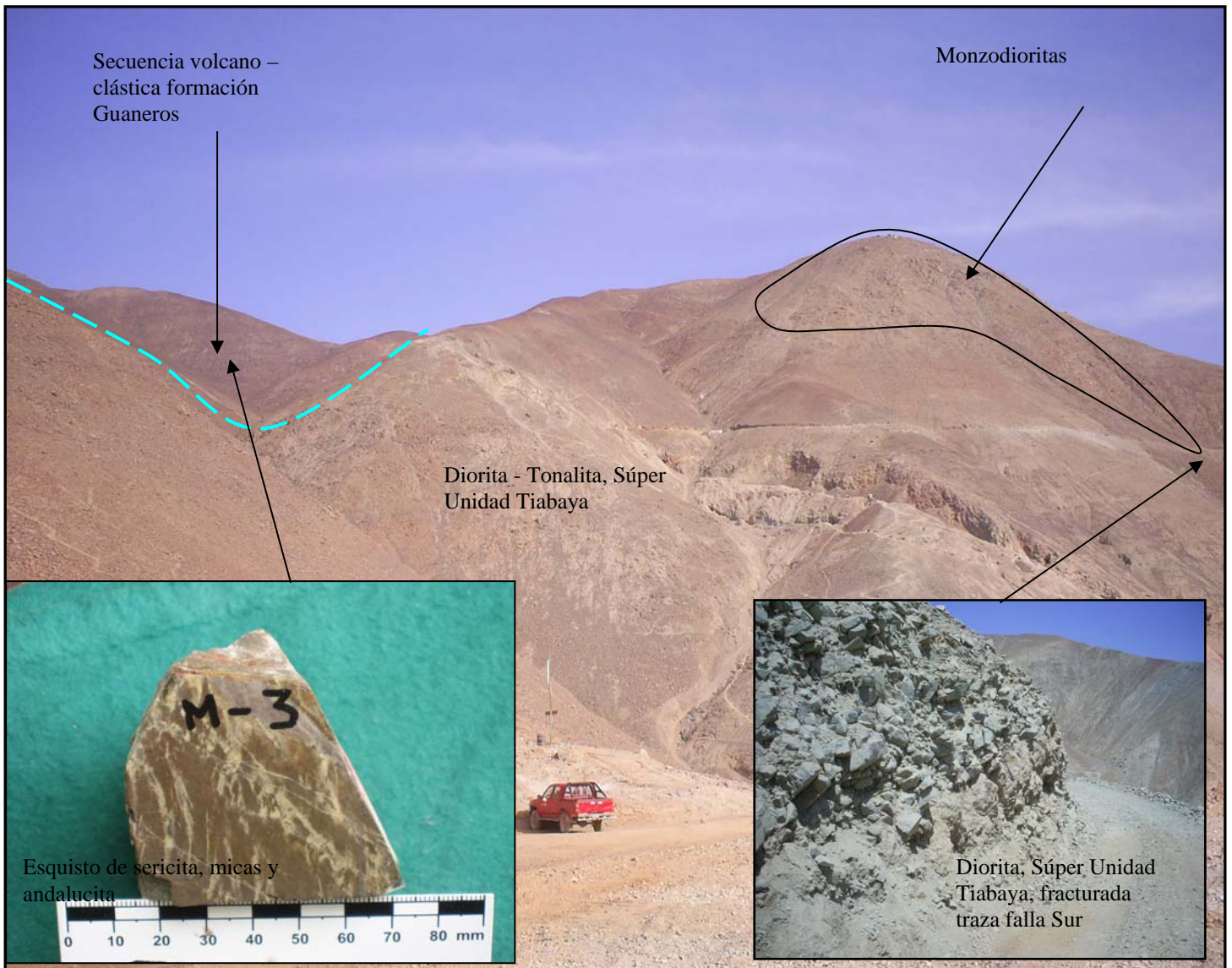
**Dacitas Molles:** Aflora en el sector central - norte de la propiedad minera, como un pequeño stock subvolcánico de elongación NW – SE, ancho de unos 300 m y una longitud de 500 m. Esta constituido por dacitas porfíricas de color verdoso a gris, con ojos de cuarzo de hasta 0,5 cm, compacta y superficie de erosión angulosa, cloritización moderada afectando a los fenocristales de plagioclasas.



**Foto 4:** Vista al NW, secuencia volcano – clástica (formación Guaneros) descansa sobre dioritas de la súper unidad Tiabaya, al fondo de color rojizo son los stock mozodioríticos, Linga.

**Gabros (Patap):** Dentro de la propiedad minera su exposición es bastante reducida, encontrándose algunos afloramientos en el extremo NE del área estudiada, estos afloramientos están a manera de relictos o techos colgantes y se caracterizan por estar compuestos plagioclasa (labradorita – bitonnita), hornblendas, augitas, textura fanerítica, grano medio, color negro, moderadamente magnéticos.

**Súper Unidad Linga:** Aflora como pequeños stock al NW del área de estudio, está conformada por monzodioritas leucocratas (plagioclasas – ortosas, hornblendas, cuarzo), textura fanerítica de grano medio a grueso, color rosa a blanco, con venillas de cuarzo hialino – lechoso, venillas de epidota y algunas estructuras NW – SE gossinizadas.



**Foto 5: Vista al NW, diorita – tonalita Súper unidad Tiabaya, en contacto con monzodiorita Súper unidad Linga.**

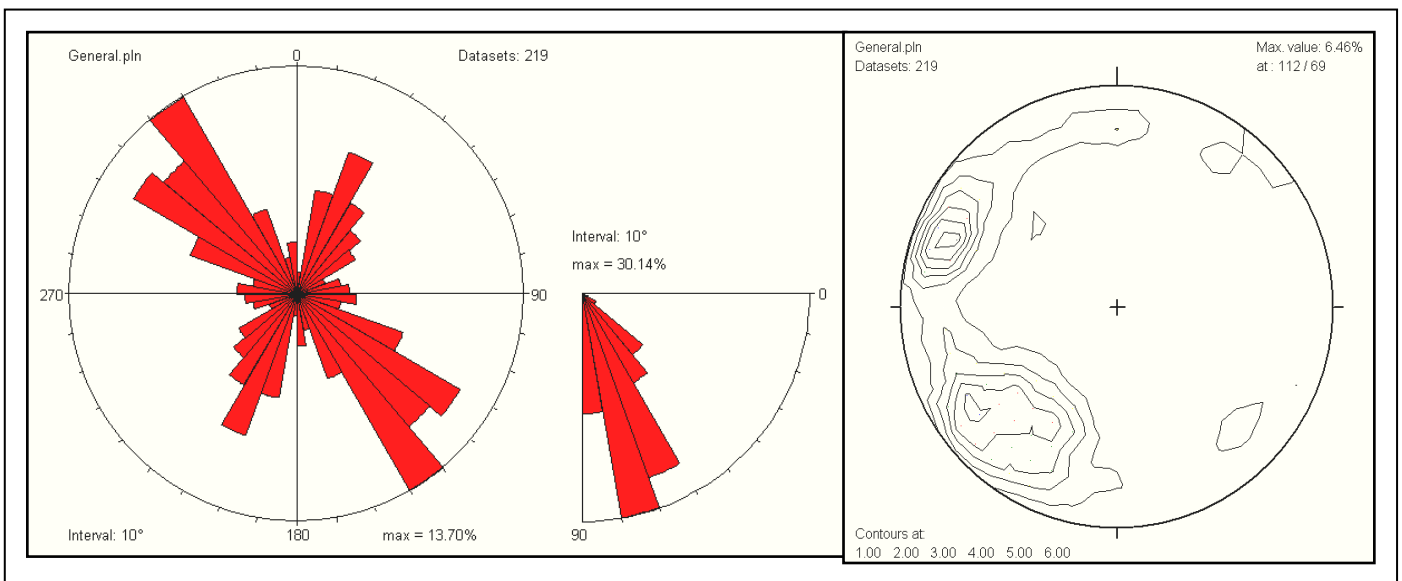


**Súper Unidad Tiabaya:** Esta unidad es la de mayor difusión en el área de estudio está conformada por stock de tonalita – diorita; diorita (plagioclasas – hornblenda – biotita) de textura fanerítica de grano medio a grueso, color verdoso, muestra cloritización moderada en los máficos y una argilización débil producto del intemperismo.

Tonalita biotítica (plagioclasas – hornblenda – ortosa – biotita – cuarzo), textura fanerítica de grano medio, color blanquecino, esta afectada por argilización débil a moderada y cloritización moderada. Esta unidad muestra relación con la mineralización al ser rocas con un alto grado de reacción química ante la presencia de fluidos hidrotermales.

### 3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En área en estudio se encuentra dentro de la zona de fallamiento en bloques del Batolito de la Costa, entre 02 fallas de alcance regional la falla el Faro al norte y al sur la falla Cateador, generando un bloque deprimido donde se ubica la mina Orión.



**Figura 11: Derecha, diagrama de rosetas, muestra clara tendencia N30<sup>0</sup>-50<sup>0</sup>W de estructuras mineralizadas y N10<sup>0</sup>-50<sup>0</sup>E de fallas post mineralización. Izquierda, diagrama de contornos de puntos señala mayor preponderancia de tendencia NW sobre las NE corroborando el diagrama de rosetas.**

Se han observado diversos sistemas de fallas, están caracterizados por fallas de rumbo N10<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>E buzando de 70<sup>0</sup>-75<sup>0</sup> NW, con potencias variables de 0.8 m a zonas de clataclastitas de 10 a 20 m (falla Sur) y estructuras de rumbo N50<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>W subverticales y longitudes de afloramiento de 100 a 300 m, mostrando

gran cantidad de arcillas y brechas en superficie (fallas de 1er orden). Existe otro grupo de fallas (2do orden) de rumbo N30°-60°E subverticales que aparentemente fueron originadas por movimientos en las fallas de 1er orden, esto por desplazamientos pequeños observados (2 a 10 m) de naturaleza sinistral y dextral independientemente. Los dos sistemas de fallas mencionados afectan desplazando y fragmentando a los sistemas de vetas reconocidos (Figura 12).

El área prospectiva sobre la cual se están concentrando las observaciones (600 hectáreas) se encuentra dividida en 3 segmentos dominados por tres fallas post mineralización de rumbo NE – SW; falla Sur (579060,8276000) limita al sur el sistema de vetas – fallas de rumbo NW – SE (Francia, Almacén, Vaduz I – II) y también limita al norte el sistema de vetas – fallas Chinchilico de rumbo NW – SE. Falla Orión de rumbo NE – SW ubicado en parte central (378220. 8276200) fracciona sistema de vetas Francia al sur y al norte la veta Bonanza de rumbo NW – SE. Falla Norte de rumbo NE – SW (377700,8276500) limita al norte a la veta Bonanza y al sur a la veta Burra Muerta siendo la continuación de la misma. Estas fallas de 1er orden muestran diversos movimientos de naturaleza sinistral inicial con una reactivación dextral. A continuación se describirán algunas fallas de importancia de alcance local a distrital. La denominación de fallas de 1er, 2do y 3er orden, están en función de la dimensión o envergadura de la falla y no indican ninguna relación cronológica.

## **Fallas de 1er Orden**

### **Falla Sur**

Es una falla de rumbo N10°-30°E buzando de 70°-75° NW, con potencias variables de 0.8 m a zonas de cataclastitas de 10 a 20 m, esta falla es considerada post mineral con un movimiento sinistral y una reactivación dextral de menor envergadura, desplazando al sistema NW de 20 a 40 m, se puede seguir la traza de la falla hasta 5 km de longitud.

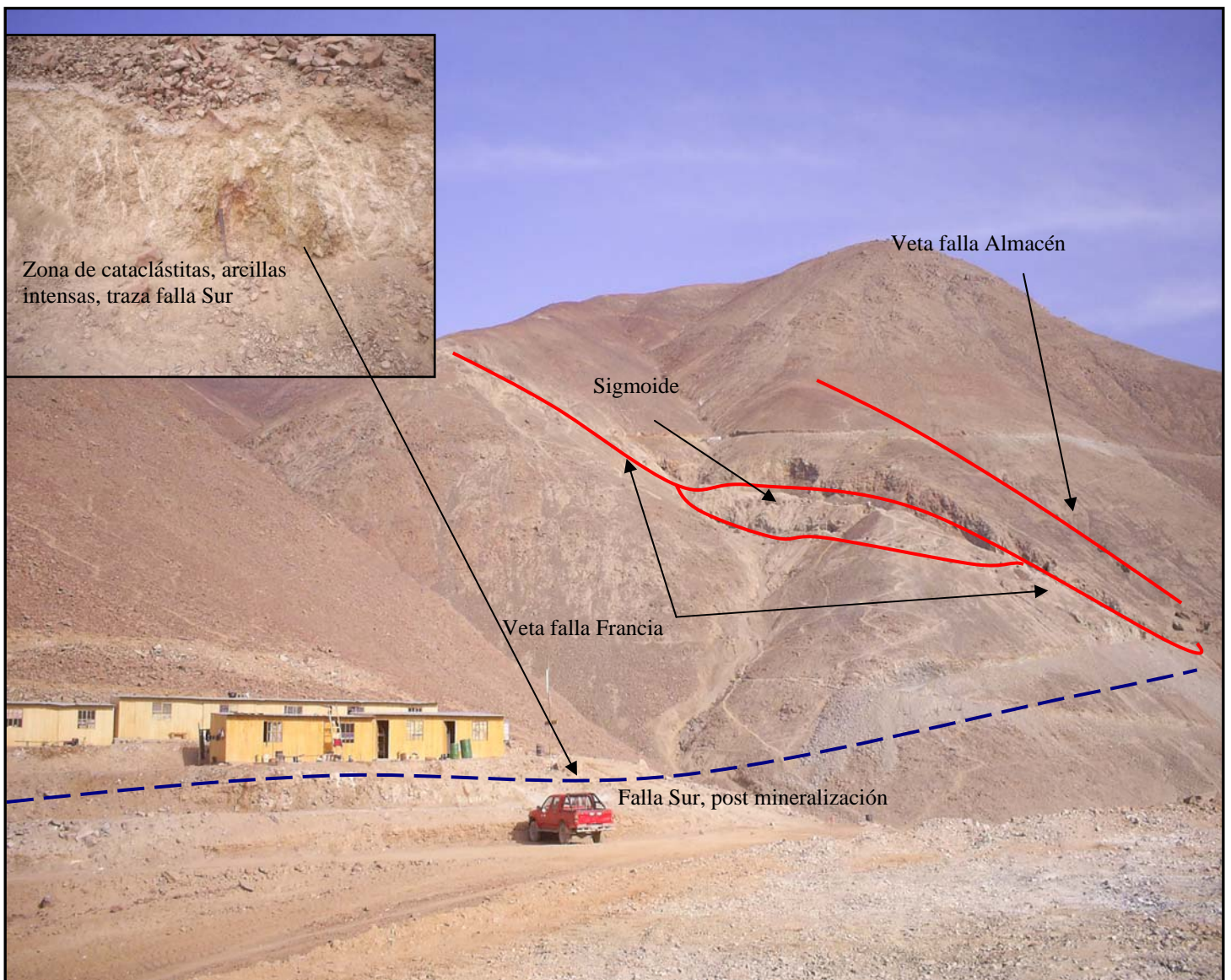
A lo largo de la traza de esta estructura se puede observar diversas características importantes, como son una zona de cataclastitas de unos 20 m (arcillas, material triturado, abundantes venillas rellenas por arcillas) ubicada a la espalda de las oficinas Mina, un plano de falla y algunos sectores con brechas tectónicas frente al área de mantenimiento.

Está estructura interrumpe al Sur los sistemas mineralizados como Francia, Almacén, Vaduz I y II, Julia (Cesar), desplazándolos sinistralmente de 20 a 40

m (detalle observado nivel 725, veta Julia), así también corta al sistema Chinchilico en la proyección al NW.

### **Falla Norte**

Esta estructura de rumbo N50°-60°E, con una potencia aproximada de 10 m, mostrando gran cantidad de arcillas y brechas en superficie, corta y desplaza (150 a 200 m) de manera sinistral al sistema de vetas Bonanza, Cristina, Burra Muerta y a un sistema N20°-50°W al NE de Burra Muerta. La traza de la falla se puede seguir por 3 km aproximadamente.



**Foto 6: Vista al NW, falla Sur post mineralización limitando al sur al sistema de vetas – fallas Francia, Almacén.**

### **Falla Orión**

La estructura de rumbo N10°-40°E, subvertical con una potencia aproximada de 2 m, zonas de cataclásticas de hasta 20 m, relleno de arcillas, se puede seguir la traza por 0,5 km, afectando al sistemas de vetas gallera, cristina y Bonanza.

En interior mina (Bonanza Superior) se ha observado el plano de falla, brecha de falla con fragmentos subanguloso y cemento de arcillas, sobre el plano de falla se han observado estrías sub horizontales indicando movimientos de naturaleza dextral y sinistral, no se pudo distinguir alguna cronología relativa.

### **Fallas de 2do Orden**

Este sistema de estructuras de menor importancia, originadas por el movimiento de las fallas de 1er orden, muestran rumbos de N10°-20°E y N50°-60°E subverticales, se reconocen trazas de unos pocos a metros hasta 300 m, teniendo efectos reducidos en desplazamientos sobre las estructuras mineralizadas (2 a 10 m).

### **Sistema de Vetas y Mantos**

Se ha reconocido un sistema de estructuras mineralizadas (vetas – fallas) que muestran un rumbo promedio de N20°-60°W, buzamiento 40°-75°NE, potencias variables de 20 cm hasta 10 m en los sigmoides y prolongaciones tipo rosario. Estas estructuras están siendo fragmentadas y desplazadas por fallas post mineralización, variando la geometría inicial del depósito.

En el extremo norte de la propiedad minera, se tienen desarrollo de skarn de granates, con presencia de mantos de orientación N30°-50°E, buzamiento de 25° al NW y potencia variables de 20 a 60 cm.

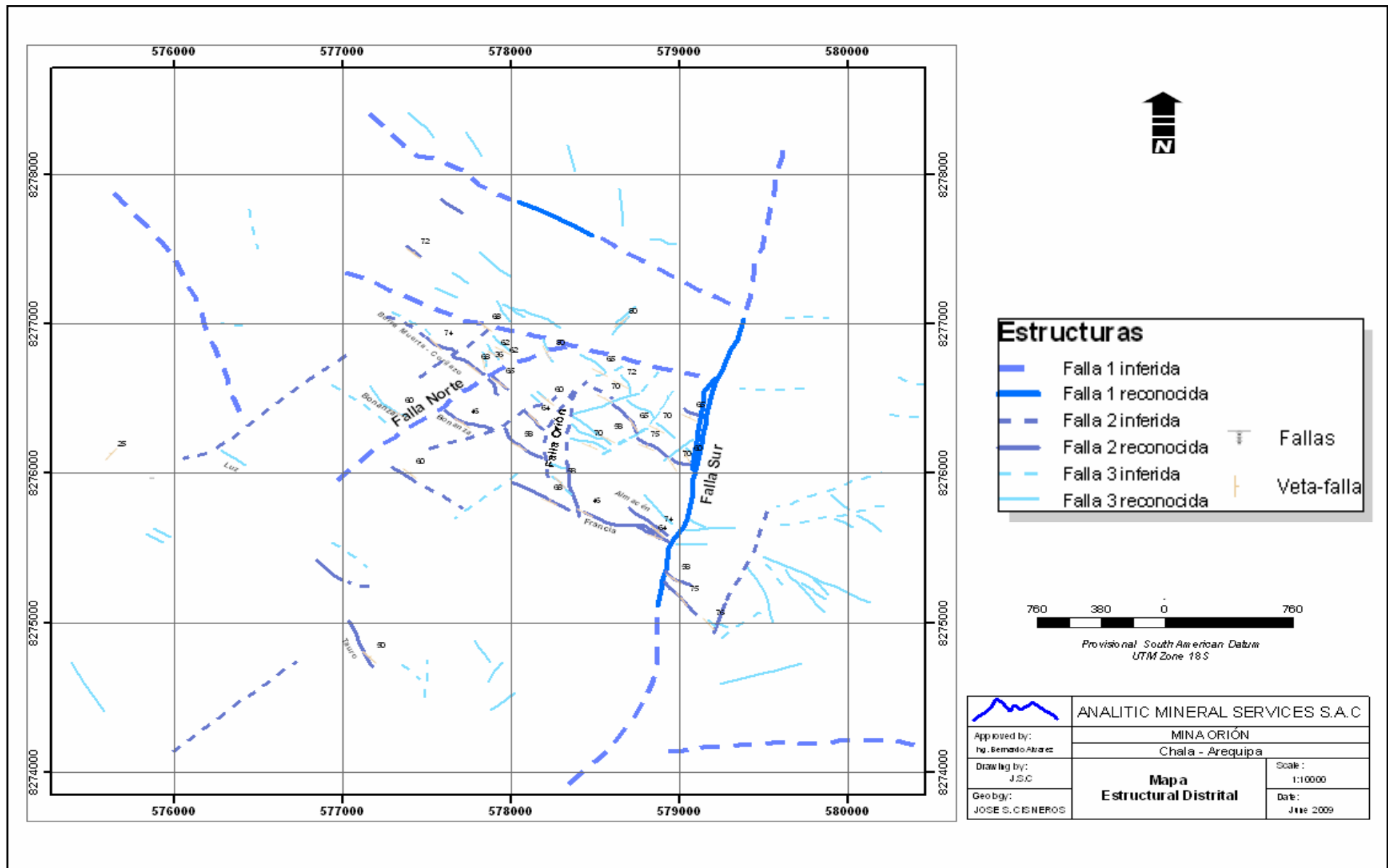
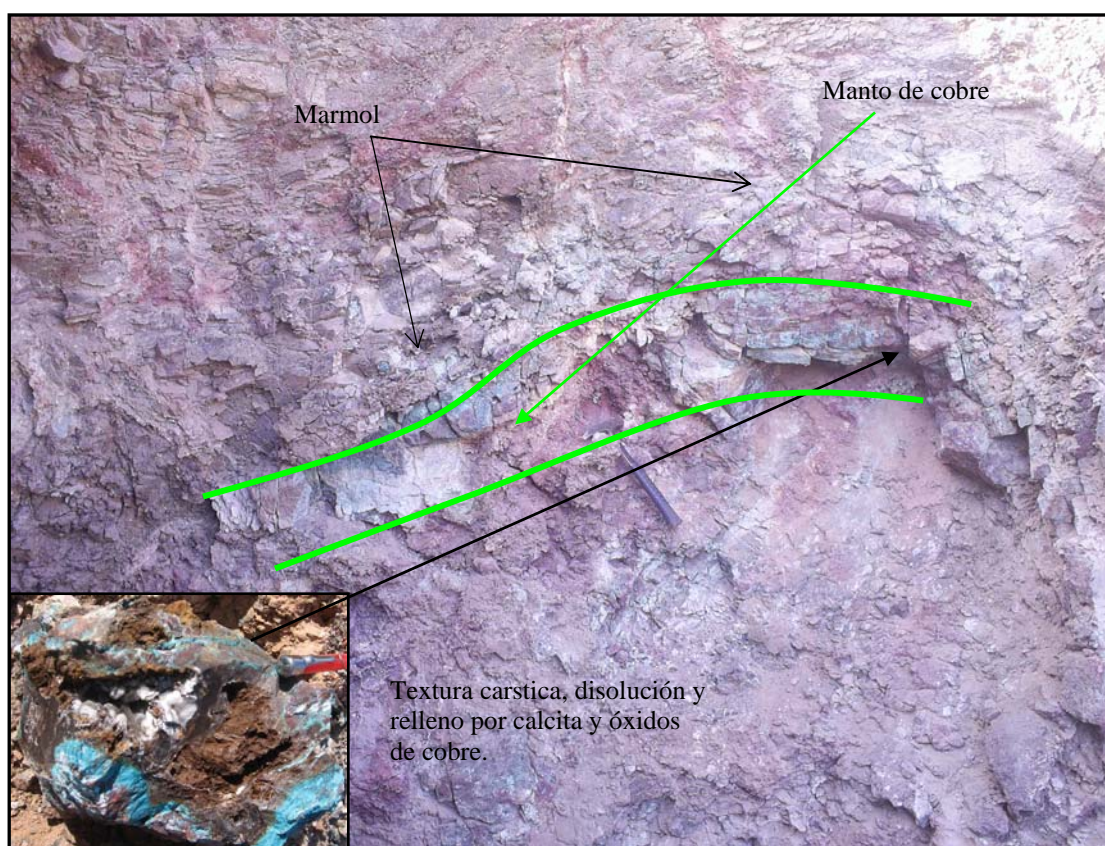


Figura 12: Plano estructural, mostrando tendencia NE - SW post mineralización y tendencias NW – SE trend mineralizados.

### 3.3 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

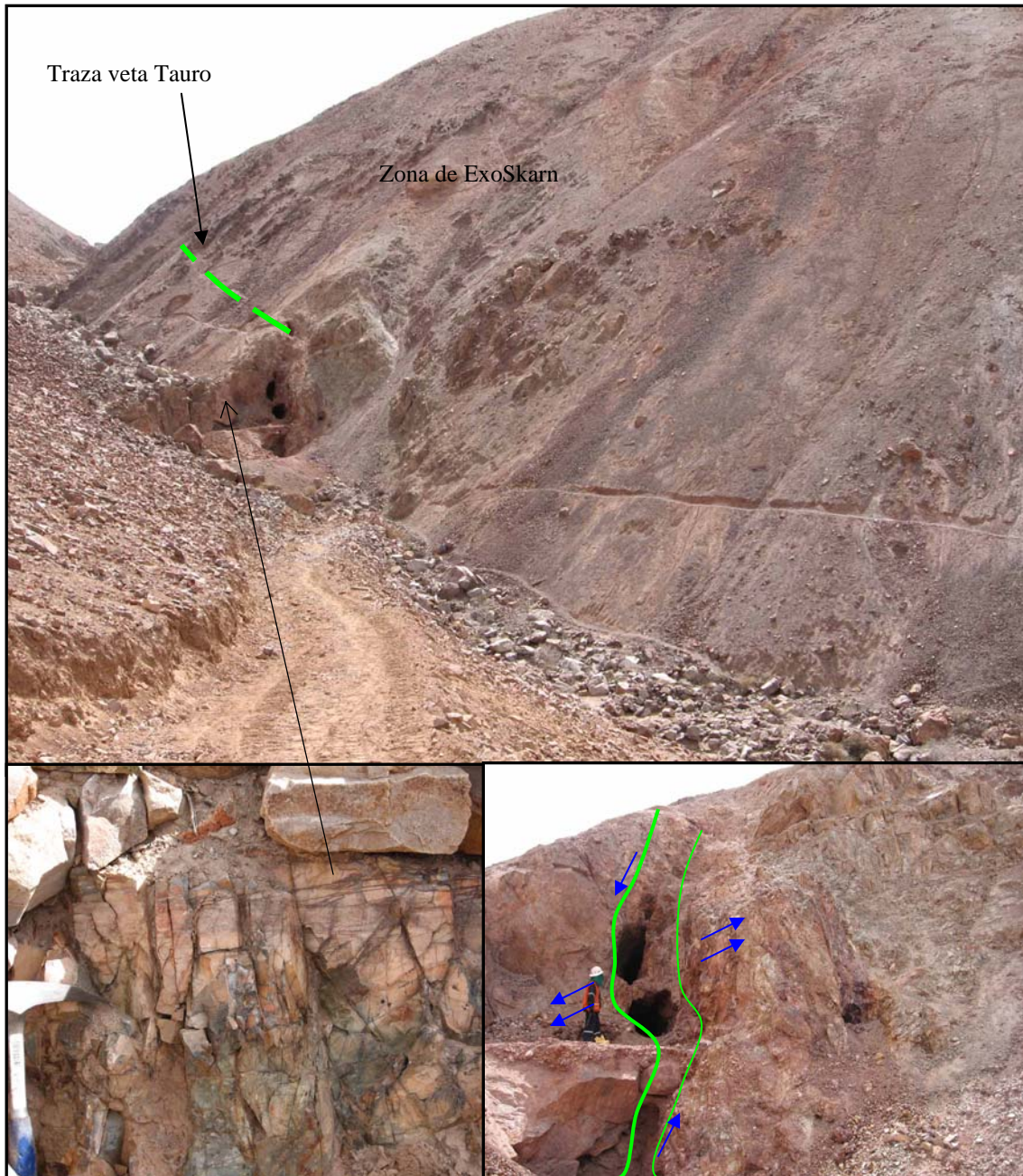
De lo observado en superficie e interior mina en diversas estructuras mineralizadas, se puede tener una idea general de la distribución espacial de la alteración y mineralización. Con respecto a la alteración se ha reconocido sericitización moderada a intensa por sectores dentro de la estructura, así también argilización moderada (arcillas, caolín), se nota en las cajas inmediatas caolín intenso (pocos centímetro hasta 2 m), seguido de silicificación intensa y propilitización moderada (clorita – epidota – pirita) súperpuesta, finalmente mucho mas extendida se tiene propilitización de moderada a intensa (cloritas – epidota – calcita) (Figura 13).



**Foto 7: Secuencia calcárea de la formación Acurquina (limo areniscas calcáreas y calizas), manto de cobre orientación NE- SW, se observan atacamita, crisocola, foto inferior nótese relleno de cavidades por calcita y óxidos de cobre.**

En el extremo norte (575800, 82763500) de la propiedad se tienen ensambles de alteración típicos de un skarn, como mármoles, granatitas (grosularia) de gran extensión, desarrollo de anfíboles en las secuencias calcáreas de la fase progradada y arcillas, venillas de calcita, cloritas-epidotas de la fase retrógrada. La mineralización se ha observado en mantos de orientación NE – SW, está

compuesta por covelita, crisocola, atacamita, tenorita – neotocita, texturas carsticas, disolución de caliza y relleno por óxidos de cobre.



**Foto 8:** Arriba, vista al NW, veta Tauro emplazada en secuencia limo areniscas y limolitas con cemento calcáreas de la formación Yauca (grupo Yura) sumamente disturbadas. Abajo izquierda, secuencia de horfelns finamente laminados, compactos, epidota y venillas de calcita. Abajo derecha, veta Tauro, nótese la inflexión que sufre la falla, evidenciando un movimiento normal con una zona de abertura donde se desarrollaron labores artesanales antiguas.

En el sector NW (577200, 8274800) del prospecto (veta Tauro), se ha observado metamorfismo por metasomatismo de contacto, esto ha originado la

presencia de horfelns (sedimentos finos), con algunas venillas delgadas de calcita y epidota. La estructura esta rellena por óxidos de hierro (hematita, jarosita, gohetita) y óxidos de cobre como atacamita y crisocola.

En superficie se puede observar a simple vista áreas con abundante oxidación (gohetita – hematita) aparentemente supérgena, sobre secuencias sedimentarias del cretáceo, probable presencia de diseminación de pirita.

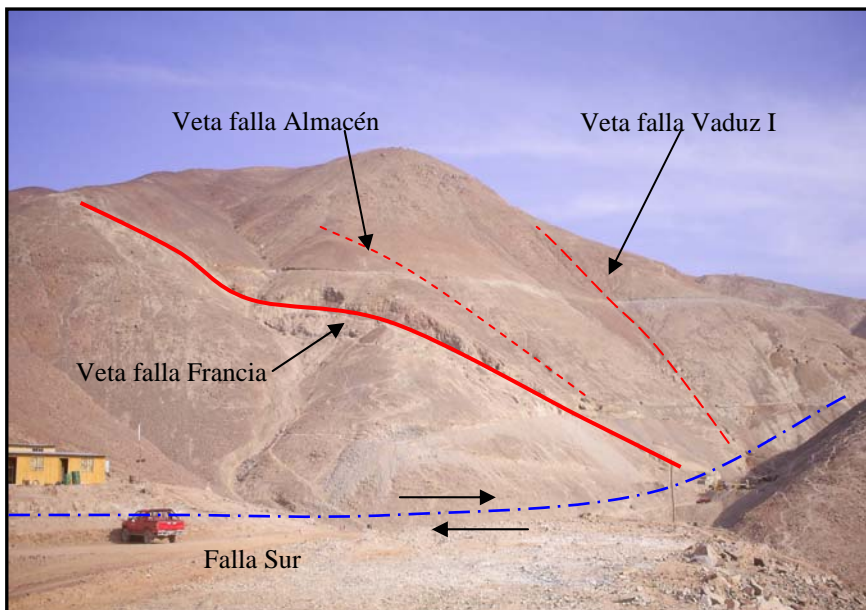
La mineralización determinada varía según la ubicación y nivel de profundidad en las diversas estructuras, por esto se describirán algunas de las vetas – fallas más importantes:

**Veta Falla Francia:** Rumbo de N30°-60°W, buzamiento 40°-75°NE, potencias variables de 20 cm hasta 10 m en los sigmoides que no están totalmente mineralizados, presenta un relleno de óxidos de hierro, hematina, jarosita y en algunos casos crisocola y atacamita en niveles superficiales, también hay calcosita, psilomelano y neotocita en el nivel 725 (veta Almacén), estos óxidos profundizan hasta unos 200 a 400 m seguidos por ensambles de sulfuros primarios pirita, magnetita y calcopirita con valores altos en oro como se observa en los niveles 690 y 650 en las vetas Almacén y Vaduz donde se tiene un menor desarrollo de labores y por lo tanto un escaso conocimiento de las estructuras. La alteración asociada a esta veta esta dada por una seritización intensa a moderada en la estructura, seguida por una caolinización y cloritización moderadas en las cajas de algunos centímetros a metros, finalmente una propilitización de moderada a débil mucho mas extensa, caracterizada por un ensamble de cloritas, pirita y carbonatos (propilitización).

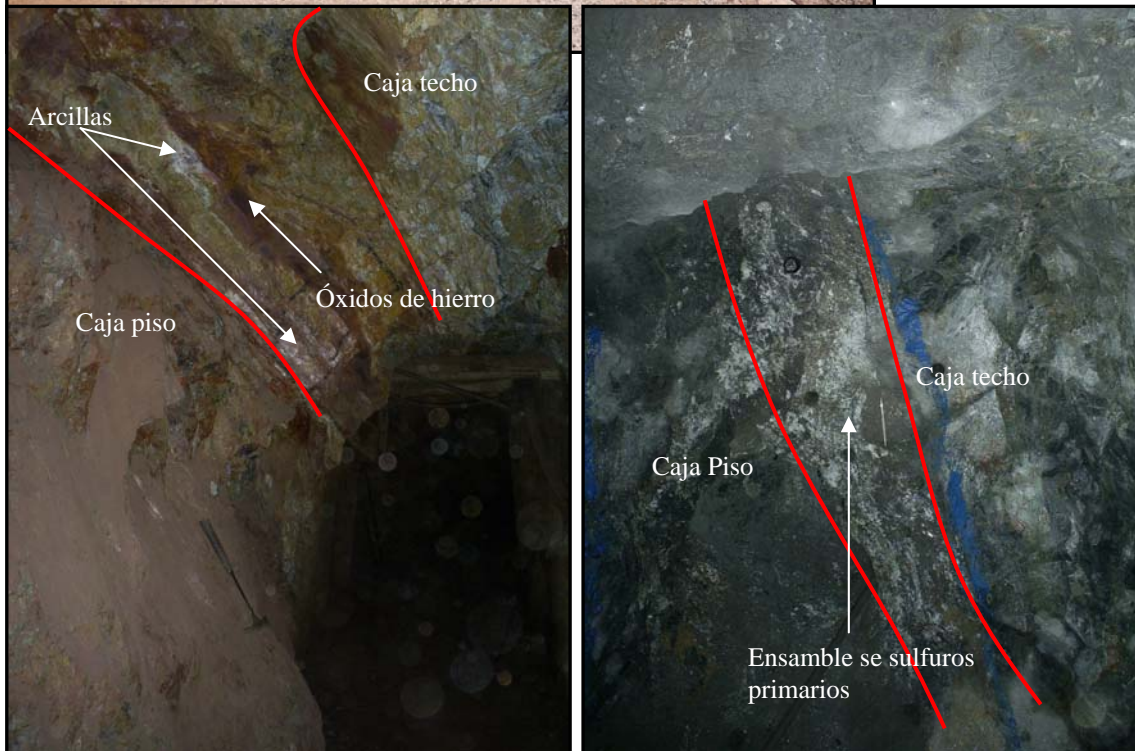
La veta esta emplazada en dioritas – tonalitas (Tiabaya) de grano medio y en una secuencia silico-clástica (formación Guaneros) en los niveles superiores. Asociadas a esta veta se han observado al techo diques (pot. 0.4 m) pórfido dioríticos con macro cristales de horblendas con cloritización de moderada a débil y al piso diques micro dioríticos gris oscuros con cloritización débil, al tope del nivel I se ha identificado un dique andesítico asociado a ramal mineralizado con sulfuros primarios (pirita-pirrotita). Dentro de la estructura se observan vetas de calcita de 0.2 a 0.4 m de potencia y coinciden con las zonas de mejores valores en oro, el las cajas existen venillas de calcita orientadas en diferentes sentidos.

En el nivel I del pto 23 al 24 se ha observado una veta de calcita de 0.5 m de potencia asociada a la caja piso de la estructura posiblemente relacionada a fases tardías de fluidos hidrotermales.





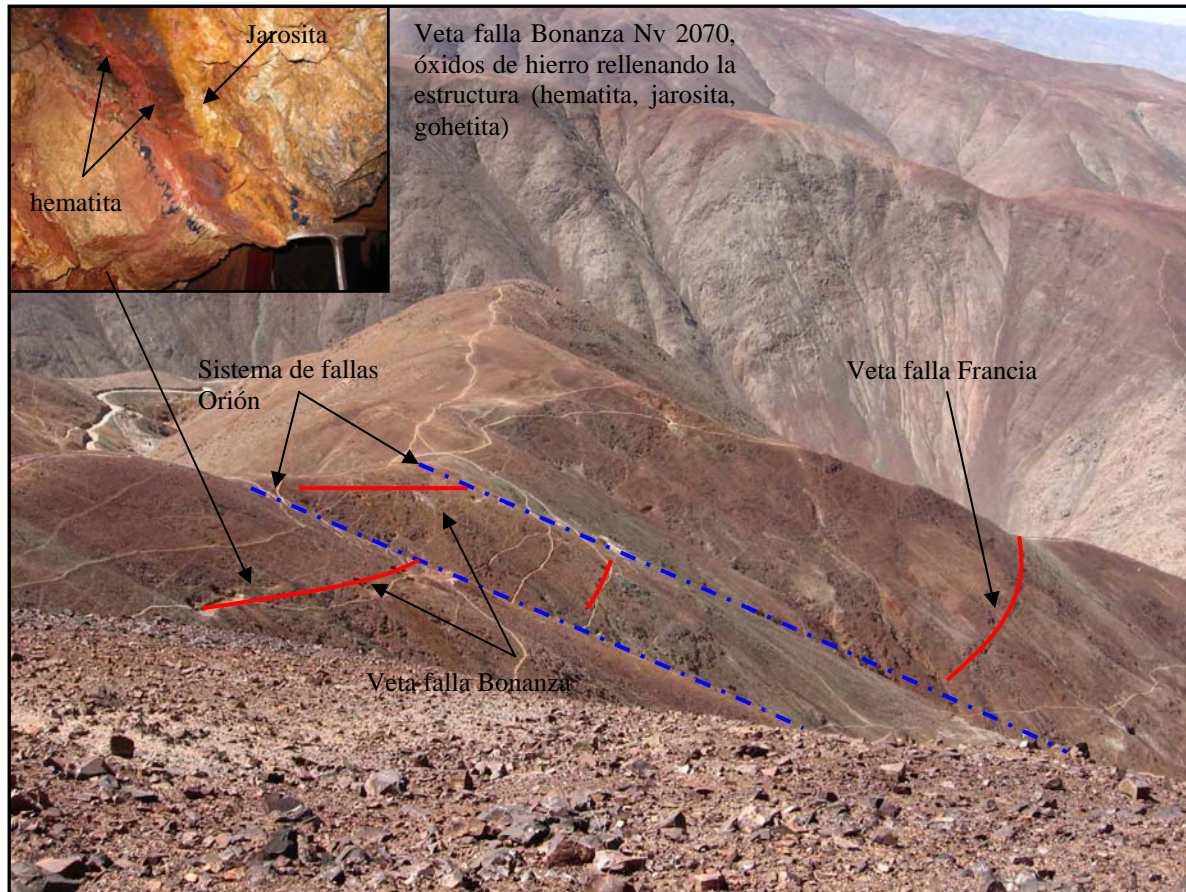
**Foto 10: Vista al NW, veta falla Francia, mostrando sigmoide, limitada al sur por la falla Sur.**



**Foto 9: Izquierda, Nv 725 veta Francia, relicto de óxidos de hierro (hematita, gohetita) cerca de la caja techo, brecha, venillas de calcita, arcillas. Derecha, Nv I veta Francia, zona sulfuros, pirita – magnetita – calcopirita – galena - esfalerita, potencia de 0,4 m.**

Al SE de la veta Francia se observa el sistema Chinchilico, que vienen a ser 3 estructuras subparalelas explotadas actualmente por mineros artesanales, esto pone en evidencia zonas de valores económicos en dichas estructuras.

**Veta Falla Bonanza:** La estructura tiene un rumbo de  $N20^{\circ}-60^{\circ}W$ , buzamiento  $40^{\circ}-65^{\circ}NE$ , potencias variables de 0.2 a 2 m en algunos casos, la potencia promedio sería de 0.6 m, presenta relleno de óxidos de hierro, hematita, jarosita y en muy poca proporción sílice masiva (sílice jasperide) en los niveles superiores, todavía no se han encontrado los ensamblajes de sulfuros primarios, solo en el nivel 2020 se ha visto por sectores algunos ensamblajes de pirita - cuarzo lechoso (zona mixta).



**Foto 11: Vista al SE, veta falla Bonanza, fragmentada por el sistema de fallas Orión de movimiento sinestral inicial y una reactivación dextral de menor envergadura.**

La alteración esta dada por argilización-seritización en cavidades dentro de la estructura, seguida de una cloritización intensa asociada a una caolinización moderada en las cajas por algunos metros finalmente se observa una propilitización de débil a moderada bastante difundida, mostrando un ensamble de pirita-carbonatos-cloritas.

La veta falla esta emplazada en dioritas faneríticas, color verdoso de grano medio de la súper unidad Tiabaya y en las secuencias clásticas (areniscas

arcósicas con cemento calcáreo) de la formación Guaneros, en estas secuencias se ha observado alteración hidrotermal de moderada a intensa que podría darle valor económico. Asociada a la estructura hay diques pórfido dioríticos con mega cristales de horblenda color gris verdoso, potencias de 0.3 a 0.5 m (post mineralización).

**Veta Falla Ana María:** Esta estructura tiene un rumbo de N40°-60°W, buzando 45°-70°NE, potencias variables de 0.5 a 3 m, muestra un relleno de óxidos de hierro (hematita, jarosita), óxidos de cobre (atacamita) bastante débil, se distingue pirita euhedral en gran proporción aparentemente tardía por no ofrecer valores económicos de oro, superficialmente solo se observa pequeñas zonas con hematita de algunos metros de longitud.

La alteración muestra argilización de moderada a intensa en la estructura, seguida de caolinización en las cajas y cloritización moderada, la propilitización tiene mayor difusión.

La veta está emplazada en un intrusivo diorítico de color verdoso, grano medio, presencia de biotita, pertenecientes a la súper unidad Tiabaya del Cretáceo superior.

**Veta Falla Burra Muerta:** La veta tiene un rumbo de N30°-60°W, buzando 40°-70°NE, potencias variables de 0.5 a 2 m, relleno por óxidos de hierro (jarosita) y en superficie hematita, también se observa relleno de pirita euhedral de color pardo-amarilla aparentemente tardía (relacionada a la pirita de la veta Ana María). La mineralización es errática presentando solo algunas bolsonadas de pocos metros de longitud con valor económico, el desarrollo sobre esta estructura es muy reducido.

La alteración está caracterizada por argilización de débil a moderada en la estructura, seguida de cloritización moderada asociado a caolinización débil en las cajas inmediatas, finalmente se observa propilitización débil distal.

La estructura está emplazada en intrusivo diorítico color gris verdosos, textura fanerítica de grano medio perteneciente a la súper unidad Tiabaya y superficialmente se encuentra en una secuencia de areniscas cuarzosas, limo areniscas con cemento calcáreo y niveles delgados arcósicos de la formación Guaneros.

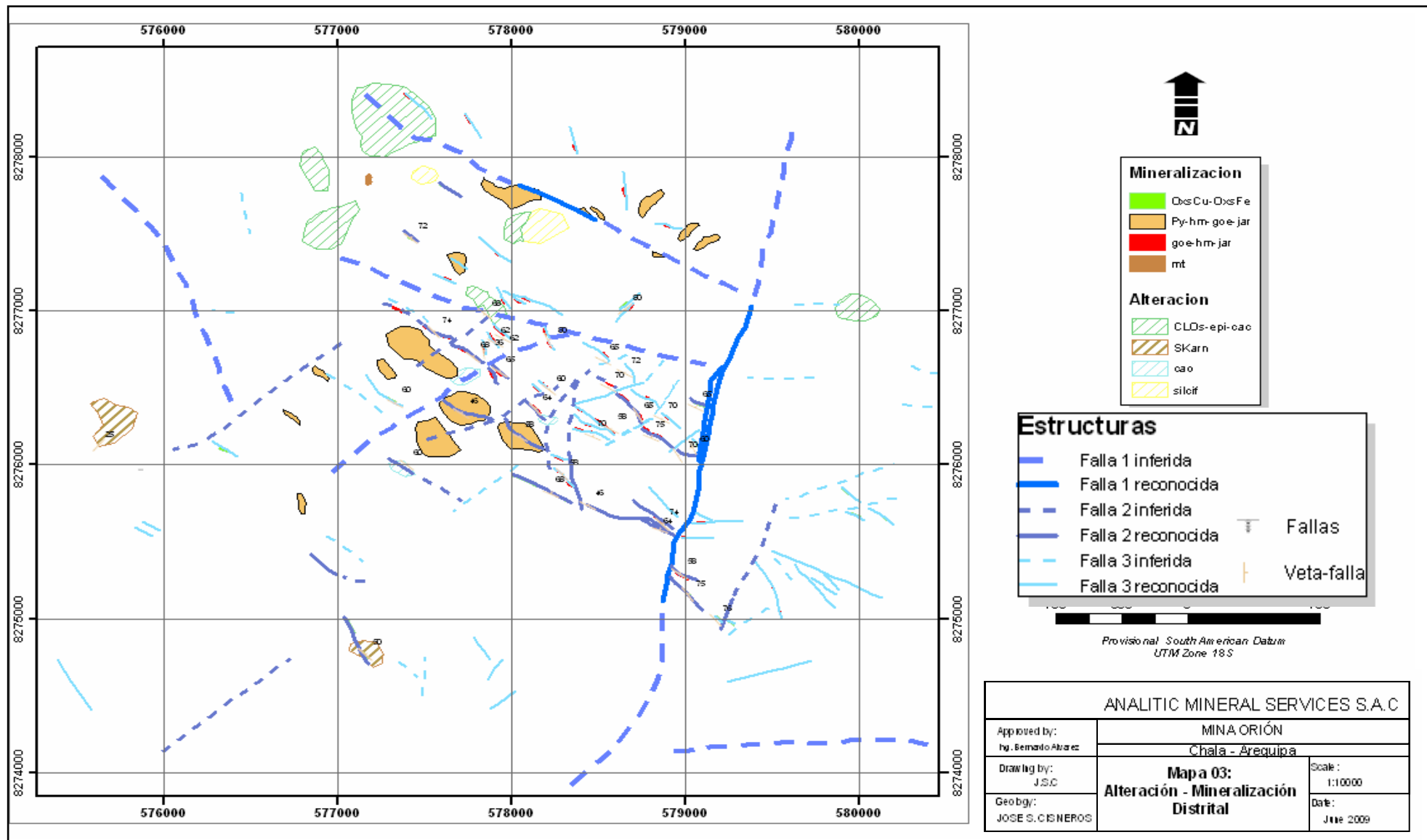


Figura 13: Mapa de alteración y mineralización de la mina Orión y alrededores.



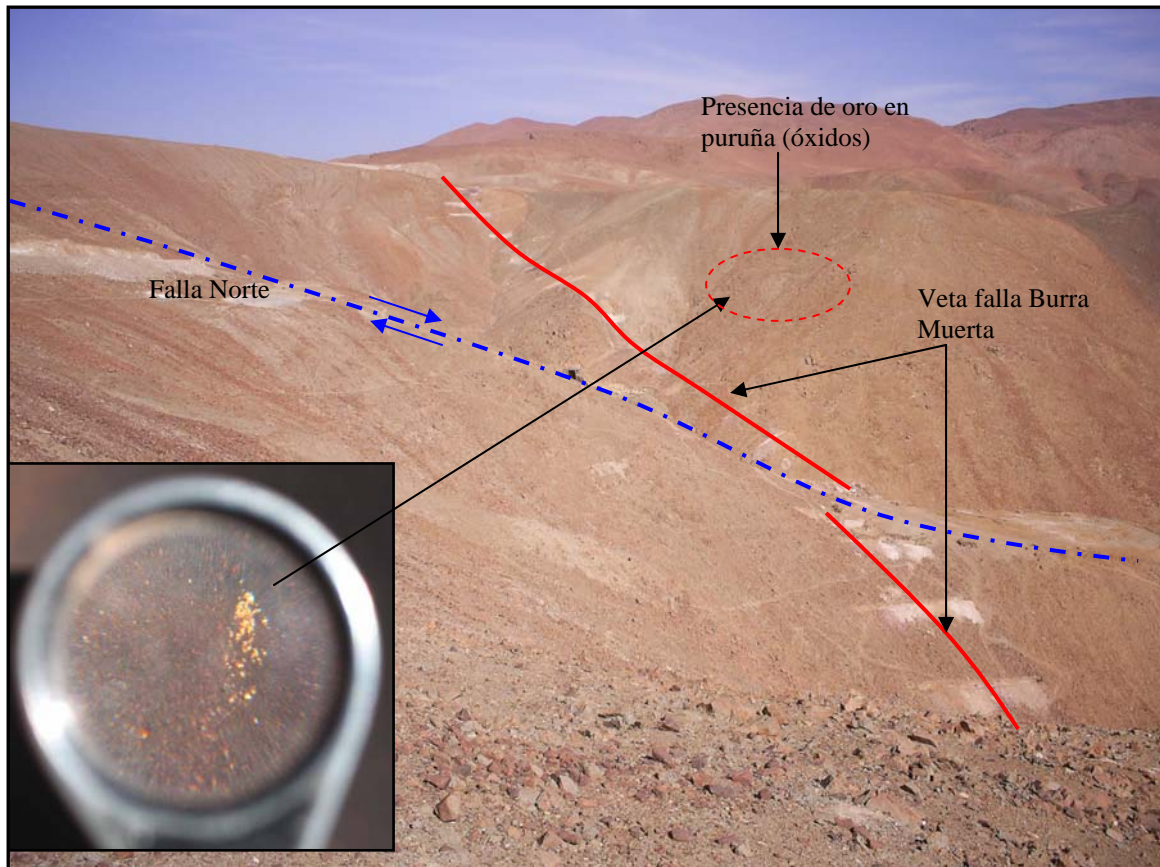
**Foto 12:** Arriba, estructura brechada muestra 04 fases de sílice a manera de bandas, 1: sílice jasperoide amarilla, 2: sílice jasperoide rosa, 3: sílice gris y finalmente venillas delgadas de sílice hialina y como cristales en cavidades.



**Foto 13:** Abajo, roca silicificada, sílice jasperoide rojiza con venillas delgadas de sílice opalina (sector NE Burra muerta).

Al SE de esta estructura se observa la veta Cristina con niveles de mineralización continuos de hasta 30 m de longitud que profundizan de manera vertical que han sido ampliamente explotados por los mineros artesanales.

Al NE de Burra Muerta se han identificado aproximadamente 12 estructuras con presencia de mineralización, rumbos que varían de N30°-60°W buzando 65°-80°NE, relleno de óxidos de hierro (hematita, jarosita), y algunas estructuras se identificaron hasta 5 fases de sílice masiva de las cuales 2 de ellas están asociada al enriquecimiento en oro (según estudio efectuado en secciones pulidas).



**Foto 14: Vista al NW, veta falla Burra muerta, desplazada de manera dextral por falla Norte, sistema de fallas NW – SE al NE de la veta Burra muerta, dan muestra de contenido de oro en puruña.**



**Foto 15: Múltiples fases de venillas de sílice, incluido brechamiento de la sílice. La fase final de venillas corresponde a cuarzo hialino y drusas de cuarzo. Au asociado a venillas de sílice - hematita**

### **3.4 PARAGENESIS Y EVENTOS DE MINERALIZACION**

Habiendo realizado el estudio de 05 secciones pulidas, correspondientes a diferentes estructuras mineralizadas de la mina Orión (Veta – falla Francia, Bonanza, Almacén), las muestras para el estudio se tomaron de labores de interior mina. De esto se obtuvo una interpretación preliminar para generar la secuencia paragenética del yacimiento y los posibles eventos mineralizantes dados a lugar en el prospecto.

**Paragénesis:** La secuencia preliminar determinada es la siguiente, I) primero se depositó la hematita I (especularita) como agregados de cristales relleno de intersticios de la roca, presentan formas euhedrales y subhedrales, reemplazado por magnetita que se encuentra en forma masiva, relleno de intersticios y fracturas. II) pirita – calcopirita - covelita reemplazando a magnetita; pirita ocurre como cristales microfracturados en formas subhedrales y anhedrales, reemplazado por calcopirita y covelita; calcopirita en cristales anhedrales relleno de intersticios y fracturas, reemplaza a pirita y magnetita; covelita presente como producto de la alteración de calcopirita – pirita, así mismo rellena fracturas de la magnetita y rara vez de la hematita I. III) hematita II (tardia) se presenta como producto de la alteración de la magnetita

Se han observado en estudio de secciones delgadas (zona de óxidos) hasta tres eventos de sílice relacionados a Au, de los 5 presentes (en superficie), el cuarzo contenido como ganga en la vetas probablemente ha transportado el oro en repetidas oportunidades colaborando con el enriquecimiento del yacimiento.

**Zonación:** Se ha identificado una variabilidad lateral (zonación) de norte a sur en las ocurrencias de Au y cobre en las estructuras mineralizadas, al norte se observa mayor presencia de óxidos de cobre y valores bajos en oro (veta Tauro, mantos), al sur la presencia de óxidos de cobre disminuye notablemente así también los valores de oro aumentan progresivamente (sector veta bonanza a sistema de vetas chinchilico).

Referente a la zonación vertical se tiene poca información, pero algunos indicios de movimiento en bloques en la Veta Francia exponen la siguiente secuencia: niveles someros ensambles de hematita-goetita-jarrosita-sílice jaseroide (calcedónica) en vetas mesotermales y ensambles de atacamita-crisocola-azurita-hematita asociado a zonas de skarn por escasos 60 a 100 m (zona de óxidos), seguido una zona mixta de ensambles de hematita-goetita, pirita-calcopirita y neotocita-covelita-óxidos de manganeso; finalmente se observa un ensamble de magnetita-pirita-calcopirita-covelita (sulfuros primarios, mayor profundidad).

Eventos	Pre mineral	I	II	III	IV?
Oro Nativo			-----?		
Hematita I		—————	-----		
Magnetita		—————	—————		
Pirita		—————	-----		————— ?
Calcopirita		—————	—————	-----	
Covelita			—————	—————	
Hematita II				—————	
Cuarzo I			—————	-----	
Cuarzo II				—————	-----
Calcita				—————	-----
Sericita		—————	—————	-----	
Caolín		—————	—————	-----	
Falla	—————	—————	—————	—————	—————

Figura 14: Cuadro paragenético preliminar de la Mina Orión, Chala – Arequipa.



### 3.5 CONTROLES DE MINERALIZACIÓN

En función a lo observado en las ocurrencias de Au y cobre en las estructuras mineralizadas dentro del área de estudio, se han determinado una serie de controles de mineralización de importancia para el desarrollo y exploración futura del yacimiento aurífero.

Existe un fuerte control estructural en el emplazamiento de la mineralización enriquecida en Au, estando esta circunscrita específicamente a vetas – fallas de rumbo  $N20^{\circ} - 60^{\circ}W$  y buzamientos  $45^{\circ}$  a  $75^{\circ}$  al NE, en casos excepcionales se observan buzamientos de  $45^{\circ}$  al SW (veta Española). Las estructuras de tendencia NE – SW generalmente corresponde a procesos post mineralización y han fragmentando la geometría inicial del yacimiento. En el extremo NW y W (veta Tauro) del área de estudio se tienen estructuras (mantos y vetas) mineralizadas enriquecidas en Cu, de tendencia NE – SW, emplazadas en secuencias sílico – clásticas calcáreas (grupo Yura).

Dentro del área de explotación (mina Orión) además del control estructural observado se nota un claro control litológico, la mejor exposición de la mineralización y el desarrollo de estructuras mineralizadas está en el intrusivo de diorita – tonalita biotítica (Súper Unidad Tiabaya), textura fanerítica de grano medio, aparentemente esta roca es mas reactiva ante los fluidos hidrotermales calientes (mayor a  $350^{\circ}C$ ) de PH neutros y ricos en cationes metálicos. En las secuencias volcánicas (volcánicos Chocolate y formación Guaneros) las estructuras tienden a ramalearse, adelgazar y pierden continuidad pero los valores de Au se mantienen.

En las secuencias volcano – clásticas (formación guaneros) las estructuras mineralizadas mantienen consistencia, potencias irregulares, pero los fluidos hidrotermales se han dispersado dentro de niveles altamente permeables (areniscas cuarzosas, areniscas con cemento calcáreo) originando diseminación de pirita y silicificación por sectores en las areniscas cuarzosas; y en las areniscas con cementos calcáreos alguna alteración de skarn incipiente (horfelns, granates, epidota), pero estas ocurrencias no muestran enriquecimiento alguno en metales de importancia económica (Au, Cu).

# **CAPITULO IV**

## **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA MINA ORIÓN**

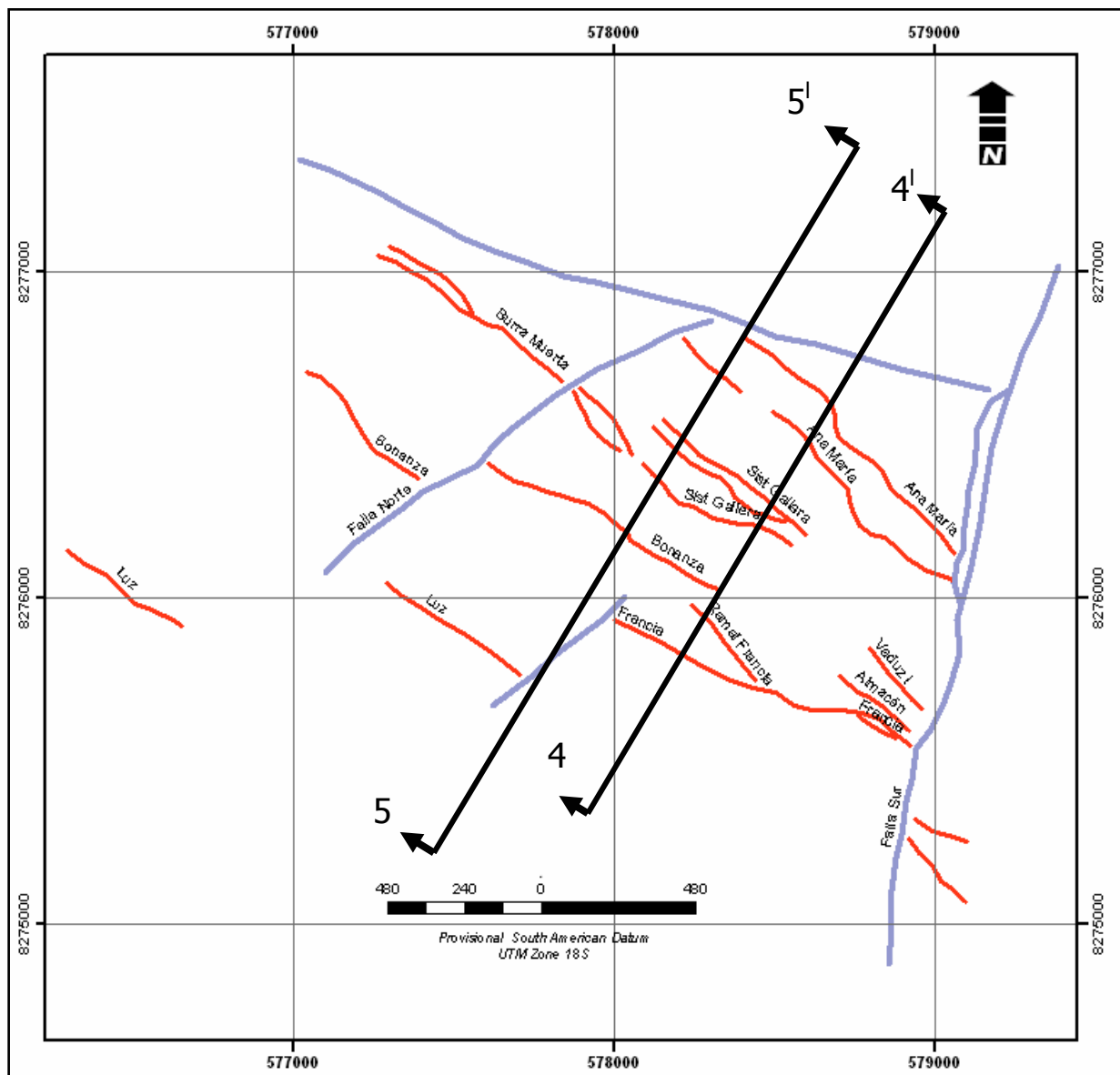
### **4.1 ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL SISTEMA DE VETAS - FALLAS**

Este tipo de análisis se desarrolla mediante el estudio de la geometría de las fallas y sistemas de vetas en vista en planta y cortes en sección, que permitan comparar estas geometrías con modelos conocidos de sistemas de formación de fallas.

Las estructuras del área de estudio presentan geometrías similares, en vista en planta muestran formas sinuosas con rumbos de  $N40^{\circ}$ - $70^{\circ}W$  y buzamientos variables de  $40^{\circ}$ - $75^{\circ}NE$  principalmente, con excepciones como la veta-falla Española que tiene un buzamiento de  $60^{\circ}SW$ .

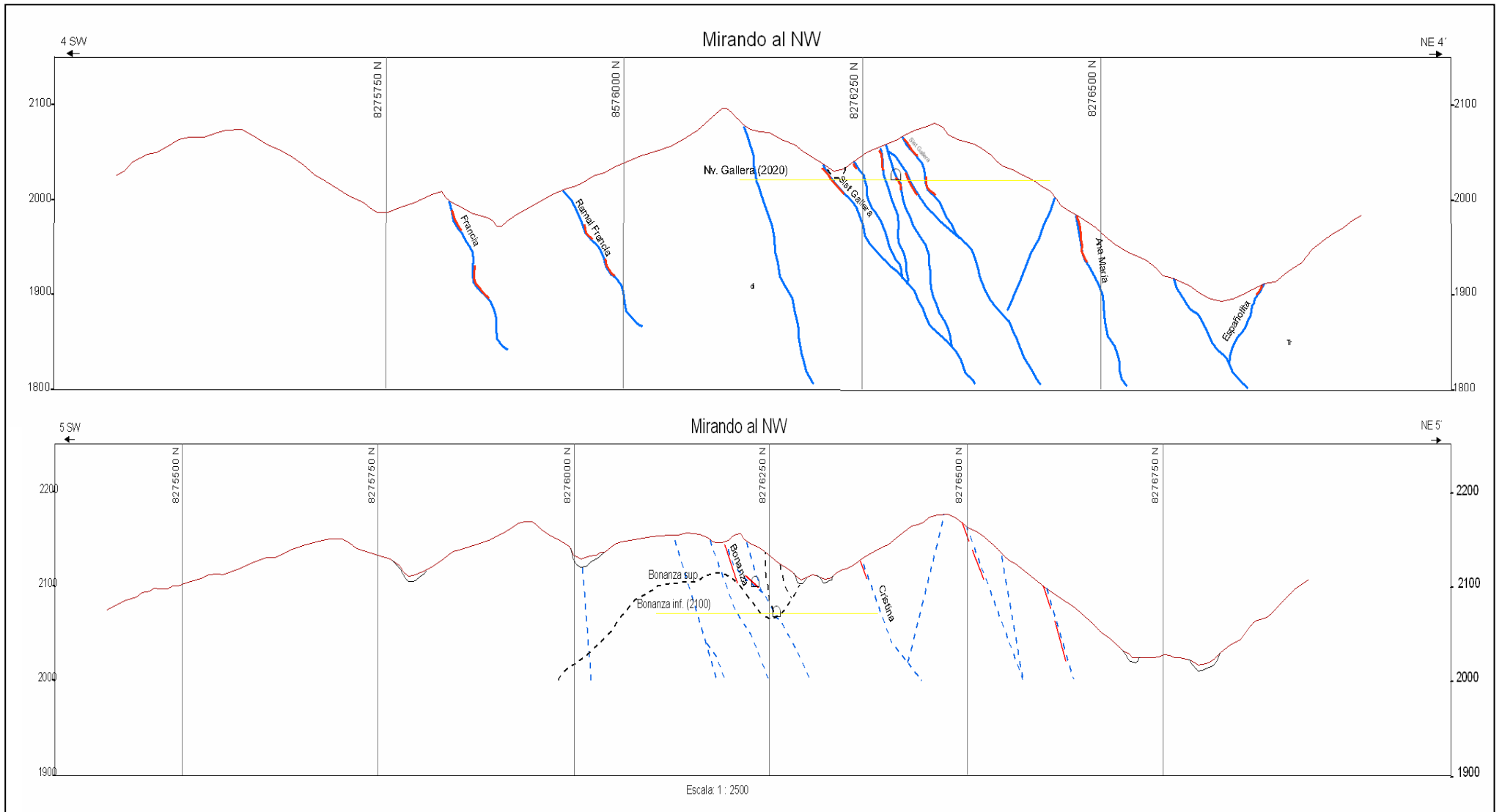
**Geometría - Veta Falla Francia:** Esta estructura tiene un rumbo de  $N30^{\circ}$ - $60^{\circ}W$ , buzamiento  $40^{\circ}$ - $75^{\circ}NE$ , potencias variables de 20 cm hasta 10 m en los sigmoides. La estructura vista en planta presenta formas sinuosas pero mantienen su orientación promedio, con ensanchamientos y adelgazamientos tipo rosario en la vertical y la horizontal, en estructuras **sigmoides** (Figura 15 - 16). La veta está siendo desplazada por fallas post mineralización de rumbo N-S y NE - SW de naturaleza dextral y sinistral con desplazamientos variables de algunos centímetros hasta algunas decenas de metros en las fallas de 1er orden. Verticalmente la estructura tiene comportamiento ondulante o sinuoso cortadas por fallas normales post mineralización de rumbo  $N30^{\circ}$ - $40^{\circ}W$  y buzamiento  $20^{\circ}$ -  $30^{\circ}SW$  que la desplazan de 0.5 a 5 m de ocurrencias puntuales.

Los clavos mineralizados dentro de la estructura se distribuyen erráticamente con extensiones de 200 a 300 m y la separación entre clavos mineralizados esta dada por unos 400 a 600 m en la horizontal, los clavos son subverticales y se muestran de manera similar en las estructuras paralelas (Álvarez B., 2007), dentro de estos clavos existen zonas estériles de 6 a 20 m de longitud, que vienen a ser zonas con menor permeabilidad secundaria debido a posibles esfuerzos locales que generan zonas de transpresión.



**Figura 15: Vista en planta de las estructuras mineralizadas, mostrando lasos sigmoides y ramificaciones tipo rosario, Mina Orión.**

**Geometría - Veta Falla Bonanza:** La estructura tiene un rumbo de  $N20^{\circ}-60^{\circ}W$ , buzamiento  $40^{\circ}-65^{\circ}NE$ , potencias variables de 0.2 a 2 m en algunos casos, la potencia promedio sería de 0.6 m. La veta vista en planta muestra ramificaciones y pequeños sigmoides de algunos metros, siguiendo un modelo de lasos sigmoides y ramificaciones tipo rosario, la mineralización es errática y se presenta como pequeños bolsones que van de 20 a 40 m dentro de la estructura, vista en perfil la estructura se presenta sinuosa y con zonas de inflexión de mayor ancho. La estructura esta siendo cortada y desplazada por fallas  $N20^{\circ}-60^{\circ}E$  buzando  $60^{\circ}-80^{\circ}SE$  de naturaleza dextral y sinistral, fallas NS de naturaleza dextral y sinistral que llegan a desplazar la veta algunas decenas de metros y finalmente se observaron fallas con rumbo  $N60^{\circ}W$  buzando  $10^{\circ}-20^{\circ}SW$  que desplazan la veta 1 a 2 m.



**Figura 16: Secciones transversales, mostrando comportamiento sinuoso en la vertical, con ramificaciones tipo cola de caballo en superficie (ver figura 15).**

**Geometría - Veta Falla Ana María:** Esta estructura tiene un rumbo de N40°-60°W, buzando 45°-70°NE, potencias variables de 0.5 a 3 m. La estructura vista en planta presenta formas sinuosas y pequeñas ramificaciones mineralizadas, siguiendo un modelo tipo rosario, que se muestra en el poco desarrollo que se tiene sobre la estructura, la veta esta siendo desplazada de 1 a 10 m de longitud por fallas post mineralización de naturaleza inversa como la falla voladora y otras fallas de rumbo que afectan la geometría de la estructura.

En este sector superficialmente se observan aproximadamente 10 vetas de menor dimensión subparalela a la estructura principal (Ana María), estas estructuras muestran un relleno interesante de óxidos de hierro que al ser evaluados podrían ser económicos.

**Geometría - Veta Falla Burra Muerta:** La veta tiene un rumbo de N30°-60°W, buzando 40°-70°NE, potencias variables de 0.5 a 2 m. La veta vista en planta tiene forma sinuosa similar a las ya descritas, con ramificaciones a manera de cola de caballo que se extienden hacia el NW, no todas las ramificaciones muestran relleno mineral. La estructura esta siendo cortada y desplazada de 0.5 a 6 m aproximadamente por fallas post mineralización de rumbo N20°-60°E, buzando 60°-80°SE.

## **4.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO**

El análisis cinemático está basado en el estudio del movimiento de las fallas sea transcurrente, normal o inverso, tomando como base la identificación y entendimiento de unas pequeñas estructuras asociadas a las estrías en los planos de fallas llamadas tectoglifos (figura 17).

El conocimiento del comportamiento de las fallas es de suma importancia, debido a la influencia de estas sobre la geometría de un yacimiento, esto es si estuvieron activas durante la mineralización sirvieron como zona de precipitación de los fluidos y en caso contrario si son post mineralización modifican la geometría inicial del yacimiento.

### **Fundamento**

Las fallas presentan movimientos compuestos, es decir vienen a ser normal-dextral, inversa-sinistral y las demás combinaciones posibles. La dirección del desplazamiento en una falla, está dada por la orientación de las estrías de fricción; el Pich de la estría está definido como el ángulo entre línea horizontal del plano de falla y la estría.

Los datos de importancia a tomar en un levantamiento estructural en un ambiente de deformación frágil son los siguientes:

- Rumbo y buzamiento del plano de falla.
- Sentido del movimiento de la falla.
- Pich y sentido de inclinación de las estrías del plano de falla.

Estos datos son ingresados a un programa (Tectonics FP), que generara proyecciones estereográficas a fin de determinar la dirección e inclinación de los principales esfuerzos Sigma I (compresivo), sigma II (Intermedio) y Sigma III (tensional), causantes de la deformación.

### **Indicadores Cinemáticos**

Los indicadores cinemáticos o tectoglifos son una serie de estructuras de variables dimensiones (milimétricas a métricas), desarrolladas en medio frágil y asociadas a fallas. Es de importancia para determinar el sentido de movimiento de una falla; a continuación se describirán las características de relevancia:

**Elemento estriador:** Al cabo de la estría. Este puede ser un fragmento de roca (foto 16).

**Material triturado al cabo de la estría:** Está constituido por material arrancado del plano de falla y depositado a un extremo de la estría.

**Banqueta al cabo de la estría.** En este caso, el material arrancado del plano de falla es acumulado al extremo de la estría en forma de un pequeño promontorio (foto 16).

**Nichos de arranque.** Se manifiestan como microdeslizamientos.

**Escama de arranque.** Cuando se presentan este tipo de tectoglifos, las estrías tienen uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.

**Colas de mineral.** Durante este proceso se tiene presencia de minerales a un extremo de las estrías, mientras que hacia el lado opuesto se tiene polvo de mineral, dispuesto a manera de microbandas.

**Lomos al abrigo.** Para que se genere este tectoglifo se requiere de un elemento estriador endentado en el plano de falla, de tal manera que durante el desplazamiento relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita a manera de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.

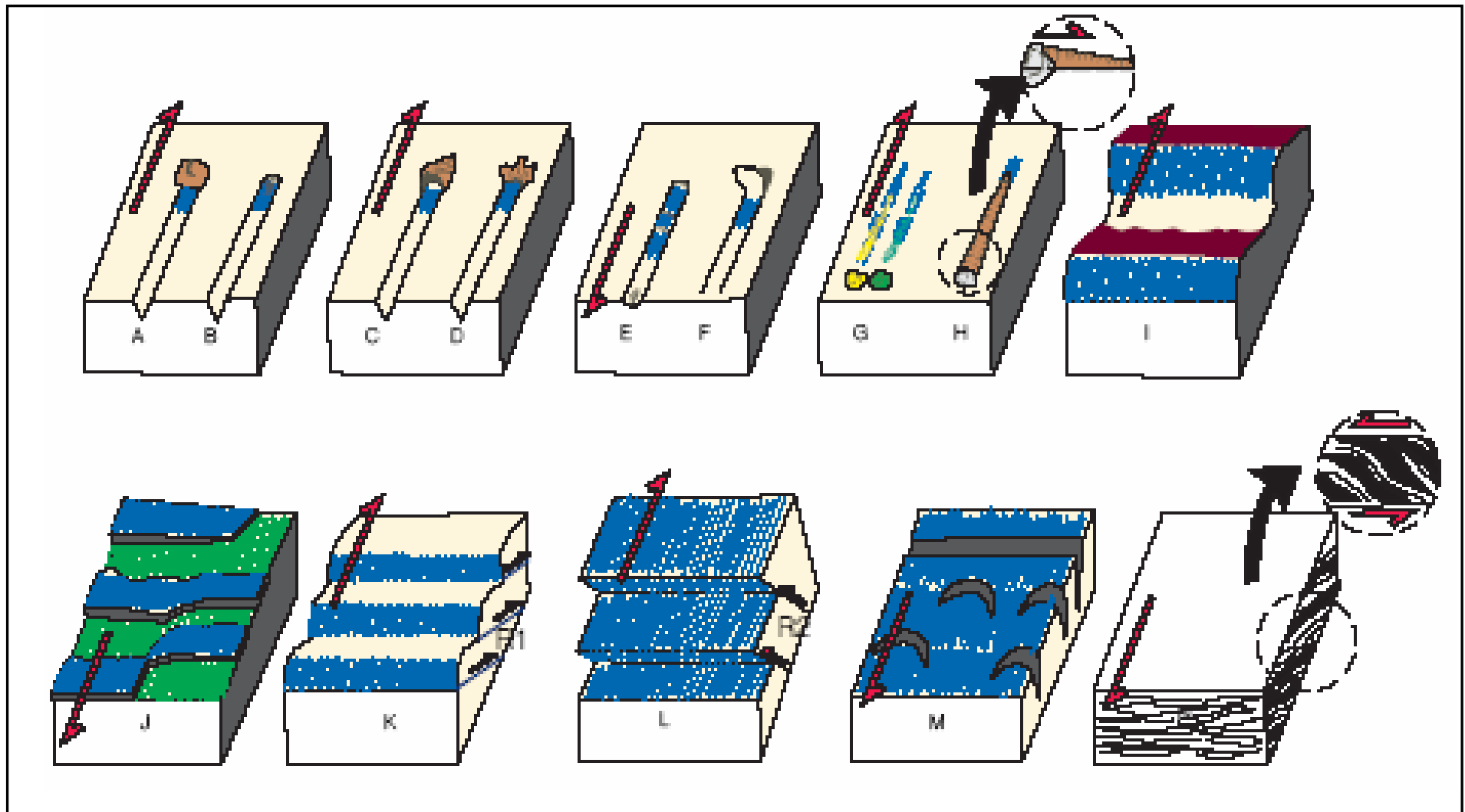
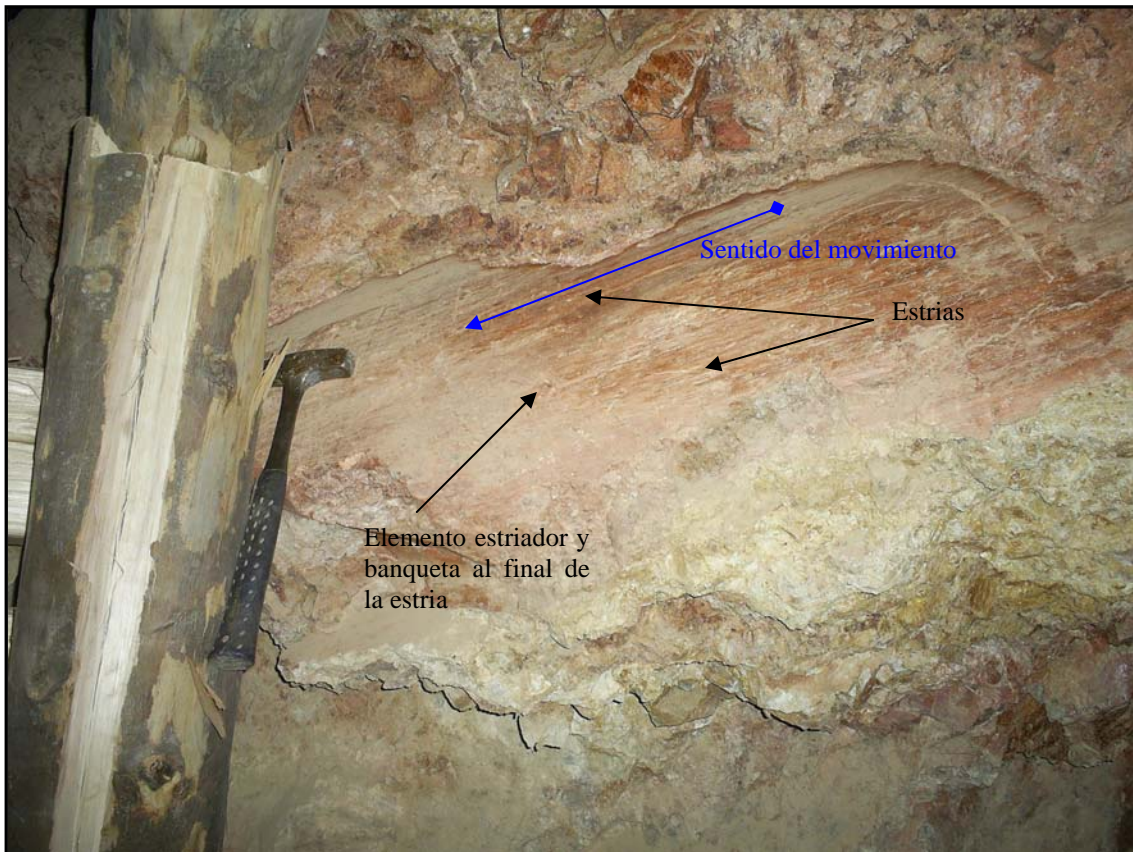
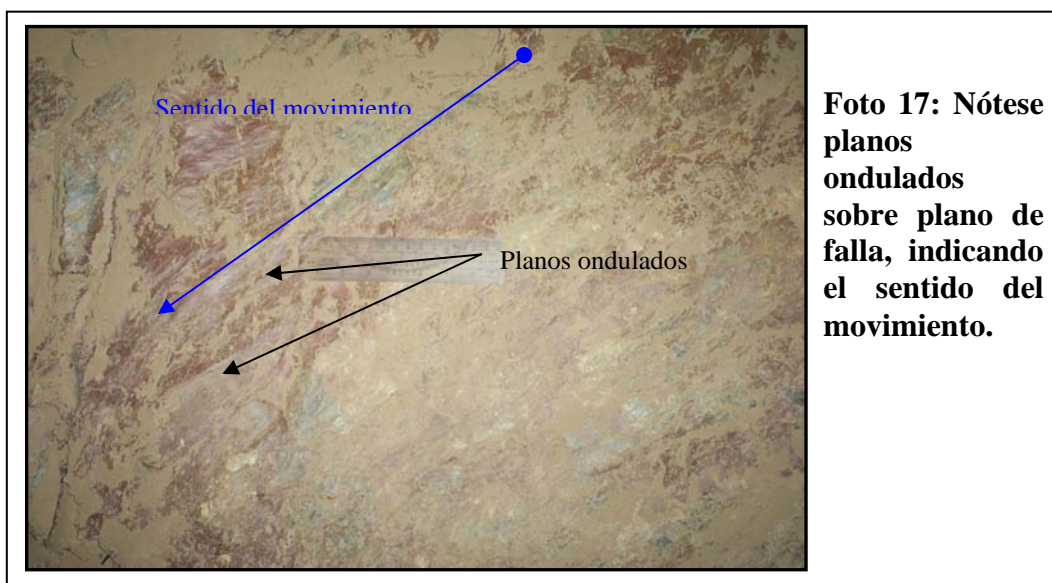


Figura 17: Tectoglifos (Quispe J., 2006. et al Macharé J. 2001), A) Elemento estriador al cabo de la estría. B) Material triturado al cabo de la estría. C) Banqueta al cabo de la estría. D) Escama de Arrastre. E) Nichos de Arranque. F) Escama de arranque. G) Colas de Mineral. H) Lomos al abrigo. I) Planos ondulados: facetas estriadas VS. J) Cristalización al abrigo. K) Ridel R1. L) Ridel R2. M) Lunulas de Tracción. N) Lenticulaciones.



**Foto 16: Plano estriado, estrías sub horizontales, obsérvese el elemento estriador y el material acumulado al extremo de la estria, indicando el descenso de la caja techo.**

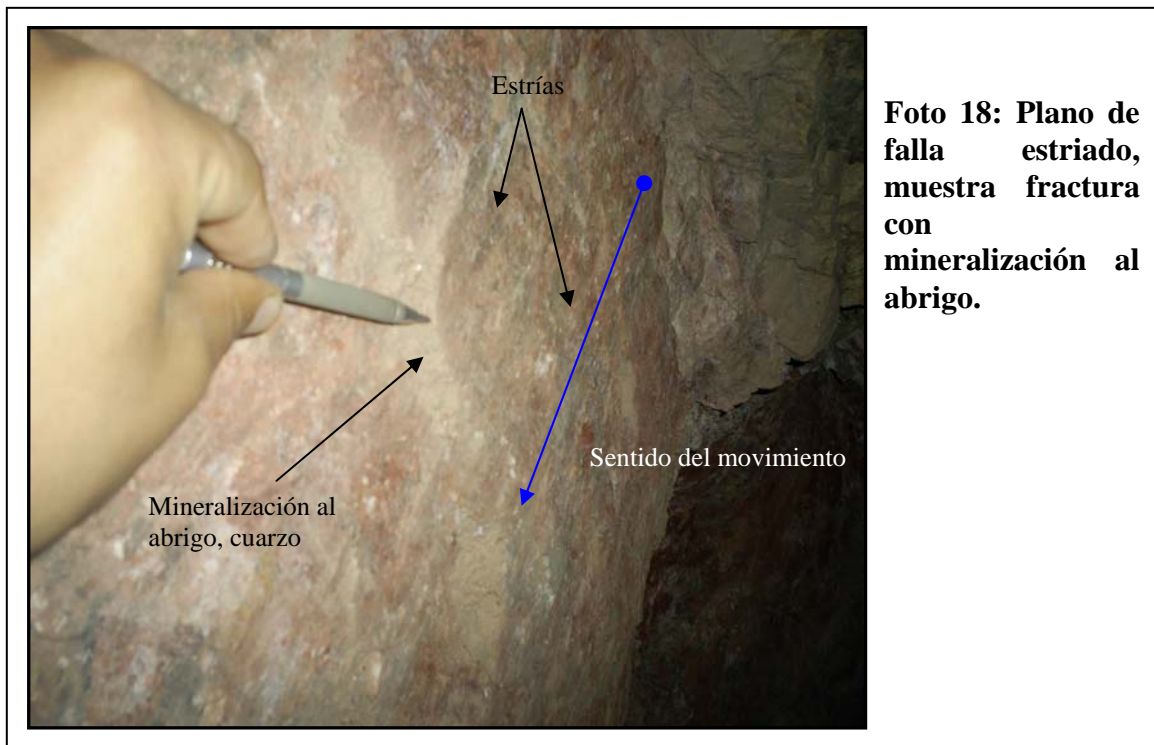
**Planos ondulados.** Según sea el movimiento, los planos de falla ondulados presentan facetas estriadas y lustradas ó no estriadas y con presencia de óxidos. El sentido de movimiento, será determinado por la orientación de las facetas estriadas (foto 17).



**Foto 17: Nótese planos ondulados sobre plano de falla, indicando el sentido del movimiento.**

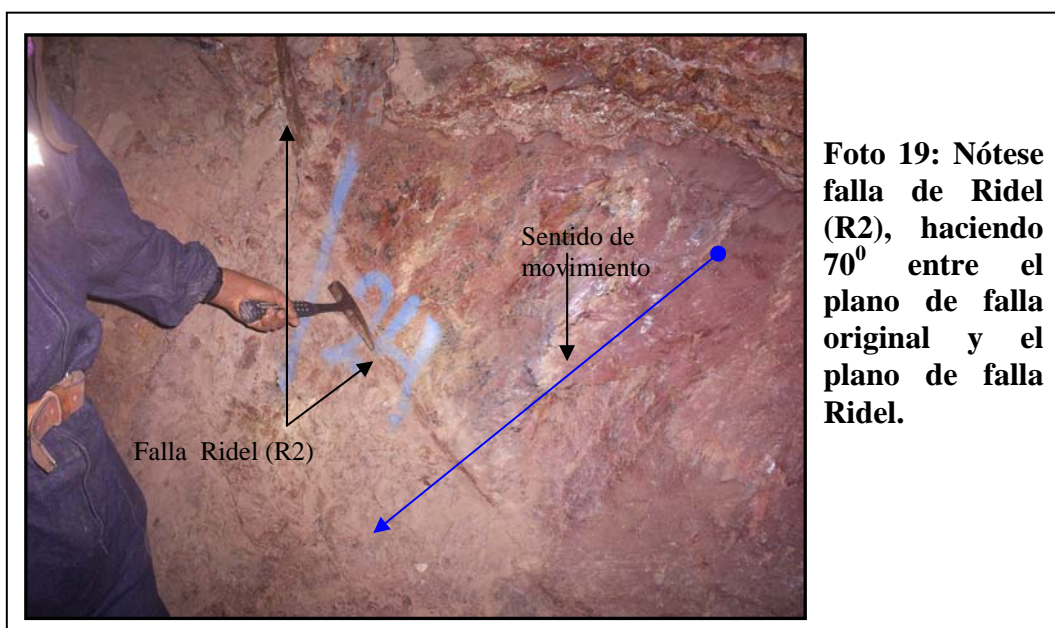


**Cristalización al abrigo.** Dentro de las estrías se producen ciertos desniveles y se produce el crecimiento de minerales como el cuarzo, calcita, zeolitas o sulfatos, en la dirección del movimiento.



**Foto 18: Plano de falla estriado, muestra fractura con mineralización al abrigo.**

**Fallas de Ridel.** Este tipo de falla se produce por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla. Se generan dos tipos de fallas una denominada R1 y otra R2. Las R1 forman un ángulo de  $15^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  con el plano de falla principal y son sintéticas (movimiento en el mismo sentido que la falla mayor). Las fallas R2 forman un ángulo de  $70^{\circ}$  a  $80^{\circ}$  con el plano de falla principal y son antitéticas.



**Foto 19: Nótese falla de Ridel (R2), haciendo  $70^{\circ}$  entre el plano de falla original y el plano de falla Ridel.**

**Lúnulas de tracción.** Son fracturas abiertas algunas veces a manera de semicírculos. La superficie de fractura es irregular y no presenta estrías. Forman un ángulo entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semi-círculos nos indican el sentido de movimiento.

### **Modelos de Fracturación**

La fracturación es considerada, como una deformación continúa debido a la acción de los esfuerzos  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ . Los modelos de fracturación conocidos han sido desarrollados a partir de observaciones múltiples durante ensayos de mecánica de rocas o en zonas cizallantes naturales (ver Figura 18).

### **Fracturas Desarrolladas en una zona de cizallamiento – Modelo de Riedel**

H. Cloos y W. Riedel (1928 - 1929), fueron los pioneros en realizar experimentos de cizallamiento y determinaron dos tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2. Posteriormente, numerosos autores complementaron el modelo inicial, proponiendo otros tipos de deformación asociadas a zonas de cizallamiento:

- Fallas conjugadas R1 y R2, hacen ángulos aproximados de  $\Phi/2$  con las direcciones teóricas de máximo cizallamiento.
- Fracturas tensionales T desarrolladas por tracción indirecta, aproximadamente forman un ángulo de 45° con la dirección de cizallamiento principal. Determinadas por Cloos (1955) y Wilcox (1973).
- Fracturas tipo P, simétricas a las fallas o R1; definidas por Skempton (1966) en zonas de cizallamiento natural.
- Pliegues en echelón, formando un ángulo de 45° con el cizallamiento principal y perpendiculares a las fracturas de tracción T. Determinadas por Wilson (1970).
- Desarrollo de esquistocidad perpendicular a los planos de fracturas de tracción T. Evaluadas por Vialon (1976).

Por lo expuesto en el modelo descrito las fracturas tensionales asociadas a cizallamiento son muy importantes, debido a que son las más favorables para albergar mineralización, ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas.

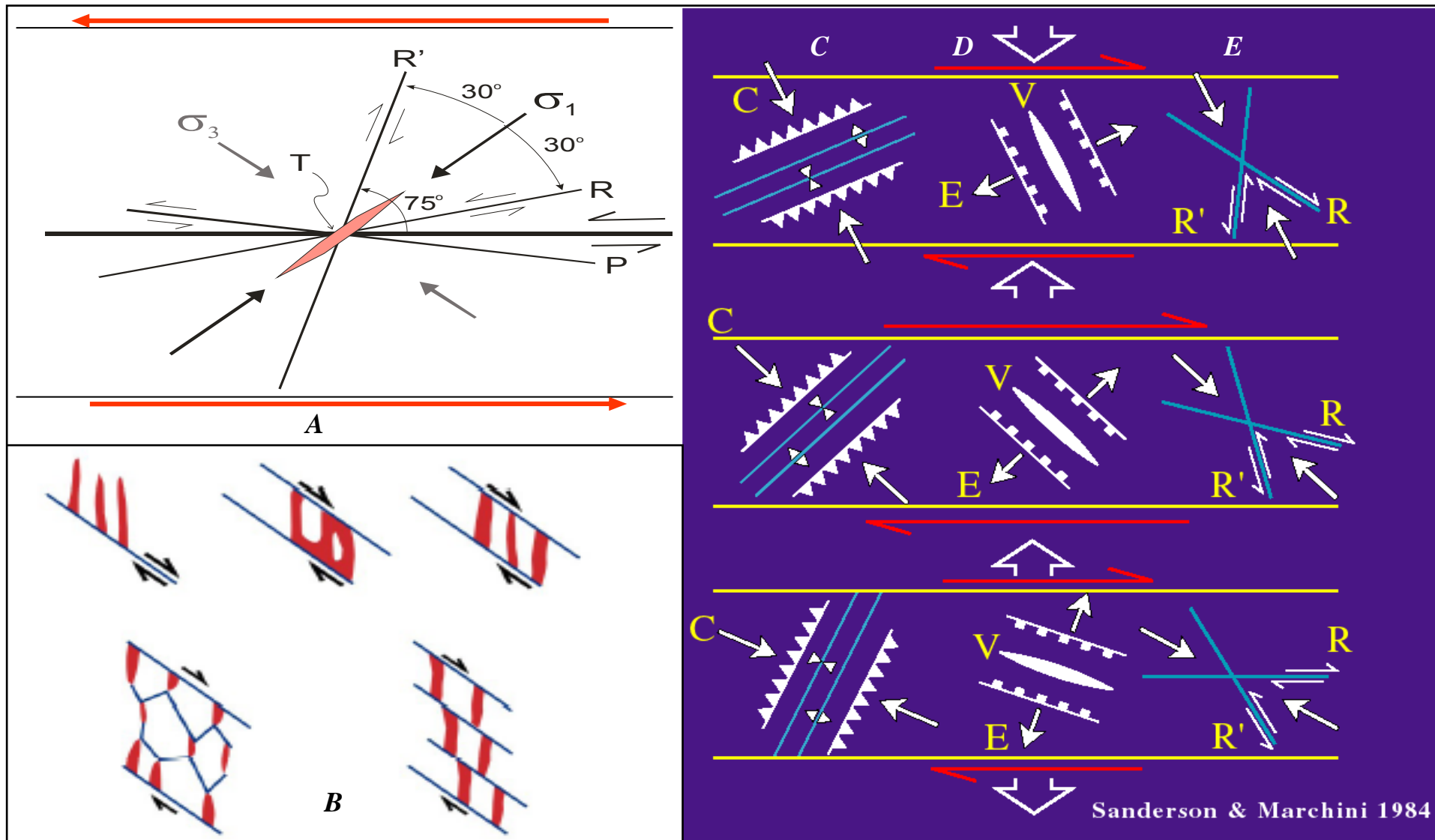


Figura 18: Modelo de fracturación (modificado Quispe, 2006). A) Modelo de fracturación de Ridel, R1 y R2, P: fallas de Skempton, T: fracturadas por tracción B) Modelo de fracturación tensional en zonas de cizalla (Dubé & Guha, 1992). C) Zona de Transtensión. D) Zona de Transgresión E) Ejes de compresión sistema de fallas conjugadas.

## Zonas de Transtensión o Transpresión

Las zonas de transtensión o transpresión, están estrechamente relacionadas a fallas transcurrentes y el origen de una o la otra; va a depender fundamentalmente del sentido de movimiento de las fallas transcurrentes. Por ejemplo, cuando una falla principal NW - SE, movimiento sinistral y con una inflexión E - W en su parte central; por el movimiento que tiene, produce desplazamientos normales que generan cuencas tipo "pull apart" o fracturas abiertas, denominadas zonas de transtensión (Figura 3C). Mientras que, si el movimiento fuese dextral se producirían ejes de pliegues y fallas inversas, llamadas zonas de transpresión.

## Análisis Cinemático – Mina Orión

Se obtuvieron datos de campo en diferentes proporciones de cada una de las estructuras estudiadas, esto implica a mayor cantidad de datos analizados los resultados son más fehacientes y consistentes, por esto en los sectores o estructuras con baja recopilación de datos (menor de 10), se han tomado como medidas referenciales (esfuerzos resultantes) para correlacionar con zonas con mayor peso estructural.

**Veta Falla Francia:** Esta estructura tiene un rumbo de N30° - 60°W, buzamiento 40° - 75°NE, potencias variables de 20 cm hasta 10 m en los sectores de sigmoides, se observa una franja brechada de 0.5 a 2 m. Asociada a la caja piso de la estructura.

Se tomaron los datos en las galerías del nivel I (cota 1787 m.s.n.m) y galerías del nivel 725 (cota 1726 m.s.n.m), se recorrió los niveles a lo largo de la veta falla y se obtuvieron 47 datos estructurales de la veta principal como de las estructuras secundarias.

En el nivel I se han identificado planos de fallas de N30°-70°W buzando 40°-75° NE con sistemas conjugados N20°W a N10°E buzando al NE y SE respectivamente, con estrías fricción de bajo ángulo (pitch 6°-43°) inclinadas al SE y NW, donde los indicadores cinemáticos como banqueta al final de la estría y elemento estriador evidencian un movimiento transcurrente de naturaleza dextral.

En los planos de fallas NW-SE se pueden observar superposición de estrías de fricción (nivel I pto. 18), indicando una relación cronológica relativa, se notan estrías con pitch 55°-85° inclinándose al SE y NW con un comportamiento normal y adicionalmente otro sistema de estrías de fricción superpuesto de bajo

ángulo de pitch  $20^{\circ}$ - $40^{\circ}$  inclinado al NW, que muestra un comportamiento transcurrente de naturaleza dextral asociado a un sistema conjugado NE-SW de naturaleza sinistral.

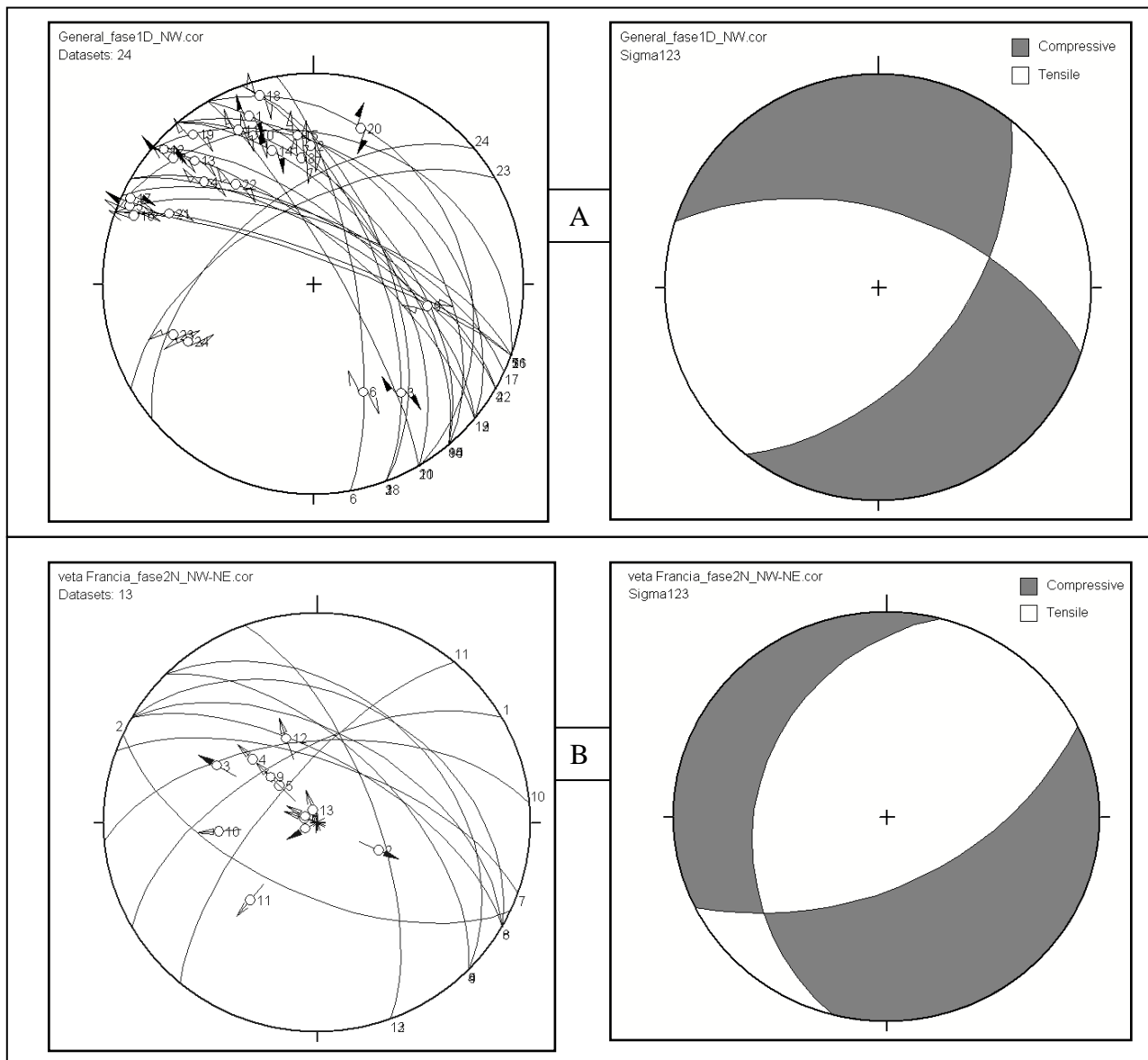
El sistema NW-SE esta siendo cortado y desplazado por fallas de rumbo  $N10^{\circ}$ - $70^{\circ}$ E buzando  $40^{\circ}$ - $75^{\circ}$  SE de naturaleza dextral y sinistral, los desplazamientos son variables y dependen de la envergadura de la falla vienen de unos pocos centímetros hasta 50 a 100 m en algunos casos como el de la falla Sur que desplaza a la Veta Julia, Francia, Vaduz y Almacén 40 m aproximadamente, en el nivel 725 (pto 1+38 m) se ha observado unas estrías de fricción con pitch de  $25^{\circ}$  a  $35^{\circ}$  inclinados al SW y NE mostrando un movimiento sinistral seguido de una fase dextral de menor magnitud, es por esto que se observa los pliegues mostrando un movimiento dextral pero la posición de las estructuras indican un desplazamiento sinistral.

En el nivel I (pto 18+8 m), se observo un sistema conjugado  $N10^{\circ}$ W buzando  $74^{\circ}$  NE, con estrías con pitch de  $43^{\circ}$  inclinado al NW manifestando un movimiento sinistral.

En le nivel 725 (pto 5A), sector veta Almacén se ha observado en la caja techo de la estructura (falla) una serie de estrías de fricción de bajo ángulo superpuestas que manifiestan 2 eventos de deformación uno dextral y otra posterior normal mostrando una relación cronológica relativa. Los datos de campo han sido analizados y procesados estructuralmente generando estereodigramas que representan cada uno de ellos una fase de deformación en las diferentes familias de fallas principales y secundarias, así también los indicadores cinemáticas dan cuenta de 4 fases de deformación identificadas. Las fases de deformación con menor cantidad de datos observados en campo, se han correlacionado en las diversas labores (interior mina), con la finalidad de obtener resultados aceptables o válidos.

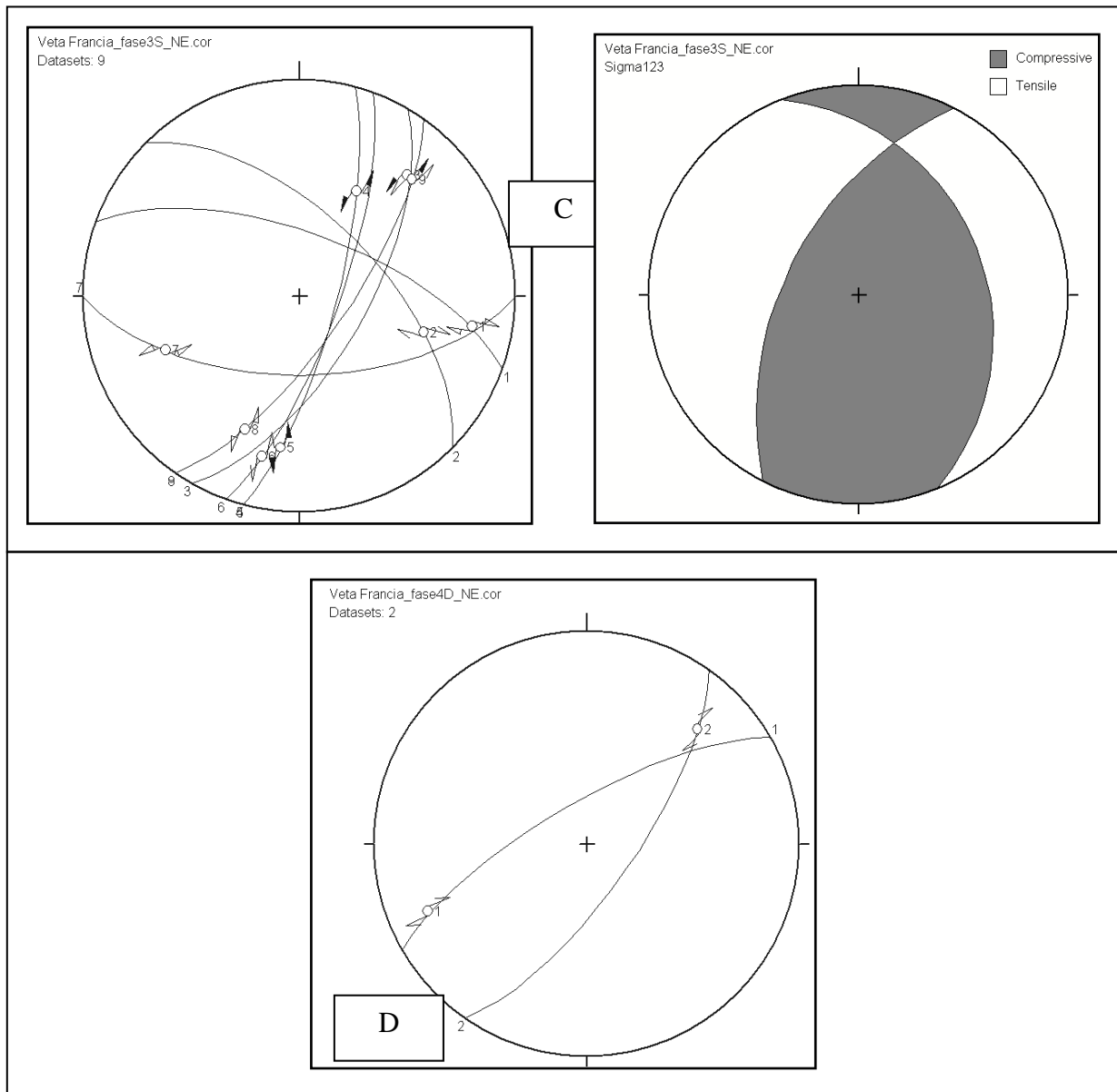
#### **Análisis independiente de los estéreonet.**

- El estereodigrama de las fallas dextrales de  $N5^{\circ}$ - $80^{\circ}$ W. muestra  $\sigma_1$  (185/09) y  $\sigma_3$  (280/28) horizontales,  $\sigma_2$  (078/70) vertical, determinando un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, con compresión en la dirección  $N5^{\circ}$ E –  $S5^{\circ}$ W.
- El estereodigrama de las fallas normales de rumbo  $N40^{\circ}$ - $70^{\circ}$ W, con un sistema conjugado N a  $N20^{\circ}$ W, muestra  $\sigma_3$  (016/07) y  $\sigma_2$  (108/12) horizontales,  $\sigma_1$  (256/76) vertical, definiendo un esfuerzo efectivo del tipo tensional, en la dirección  $N16^{\circ}$ E –  $S16^{\circ}$ W.



**Figura 19: Veta falla Francia, Estereodigramas A) Fallas dextrales WNW – ESE y NNW – SSE. B) Fallas normales NW – SE y NNW – SSE.**

- El estereodigramma de las fallas sinistralas N a N40°E con un sistema conjugado dextral E a N40°W, muestran  $\sigma_1$  (163/02) y  $\sigma_3$  (253/11) horizontales,  $\sigma_2$  (064/79) vertical, evidenciando un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, con compresión en la dirección N17°W – S17°E.
- El estereodigramma del sistema de fallas dextrales N20°-40°E y N60°-80°E, muestra planos de fallas referenciales indicando un proceso de deformación, sin poder calcular los esfuerzos resultantes por la escasez de datos.

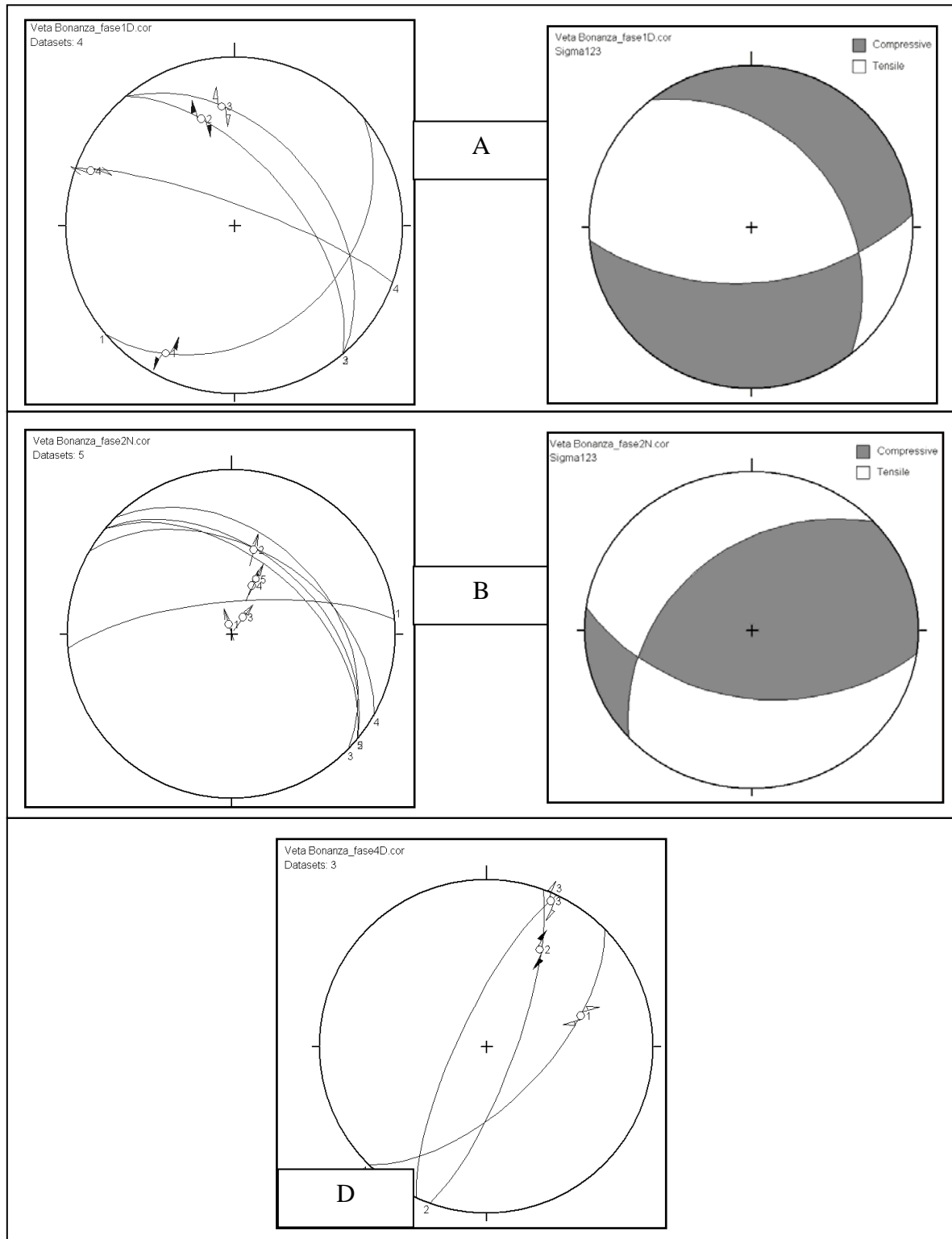


**Figura 20: Veta falla Francia, Estereodigramas C) Fallas Sinistrales NE - SW y dextrales NW - SE. D) Fallas Dextrales NE – SW.**

**Veta Falla Bonanza:** La estructura tiene un rumbo de N20°- 60°W, buzamiento 40°-65°NE, potencias variables de 0.2 a 2 m en algunos casos, la potencia promedio sería de 0.6 m, esta estructura en comparación con la veta falla Francia muestra menor deformación y aparentemente menor importancia económica de lo observado en los niveles desarrollados.

Se han tomado los datos estructurales de los niveles Bonanza inferior (cota 2070 m.s.n.m) y Bonanza intermedia (cota 2100 m.s.n.m), obteniéndose un total de 22 datos de fallas principales como secundarias.

## Análisis independiente de los estéreonet.



**Figura 21: Veta falla Bonanza, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW - SE y sinestrales NE - SW. B) Fallas normales NW – SE y WNW – ESE. D) Fallas dextrales NE – SW.**



Algunos planos de falla con rumbos N30°-60°W buzando 25°-80° NE, muestran estrías de fricción de bajo ángulo (pitch 10° a 35°) inclinados al NW y SE mostrando un movimiento transcurrente de naturaleza dextral. Se ha observado una superposición de estrías de alto ángulo de 40° a 80° SE que indican un movimiento normal, notándose una relación cronológica relativa.

Se han observado fallas con rumbo N20°-50°E buzando 50°-80° al SE, que cortan y desplazan a las estructuras NW-SE desde unos pocos centímetros hasta 30 m, en estos planos de fallas se notan estrías de fricción con ángulos de 5°-40° inclinados al SW, evidenciando un movimiento de naturaleza dextral.

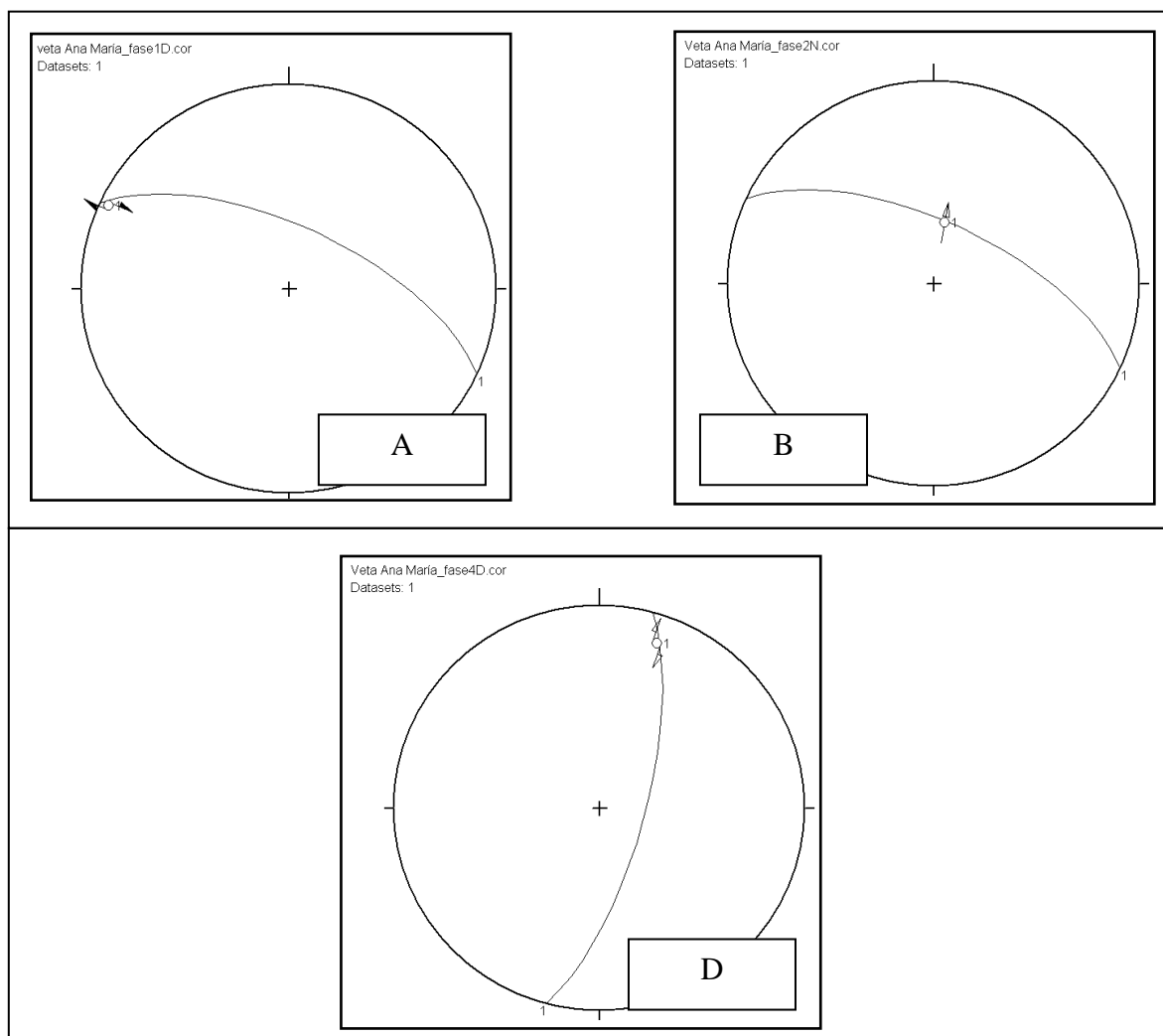
EL sistema NW-SE está siendo cortado y desplazado (0.5 a 3 m) por un sistema de fallas de bajo ángulo de rumbo N20°-55°W y buzando 25°-35°SW, estos planos de fallas tienen estrías de fricción con pitch de 54° inclinado al NW dando a notar un movimiento normal.

La data obtenida ha sido evaluada y procesada estructuralmente, generando estereodigramas que representan una fase de deformación. La evaluación de las estructuras principales y secundarias muestran la evolución de 3 fases de deformación pero no todas afectan a la veta falla Bonanza.

- El estereodigrama de fallas dextrales N20°-40°W, asociado a un sistema conjugado sinistral N40°-60°E, muestran  $\sigma_1$  (001/03) y  $\sigma_3$  (268/52) horizontales,  $\sigma_2$  (093/38) vertical, evidenciando un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, con compresión en la dirección N01°E – S01°W.
- El estereodigrama de fallas normales de rumbo N40°-60°W, asociado a un sistema tensional E-W, muestran  $\sigma_2$  (299/01) y  $\sigma_3$  (029/06) horizontales,  $\sigma_1$  (195/84) vertical, definen un esfuerzo efectivo de tipo tensional en la dirección N29°E – S29°W.
- El estereodigrama de las fallas dextrales N20°-60°E, muestran planos de fallas correlacionables con los observados en la veta falla Francia.

**Veta Falla Ana María:** Esta estructura tiene un rumbo de N40°-60°W, buzando 45°-70°NE, potencias variables de 0.5 a 3 m, superficialmente está bien expuesta pero en interior mina a sido poco desarrollada debido a encontrarse en una zona de intensa actividad tectónica (cataclastita – traza de Falla Sur), siendo difícil seguir la traza de la estructura.

## Análisis independiente de los estéreonet.



**Figura 22: Veta falla Ana María, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. B) Fallas normales NW – SE y WNW – ESE. D) Fallas dextrales NNW – SSE.**

Los datos fueron tomados en las labores Ana María Inferior y Ana María Superior, se obtuvieron en total 10 datos estructurales de fallas principales como secundarias.

En los planos de falla NW-SE se ha observado estrías de fricción de bajo ángulo (pitch  $15^{\circ}$ ) inclinado al SE que indican un movimiento dextral. Los planos de falla NW-SE están siendo cortados y desplazados (de unos pocos centímetros hasta 2 m) por fallas de rumbo  $N15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ E dextrales con estrías de bajo ángulo (pitch  $15^{\circ}$  inclinado al SW) y otro sistema inverso de rumbo  $N10^{\circ}$ - $55^{\circ}$ E (pitch  $70^{\circ}$ - $85^{\circ}$  inclinandose al SW y NE) y  $N20^{\circ}$ W con estrías de alto ángulo (pitch  $82^{\circ}$  inclinandose al SE). Los datos obtenidos han sido analizados y ploteados

en estereodiagramas que representan distintas fases de deformación. De estas observaciones se ha podido determinar la sucesión de 3 fases de deformación referenciales, que se relacionan con periodos de deformación identificados en la veta Francia y Bonanza.

- El estereodiagrama de las fallas dextrales N60°-80°W, muestra  $\sigma_1$  (159/11) y  $\sigma_3$  (253/20) horizontales,  $\sigma_2$  (041/66) vertical, determinando un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, con compresión en la dirección N21°W – S21°E.
- El estereodiagrama de las fallas N60°-80°W de naturaleza normal, muestran  $\sigma_2$  (112/05) y  $\sigma_3$  (020/20) horizontales,  $\sigma_1$  (217/69) vertical, evidenciando un esfuerzo efectivo de tipo tensional en la dirección N20°E – S20°W.
- El estereodiagrama de las fallas dextrales N a N20°E, muestra  $\sigma_1$  (242/01) y  $\sigma_3$  (333/23) horizontales,  $\sigma_2$  (150/67) vertical, indicando un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, manifestándose la compresión en la dirección N62°E – S62°W.

**Veta Falla Burra Muerta:** La veta tiene un rumbo de N30°-60°W, buzando 40°-70°NE, potencias variables de 0.5 a 2 m, se observan zonas de inflexión aproximadamente E-W a lo largo de la estructura, esto se manifiesta sobre las labores desarrolladas en interior mina.

Se tomaron los datos de las labores Burra muerta (nivel 2165) y Korilazo (nivel 2190), obteniéndose un total de 04 datos estructurales, considerando las estructuras principales y las secundarias. Esos datos permiten correlacionar los esfuerzos observados en Burra Muerta con los determinados en Francia y Bonanza.

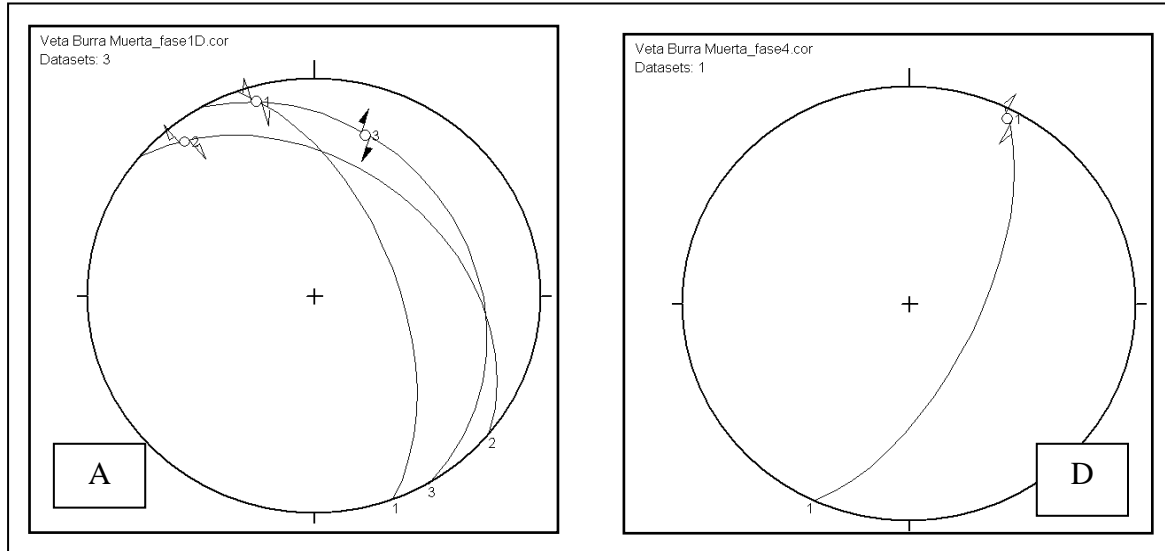
Sobre los planos de falla también se ha observado un sistema de estrías de bajo ángulo (pitch 8°-25° inclinados al SE y NW), que muestran un movimiento dextral.

Los planos de falla NW-SE están siendo cortados y desplazados (0.5 - 5 m) por un sistema de fallas de rumbo N25°E buzando 65°SE, con estrías de bajo ángulo (pitch 5° inclinado al SW), evidenciando un movimiento de naturaleza dextral.

Del análisis estructural de los datos, se ha determinado la existencia de 2 fases de deformación referenciales correlacionables con deformaciones observadas

en la veta Francia, esto parte de la interpretación de los estereodigramas generados del ploteo de datos de campo.

### Análisis independiente de los estéreonet.



**Figura 23: Veta falla Burra Muerta, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. D) Fallas dextrales NE – SW.**

- El estereodigramma de las fallas dextrales N a N60°W, muestra  $\sigma_1$  (196/17) y  $\sigma_3$  (307/49) horizontales,  $\sigma_2$  (093/36) vertical, evidenciando un esfuerzo efectivo de tipo transcurrente, con una compresión en la dirección N16°E – S16°W.
- El estereodigramma de las fallas N 20°-40°E de comportamiento dextral, muestran  $\sigma_1$  (249/11) y  $\sigma_3$  (344/21) horizontales,  $\sigma_2$  (134/66) vertical, determinando un esfuerzo efectivo de tipo transcurrente, con compresión en la dirección N69°E – S69°W.

**Veta Falla Gallera:** La veta tiene un rumbo de N40°W buzando 76°NE, manteniendo potencias variables de 0.2 a 0.6 m, mostrando un relleno de óxidos y arcillas (hematita, jarosita, caolín), existen una serie de estructuras subparalelas correspondientes al sistema gallera en esta labor.

Se obtuvieron los datos de la labor Gallera (nivel 2020), de las diferentes estructuras pertenecientes al sistema gallera, se recolecto en total 4 datos estructurales considerando planos de falla principales y secundarios, el desarrollo de labores sobre las estructuras mineralizadas es reducido.

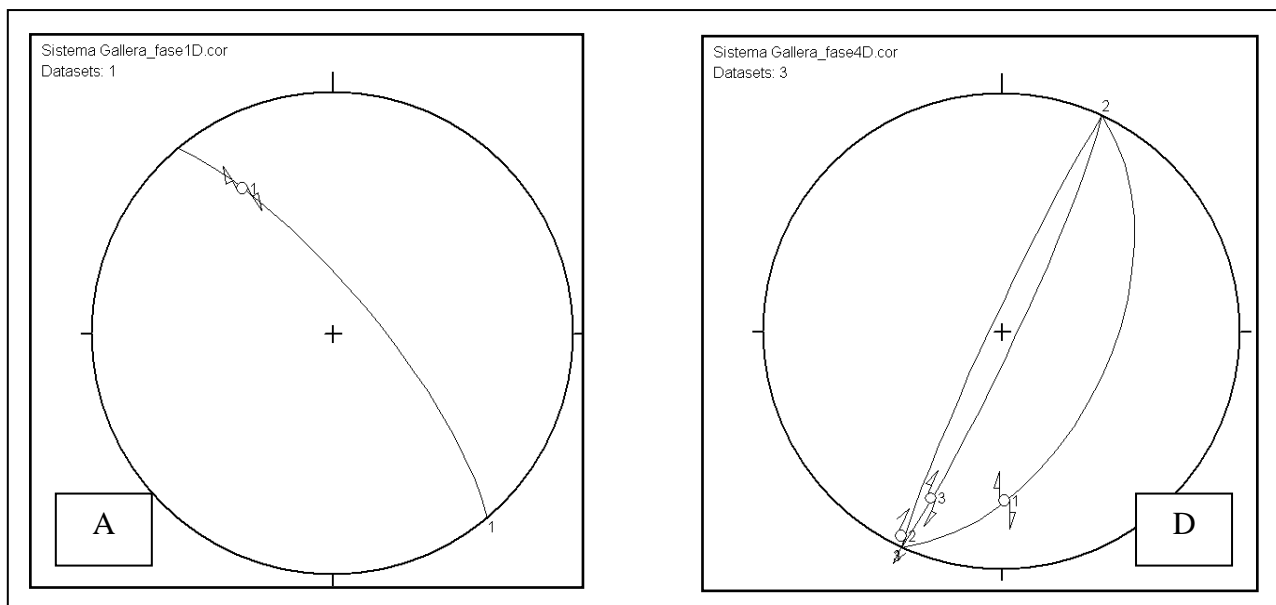
En los planos de falla NW-SE se ha observado estrías de fricción de bajo ángulo (pitch 30°, inclinación al SE), esto indica un movimiento de naturaleza dextral.

Los planos NW-SE están siendo desplazados (0.5-2 m) por planos de falla con rumbos de N20°-30°E buzando de 52°-85° al SE y NW, muestran estrías de bajo ángulo que varían de 5°-30°, inclinándose al NE.

De la observación de campo y el análisis estructural de los datos estructurales, se ha identificado 2 fases de deformación. Estos eventos se relacionan en las vetas fallas Francia y Bonanza con las fases A y D.

### Análisis independiente de los estéreonet.

- El estereodiagrama de las fallas N20°-40°W de comportamiento dextral, muestran  $\sigma_1$  (011/08) y  $\sigma_3$  (276/32) horizontales,  $\sigma_2$  (114/57) vertical, determinando un esfuerzo efectivo de tipo transcurrente, con compresión en la dirección N11°E – S11°W.
- El estereodiagrama de las fallas dextrales N20°-40°E, muestra  $\sigma_1$  (247/18) y  $\sigma_3$  (156/02) horizontales,  $\sigma_2$  (058/72) vertical, definiendo un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, con compresión en la dirección N67°E – S67°W.



**Figura 24: Veta falla Gallera, Estereodiagramas A) Fallas dextrales NW – SE. D) Fallas dextrales NE – SW.**

**Veta Falla Cristina:** La estructura tiene un rumbo de N40°-70°W buzando de 60°-80° NE, con potencias variables de 0.6 a 1.5 m en algunos casos, muestra un relleno de óxidos de hierro (hematita, jarosita) y menor proporción óxidos de cobre (atacamita, crisocola).

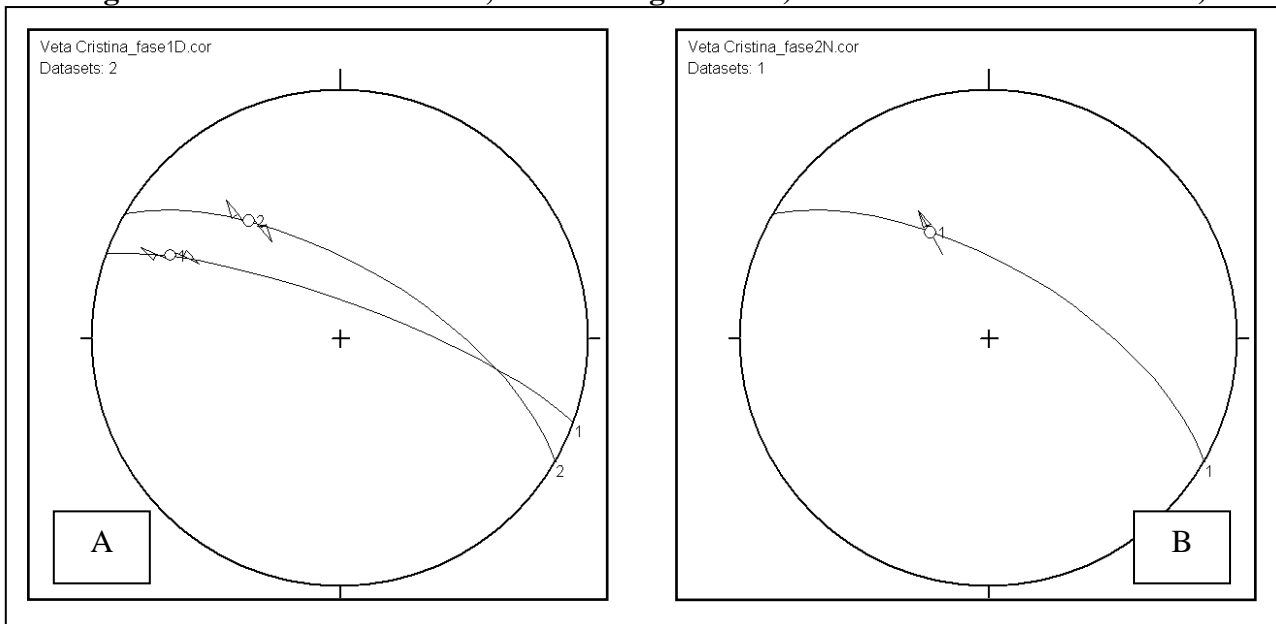
Los datos se tomaron en la labor Cristina (nivel 2155 m.s.n.m), se recolectaron en total 5 datos estructurales de una estructura principal sobre un solo nivel

desarrollado. Por la poca densidad de datos colectados estos solo servirán de información para correlacionar con deformaciones reconocidas y validadas en las labores de las Vetas fallas Francia y/o Bonanza.

En los planos de falla NW-SE se han observado estrías de fricción (pitch variable entre 20°-40° inclinándose al SE y NW), esto evidencia un movimiento dextral; sobre este mismo plano se nota una sobre imposición de sistema de estrías identificándose otro sistema de 50° inclinándose al SE, dando cuenta de movimiento posterior de naturaleza normal en una secuencia cronológica relativa.

De la evaluación estructural se ha podido determinar la existencia de 2 fases de deformación, fácilmente reconocible en los planos expuestos.

**Figura 25: Veta falla Cristina, Estereodigramas A) Fallas dextrales NW – SE. B)**























**Fallas normales NW – SE.**

#### **Análisis independiente de los estéreonet.**

- El estereodigrama de las fallas dextrales N40°-80°W, muestra  $\sigma_1$  (348/07) y  $\sigma_3$  (252/40) horizontales,  $\sigma_2$  (087/49) vertical, evidenciando un esfuerzo efectivo del tipo transcurrente, con una compresión en la dirección N12°W – S12°E.
- El estereodigrama de las fallas N40°-60°W de naturaleza normal, muestran  $\sigma_2$  (106/35) y  $\sigma_3$  (005/14) horizontales,  $\sigma_1$  (257/52) vertical, evidenciando un esfuerzo efectivo de tipo tensional en la dirección N05°E – S05°W.

**Figura 26: Mina Orión, Cuadro resumen de las fases de deformación en análisis independiente en las diversas estructuras reconocidas y evaluadas, mostrando un esfuerzo resultante final del conjunto de esfuerzos observados en una estructura.**

<b>Veta - Falla</b>	<b>1er Fase</b>	<b>2da Fase</b>	<b>3er Fase</b>	<b>4ta Fase</b>
Francia	 (N05E)	 (N16E)	 (N17W)	 (N84W)
Bonanza	 (N01E)	 (N29E)		 (N79E)
Ana María	 (N21W)	 (N20E)		 (N62E)
Burra Muerta	 (N16E)			 (N70E)
Gallera	 (N11E)			 (N67E)
Cristina	 (N12W)	 (N05E)		
General	 (N03E)	 (N19E)	 (N22W)	 (N74E)

# **CAPITULO V**

## **INTERPRETACIONES**

### **5.1 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y FASES DE DEFORMACIÓN EN**

#### **LA MINA ORIÓN – CHALA**

En relación a lo descrito en el capítulo III, las estructuras frágiles de la Mina Orión presentan por lo menos 4 fases de deformación (Figura 26) que han afectado en diferente medida la geometría inicial del yacimiento. Para un mejor entendimiento de los eventos tectónicos responsables de las deformaciones, procederemos a agruparlos en función al estado de esfuerzo efectivo. Estos esfuerzos se relacionaran con las deformaciones descritas a escala regional, teniendo en cuenta que esta relación presentada como resultado es relativa, por no tener datos comprobables que verifiquen esta afirmación solo se basa en la comparación de eventos tectónicos y mineralizante de alcance regional.

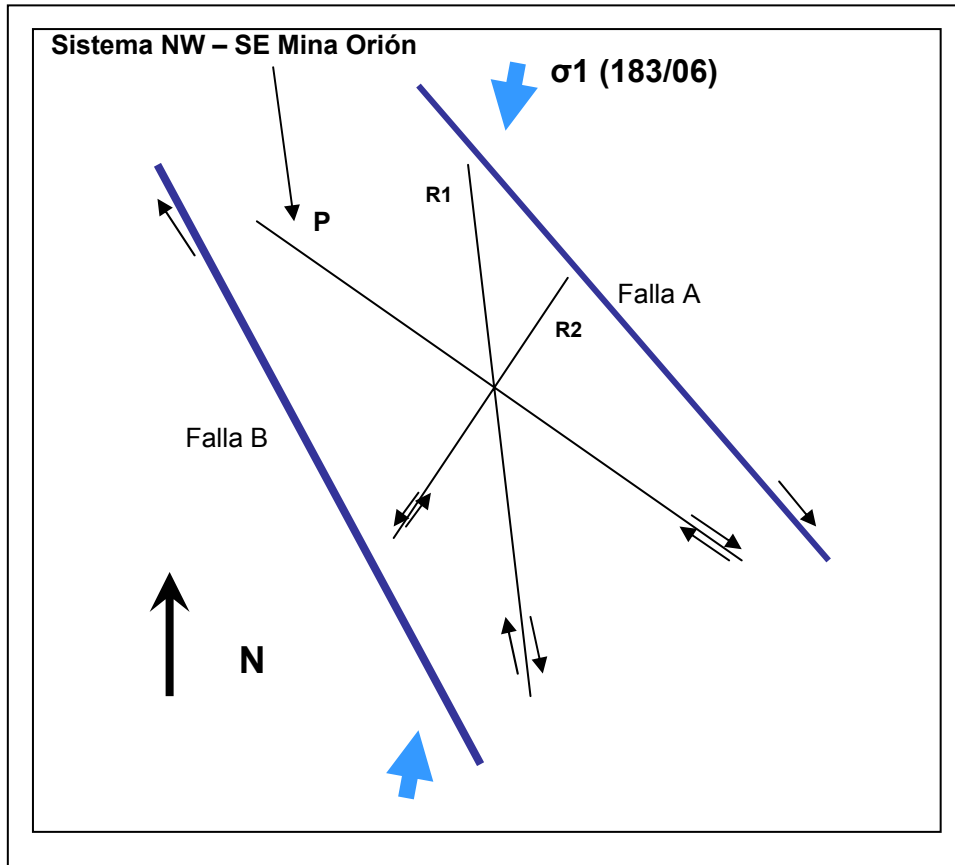
A continuación describiremos las 4 fases de deformación presentes en la Mina Orión:

#### **Fase I:**

Está dada por una primera fase trascurrente en la dirección  $N03^{\circ}E - S03^{\circ}W$ , se le denominara como fase  $TC_{N-S}$ . En la mina Orión se ha observado este movimiento en las vetas fallas Francia, Almacén, Bonanza, Burra Muerta, Gallera y Cristina de rumbo  $N30^{\circ}-60^{\circ}W$  y buzamiento de  $40^{\circ}-75^{\circ} NE$ , presenta estriaciones asociadas a un movimiento dextral y relacionadas a esta fase, siendo la responsable de la generación de zonas de transpresión en la misma dirección que el esfuerzo compresivo, esta fase se considera como pre – mineral y es una de las que se observa con mayor claridad en las diversas estructuras presentes en la mina.

En tal sentido, la fase  $TC_{N-S}$ , estaría ubicada entre un evento tectónico compresivo denominado orogenia Mochica (albiano medio – cenomaniano) y una fase compresiva que sería la fase Peruana (84 Ma – 79 Ma).



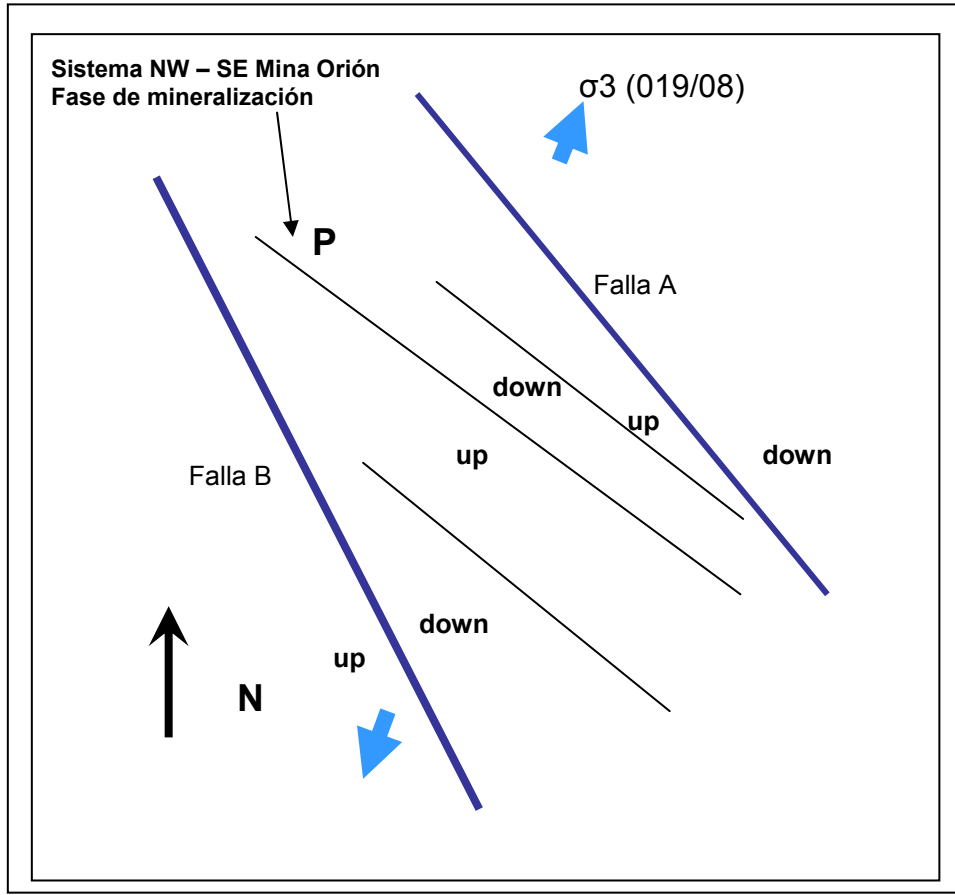


**Figura 27: Mina Orión, Esquema conceptual de los esfuerzos compresivos efectivos en la primera fase de deformación y las estructuras resultantes observadas dentro del área de estudio.**

### **Fase II:**

Es la primera fase extensional en la dirección N19°E – S19°W, se le denominara como **E<sub>NE-SW</sub>**. Durante este proceso se da un régimen extensional evidenciado por la presencia de cuencas intermontanas, rellenas por capas rojas como la Formación Casapalca (Benavides-Cáceres, 1999) y vulcanismo relacionado a calderas (Noble et al, 2005). En la mina Orión este periodo de esfuerzos distensivos estaría ligada a los procesos de mineralización regionales que aportaron en el enriquecimiento del yacimiento. Este esfuerzo es manifestado por la presencia de estrías ligadas a un movimiento de naturaleza normal en los planos de falla de las vetas Francia, Bonanza, Ana María y Cristina.

En relación a los datos, esta fase **E<sub>NE-SW</sub>** estaría ligada a un régimen extensional ubicado entre los pulsos finales de la fase Peruana (84 Ma – 79 Ma) y el inicio de la fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma), (Campaniano tardío – Paleoceno).

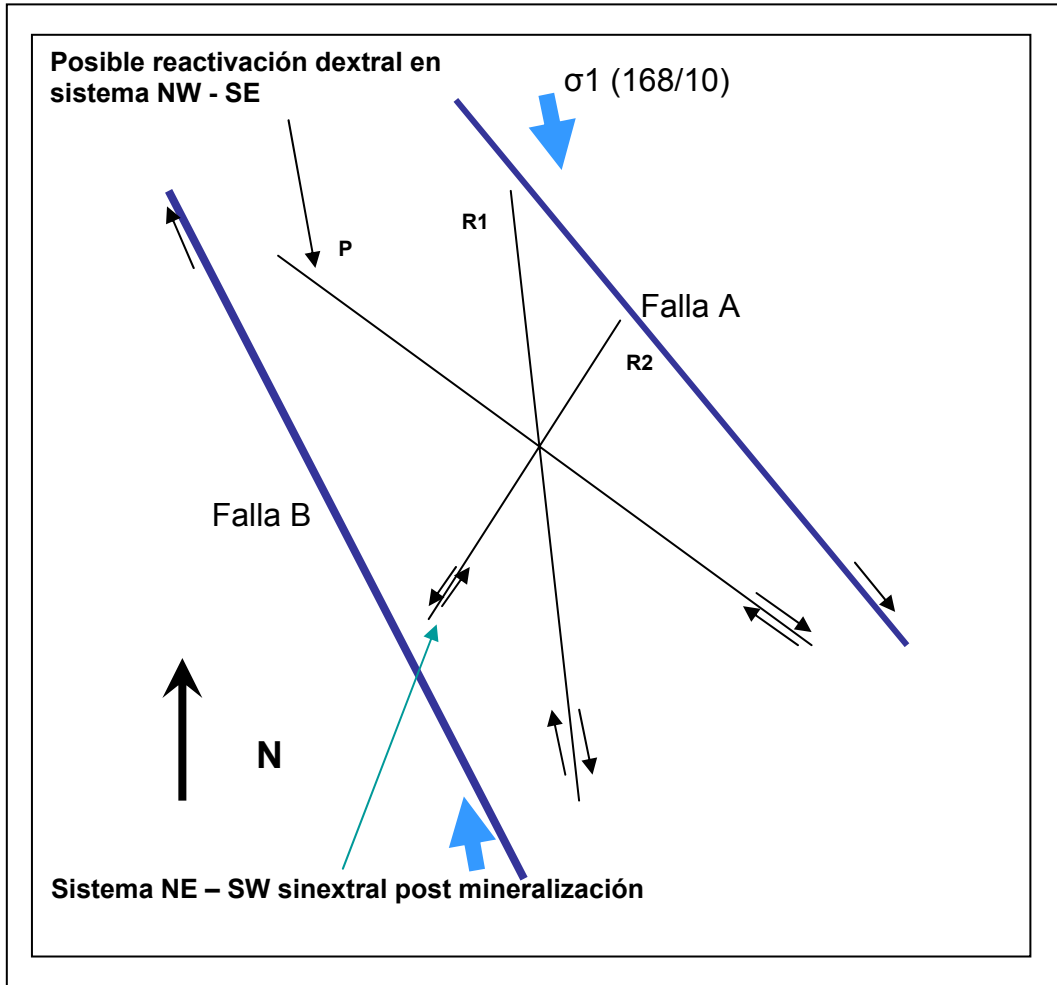


**Figura 28: Mina Orión, modelo esquemático de la fase extensional, que origina la apertura de estructuras pre existente y algunas adicionales creadas en este proceso.**

**Fase III:**

Es la segunda fase transcurrente, en la dirección N22°W – S22°E, a la que denominaremos  $TC_{NW-SE}$ , en la mina Orión se observa en los niveles 725 y I (Veta falla Francia) la presencia de fallas de rumbo N40°E con estriaciones oblicuas en planos de falla que evidencian un movimiento sinistral (falla Sur), este episodio de deformación es considerado como post mineralización, debido a que afecta a las estructuras mineralizadas desplazándolas desde algunos metros hasta algunas decenas de metros.

Por lo expuesto, esta fase  $TC_{NW-SE}$  la podríamos ubicar entre la fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma) y la fase Incaica II (43 Ma – 42 Ma) ambas de naturaleza compresiva.

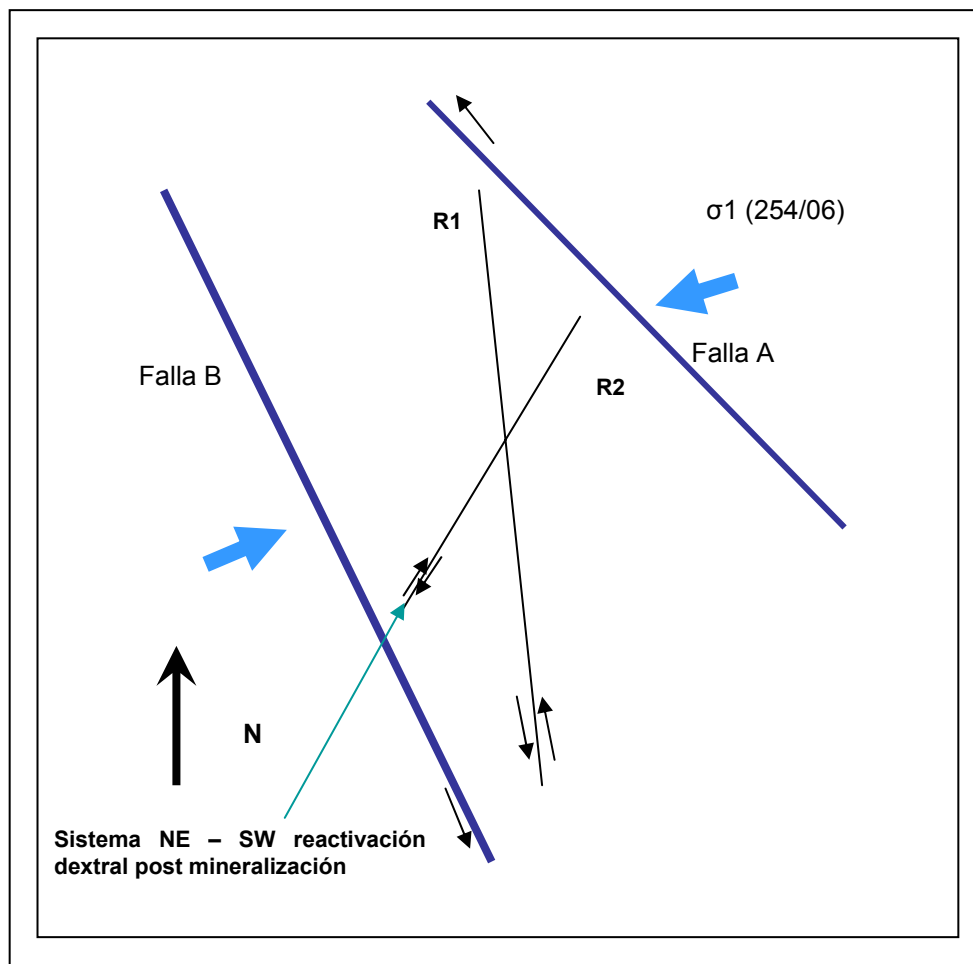


**Figura 29:** Mina Orión, esquema de la fase sinextral que produjo la fragmentación de las estructuras mineralizadas, teniendo su origen en fallas de naturaleza dextral mayores.

#### **Fase IV:**

Es la tercera fase transcurrente, en la dirección N74°E – S74°W, a la que denominaremos  $TC_{NE-SW}$ . Este movimiento en la mina Orión se puede observar en los niveles 725, I (Veta Francia), en la labor Bonanza intermedia e inferior, en Burra muerta y labores artesanales de la veta falla Cristina, manifestadas por fallas de rumbo N30°-40°E buzando 60°-75°SE, afectando a la estructura mineralizada desplazándola de manera dextral de 0.5 a 5 m. Esta fase de deformación es considerada como post – mineralización.

Este periodo de deformación  $TC_{NE-SW}$  estaría relacionado a la fase Incaica IV (22 Ma), esta fase corresponde a un evento compresivo.



**Figura 30: Mina Orión, modelo conceptual mostrando la reactivación dextral sobre el sistema de fallas post mineralización, siendo consecuencia de fallas sinestrales de orden distrital.**

Se agruparon los datos de todas las labores reconocidas en función a los esfuerzos efectivos, a partir de estos datos se realizaron análisis estructurales generales (Tectonic FP), con la finalidad de determinar los esfuerzos resultantes globales en la mina Orión.

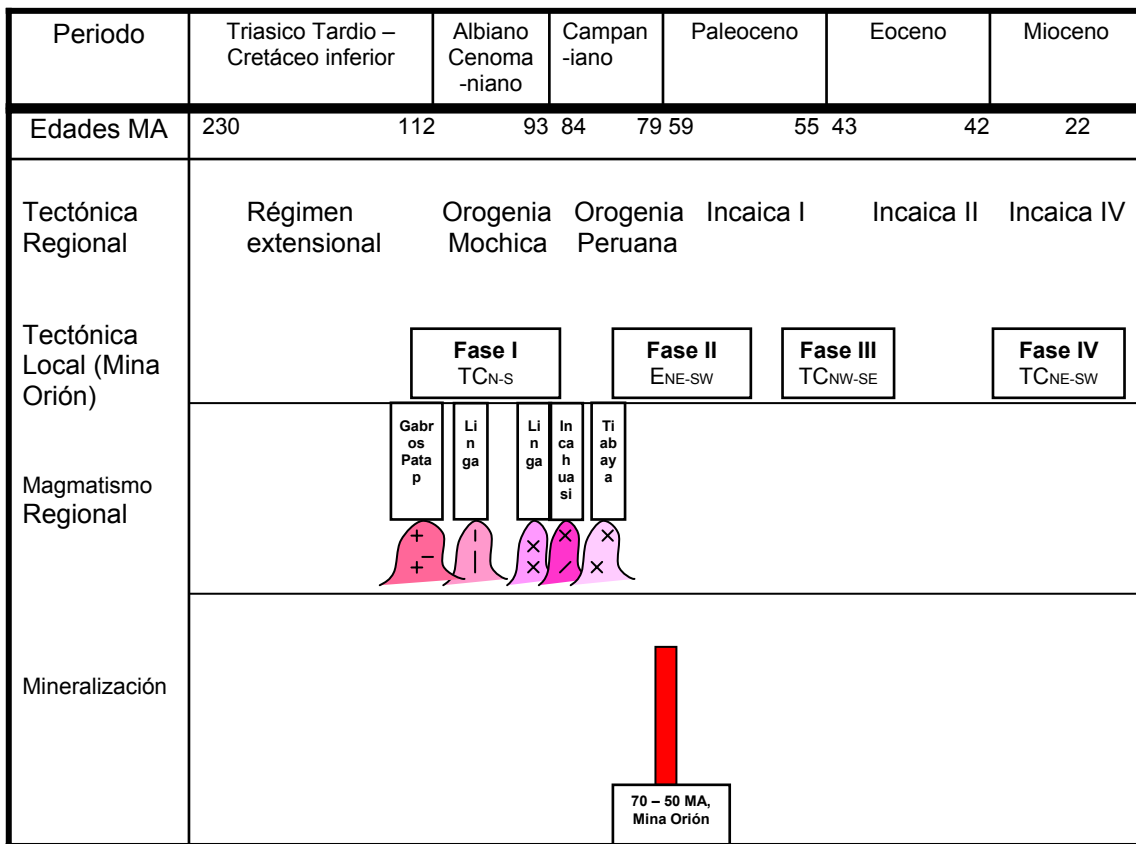
## **5.2 CONTEXTO TECTONICO Y RELACION CON LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA**

Como resultado de los estudios se podría tener una serie de interpretaciones relativas que se ajusten al emplazamiento de los intrusivos, formación de las estructuras con las reactivaciones respectivas y ocurrencia de los diferentes eventos de mineralización.

El primer evento (fase I) observado se relacionara con la orogénia Mochica del Albiano Medio - Cenomaniano, siendo en este periodo donde se formaron la

estructuras de alcance regional con las subsecuentes secundarias que son motivo de estudio, además se emplazaron intrusivos como los gabros Patap.

La edad de mineralización en el batolito de la costa fluctúa entre 70 MA a 50 MA, esto tiene un nexo con la fase extensional (fase II) entre finales de la orogenia Peruana (84 Ma – 79 Ma) y el inicio de la fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma), Campaniano tardío – Paleoceno. Durante este periodo ocurrieron los eventos de mineralización que contribuyeron al enriquecimiento en Au en las vetas del batolito de la costa (segmento de Arequipa) y poco después del emplazamiento de la súper unidad Tiabaya.



**Figura 31: Mina Orión, cuadro esquemático conceptual relacionando las fases tectónicas en la mina Orión con eventos tectónicos, magmáticos y mineralización regionales.**

La tercera fase observada de dirección N22°W – S22°E, naturaleza transcurrente, estaría ubicada entre los periodos Incaica I y II, este acontecimiento es reconocible en las fallas post mineralización que produjeron un movimiento de naturaleza sinistral observable dentro del proyecto afectando a las estructuras mineralizadas, con desplazamientos de algunos metros hasta cientos de metros (falla Sur, Norte) y reactivación de tipo dextral en las estructuras mineralizadas.

El cuarto evento reconocible (fase IV) es de naturaleza dextral, afectando a las estructuras mineralizadas reactivando las estructuras existentes y reduciendo el efecto de la tercera fase, este acontecimiento se relaciona a la fase Incaica IV (22 Ma). No se reconoció ninguna ocurrencia relacionada a la fase extensional ocurrida después de la fase Incaica III que tiene importancia en la mina Antapite, por tener relevancia en la ocurrencia de la mineralización en dicho sector.

## ***AREAS DE INTERÉS PROSPECTIVO***

De las observaciones de campo y de acuerdo a la importancia de prospectividad, se describen a continuación las áreas con mayor potencial económico para la exploración, tanto a escala distrital como a escala local.

El análisis geoquímico por multielementos (Au + 32 elementos) es recomendable a una escala distrital, en caso de realizar muestreos en interior mina o muy locales se podrían tomar en cuenta solo los elementos necesarios Au + metales base para definir el área de estudio.

Los taladros recomendados son todos tentativos, sería necesario evaluar mediante métodos geofísicos las áreas a perforar a fin de ubicar zonas importantes de concentración mineral, que podrían ser exploradas mediante sondajes diamantinos o desarrollo de labores subterráneas.

### **Escala Distrital**

#### **Sector NE - Burra Muerta**

En esta área se han observado en afloramiento hasta 6 estructuras mineralizadas mostrando un relleno de arcillas, óxidos de hierro y se determinaron 5 fases de sílice con una ley en puruña de 0.5 Au Oz/Ton, con rumbo promedio N40° – 60°W buzando 50°-70°NE, potencia que varían de 0.2 m a 0.8 m.

**PROYECTO 01:** Se propone realizar 2 cortes de carretera (Trincheras) de 400 m de longitud cada uno con rumbo N60°E separados unos 100 m verticales, entre las coordenadas UTM 577800E, 8277000N/ 578500E, 8277000N. La finalidad de este trabajo es exponer las estructuras observadas en superficie a diferentes niveles, para luego muestrear selectivamente y analizar por Au más 32 elementos y además evaluarlas geológicamente.

### Sector Veta Tauro

En esta área se observó una estructura mineralizada de nombre veta Tauro con característica alteración de Skarn, con rumbo  $N40^{\circ}-50^{\circ}W$  y buzando  $75^{\circ}$  NE, potencias variables de 0.4 a 0.9 m, tiene un relleno de óxidos de hierro y cobre, arcillas. Presenta algunas labores antiguas artesanales de unos pocos metros de desarrollo.

**PROYECTO 02:** Realizar un muestreo sistemático sobre la estructura y analizar por Au más 32 elementos. De acuerdo a los resultados de los análisis se considerará la posibilidad de efectuar trabajos geofísicos y/o de perforación diamantina y/o labores subterráneas.

### Sector N - Burra Muerta

Es un área extensa llega hasta el límite de la propiedad al norte, afloran estructuras posiblemente mineralizadas con relleno de arcillas, óxidos y en algunos casos se ha observado sílice, con rumbos de  $N40^{\circ}-60^{\circ}W$  y buzando generalmente al NE, mostrando potencias variables de 0.1 hasta 0.5 m.

**PROYECTO 03:** Hacer un muestreo selectivo de los afloramientos presentes y mandar a analizar por Au más 32 elementos. De acuerdo a los resultados analíticos se considerará la posibilidad de efectuar trabajos geofísicos y/o de perforación diamantina y/o labores subterráneas

### Sector NW - veta Tauro

En este lugar se ha identificado un Exo-Skarn con potencial por Cu, mostrando en la secuencia sedimentaria silico-clástica una zona de reemplazamiento extensa de granatitas y niveles marmolizados. Se han observado un manto de rumbo  $N40^{\circ}E$  buzando  $25^{\circ}NW$ , potencia variable de 0.2 a 0.5 m, con óxidos de Cu y Fe como reemplazamiento.

**PROYECTO 04:** Muestreo selectivo sobre las zonas donde se observa alguna evidencia de mineralización, manifiesta por la presencia de óxidos de Cu, óxidos de hierro, analizar las muestras por Au más 32 elementos (geoquímica distrital).

## **Escala Local**

Los trabajos recomendados se efectuarán desde labores de interior mina, por esto es necesario programar la habilitación de cámaras para la ubicación de los equipos de perforación.

### **Nivel 725**

En este nivel se ubican estructuras importantes como Francia, Almacén, Vaduz I-II, que muestran una mineralización de relleno de estructura de potencias variables, afectadas por fallas post-mineralización.

#### **Taladro 01 (T-1)**

Este taladro está ubicado en las coordenadas UTM 579018E, 8275818N, Nv. 1726, con azimut 230° y una inclinación de -55°, longitud de 250 m.

Objetivo: Se esperan cortar las estructuras mineralizadas Vaduz I, Vaduz II, Almacén y Francia. Una vez alcanzados los objetivos se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de las cajas.

#### **Taladro 02 (T-2)**

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 578850E, 8275844N, Nv. 1726, con azimut 240° y una inclinación de -60°, longitud de 150 m.

Objetivo: Se esperan cortar las estructuras mineralizadas Vaduz II, Almacén y Francia. Una vez alcanzados los objetivos se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de sus respectivas cajas.

### **Nivel 2020 Galería**

#### **Taladro 03 (T-3)**

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 578420E, 8276292N, Nv. 2020, con azimut 220° y una inclinación de -60°, longitud de 200 m.

Objetivo: Se esperan cortar la estructura mineralizada Almacén. Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de sus respectivas cajas.



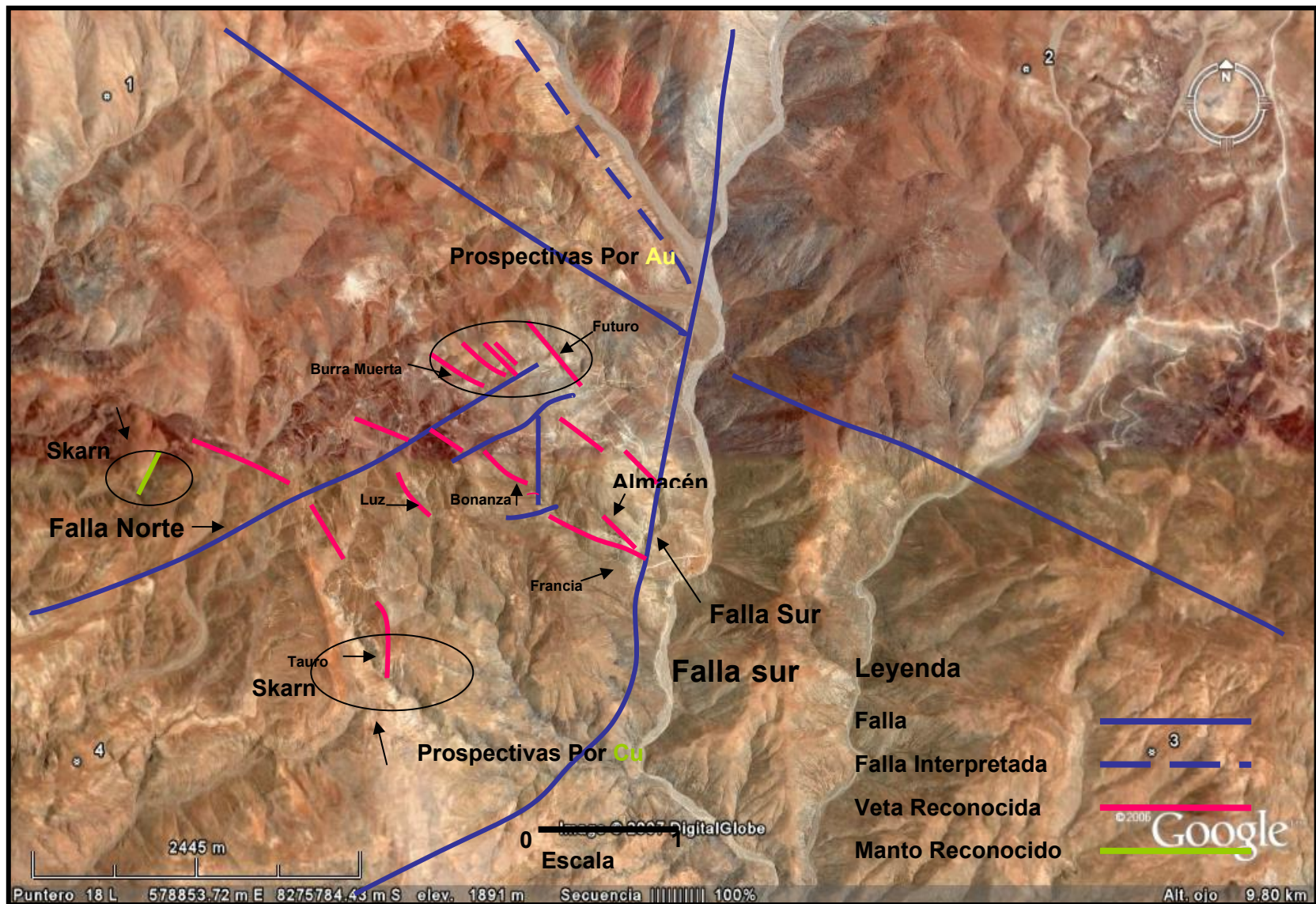


Figura 32: Imagen Google Earth, mostrando áreas prospectivas dentro de la concesión - Alrededores; sistemas de vetas fallas (rojo) y fallas post mineralización de importancia.

## Superficie

Estos taladros están siendo propuestos de manera tentativa, tomando como referencia las ocurrencias mineralizadas en interior mina conocidas, antes de ejecutar una campaña de perforación de corto y largo alcance se debe realizar varias campañas de muestreos geoquímicos selectivos y sistemáticos a fin de definir adecuadamente las anomalías. También es recomendable efectuar trabajos previos de geofísica como Inducción Polarizada (IP) que incluya resistividad conjuntamente con magnetometría (por la presencia de zonas oxidadas y sulfuros primarios).

### **Taladro 04** (T-4)

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 579044E, 8275324N, con azimut 210° y una inclinación de -40°, longitud de 200 m.

Objetivo: Se espera cortar las estructuras mineralizadas del sistema Chinchilico. Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de las cajas.

### **Taladro 05** (T-5)

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 579114E, 8275224N, con azimut 210° y una inclinación de -50°, longitud de 100 m.

Objetivo: Se espera cortar la estructura mineralizada Ana María. Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de las cajas.

### **Taladro 06** (T-6)

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 579004E, 8276288N, con azimut 30° y una inclinación de -60°, longitud de 130 m.

Objetivo: Se espera cortar la estructura mineralizada Españolita. Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de las cajas.

### **Taladro 07** (T-7)

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 577830E, 8276768N, con azimut 230° y una inclinación de -45°, longitud de 100 m.

Objetivo: Se espera cortar la estructura mineralizada Corilazo. Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de sus respectivas cajas.

### **Taladro 07A** (T-7A)

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 578042E, 8276946N, con azimut 230° y una inclinación de -45°, longitud de 200 m.

Objetivo: Se espera cortar un sistema de estructuras mineralizadas subparalelas al NE de Burra Muerta. Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de sus respectivas cajas.

**Taladro 08** (T-8)

Taladro ubicado en las coordenadas UTM 578262E, 8275866N, con azimut  $210^{\circ}$  y una inclinación de  $-50^{\circ}$ , longitud de 75 m.

Objetivo: Se espera cortar la estructura mineralizada Los Muquis (Proyección Francia). Una vez alcanzado el objetivo se deberán tomar muestras de las zonas mineralizadas y de sus respectivas cajas.

## **CONCLUSIONES**

En la zona de estudio afloran rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico al Cenozoico, intruídas por stocks generalmente correspondientes a las súper unidades Linga y Tiabaya, también por diques/sills porfido dioríticos (horblenda cristales de 2 cm) y algunos escasos diques andesíticos.

Las estructuras mineralizadas tienen un rumbo promedio de  $N20^{\circ}-60^{\circ}W$  buzando generalmente  $45^{\circ}-75^{\circ}$  al NE, emplazadas en los intrusivos de diorita – tonalita ricos en biotita, en las secuencias sedimentarias y volcanoclásticas de la formación Guaneros y del grupo Yura, generando horfelns en los sedimentos y diseminación de pirita (óxidos de hierro, zona flor del desierto). Estas estructuras están siendo fragmentadas y desplazadas por fallas post mineralización de orientación  $N10^{\circ}-50^{\circ}E$  subverticales de naturaleza dextral y sinistral.

La mineralización está dividida en dos sectores, uno secundario de óxidos - mixtos de hierro (hematita-jarosita-goehtita) de entre 200 a 400 m de profundidad y otra de sulfuros primarios, ensamble de pirita-calcopirita-magnetita-covelita. La zonas enriquecidas en óxidos – mixtos, se extienden en “clavos” a lo largo de la falla con un plunge  $75^{\circ}$  con longitudes entre 200 y 300 m con zonas estériles de entre 6 y 20 m. Los clavos de mineralización primaria se distribuyen de forma irregular a lo largo de 400 a 600 m en la horizontal y en unos 400 m conocidos hasta ahora en la vertical.

La alteración hidrotermal, se manifiesta en un ensamble de cuarzo sericita intenso en las estructuras y en las cajas adyacentes como sericitización-caolin-cloritización seguida por una propilitización marginal con clorita, epidota, pirita, carbonatos, siendo la propilitización la de mayor difusión en los intrusivos. La silicificación se observa en algunos lugares al norte de la propiedad minera.

Se han determinado 04 fases de deformación en la mina Orión que están relacionadas a procesos tectónicos desde la orogenia Mochica y todo el ciclo

andino, primera fase trascurrente en la dirección N03°E – S03°W, pre – mineralización; la segunda fase extensional en la dirección N19°E – S19°W, esta relacionada a los eventos de mineralización; tercera fase trascurrente en la dirección N22°W – S22°E, considerada post – mineralización; la cuarta fase es trascurrente en la dirección N16°E – S16°W, corresponde a una etapa post – mineralización.

La primera fase corresponde al evento de formación de las estructuras, sistemas de fallas tipo rosario y lazos sigmoides, el segundo evento esta relacionado a los eventos de mineralización, el tercer y cuarto evento son post mineralización y han contribuido al fracturamiento y cambio de geometría del yacimiento.

Existe una relación importante entre la ocurrencia de mineralización y los intrusivos de tonalita - diorita con abundante biotita, textura fanerítica y grano medio (Súper unidad Tiabaya), aparentemente esta relación se debe a la mayor reactividad que presentan estos intrusivos al contacto con fluidos hidrotermales clorurados, ricos en azufre y PH neutros a altas temperaturas, facilitando la precipitación como sulfuros de los cationes metálicos. Se asume que la mineralización de la mina Orión, está genéticamente ligada a las fases finales de los intrusivos de la súper unidad Tiabaya, todavía ocultas.

## **RECOMENDACIONES**

Efectuar tanto en superficie como en labores subterráneas, el cartografiado geológico y estructural de las zonas de interés prospectivo y/o exploración a las escalas requeridas.

Realizar una campaña geoquímica preliminar de muestreo en afloramientos de vetas, así como de suelos y rocas donde sea conveniente, a fin de determinar nuevos posibles targets para exploraciones futuras, seguida de una segunda etapa de muestreos selectivos en función a los resultados obtenidos del muestreo de la primera etapa.

Complementar los trabajos geológicos y geoquímicos, donde sea necesario con prospección geofísica mediante inducción polarizada (IP), resistividad y magnetometría. La presencia de sulfuros y zonas oxidadas conocidas, garantizan la aplicación de estos métodos.

Efectuar una campaña de perforación diamantina en interior mina y superficie, con la finalidad de transformar los recursos minerales en reservas y validar los resultados de la geoquímica. Adicionalmente se obtendrá información sobre el comportamiento de las estructuras en niveles profundos.

Llevar un control permanente del comportamiento estructural relacionado con las estructuras mineralizadas y estudiar en detalle en labores subterráneas el comportamiento estructural de los clavos mineralizados, tanto en la horizontal como en la vertical.

Diseñar programas específicos de prospección geofísica y geoquímica en las zonas de contacto entre los intrusivos y rocas carbonatadas, sobre todo con indicios de skarn, buscando determinar el potencial de dichas áreas.

Considerar la posibilidad de implementar un software en 3D, que permita el modelamiento del yacimiento, así como la cubicación de reservas y recursos mediante este sistema.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- AGAR R.A. & LE BEL L. The Linga Super – Unit: high-K diorites of the Arequipa segment. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 119-127. Department of Geology University Of Liverpool.
- ASCUE J. (1997). Posible Evolución Tectónica de la Deflexión de Abancay e Implicancias Geotectónicas en la Región Sur oriental del Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología, p. 245-247.
- ARANDA A. & INJOQUE J. (2002). Estudio de inclusiones fluidas, distrito minero Orión, Caravelí. Informe Interno Analítica Mineral Services S.A.C.
- DE MONTREUIL L. (1990). Mineralogía de los Yacimientos Auríferos en el Perú, p 307-343. Resumen extendido Segundo Simposium Internacional del Oro.
- DE MONTREUIL L. (1979). Ocurrencia de oro y sus asociaciones mineralógicas en la faja aurífera Nazca-Ocoña, p 25-48. Programa Científico – Cultural. INGEMMET.
- NELSON E.P. (2004). Structural Geological Analisis of the Ishihuinca vein system. Informe interno INMINSUR. Colorado School of Mines.
- MASON G.H. (1982). The mineralogy and textures of the Coastal Batholith, Peru. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 156-166. Department of Geology University Of Liverpool.
- INJOQUE J. (2000). Mina Orión, Complemento y María Auxiliadora. Informe interno Analítica Mineral Services S.A.C.
- INJOQUE J. (2002). Informe de evaluación económica, distrito minero Orión. Informe interno Analítica Mineral Services S.A.C.
- INJOQUE J., RODRIGUEZ I. & ALVAREZ B. (2002). Geología del distrito minero aurífero de Orión, Caravelí - Arequipa. Resumen extendido XI Congreso Peruano de Geología Trabajos Científicos.
- LÓPEZ T. (1976). Estratigrafía del valle de Caravelí - Arequipa. p 34-36; INGEMMET.
- MACHARÉ J. & ORTEGA H. (1997). Estudio Estructural del Sector Este de la Veta Calera, Mina Orcopampa – Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología, p. 95-99.
- MACHARÉ J. & INJOQUE J. (1997). El Fallamiento Tanaka – Yauca y sus Implicancias en la Tectónica Cenozoica de la Costa Sur del Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología, p. 341-345.
- MISIÓN ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN (1978). Prospecto geológico minero del área de Marcahui-Azulyacu, Caravelí – Arequipa; INGEMMET.
- MISIÓN ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN (1978). Prospecto geológico minero del área de Marcahui, Caravelí – Arequipa; INGEMMET.
- MIRANDA C. (1991). Petrología y estructura comparada de los Yacimientos Auríferos en los Batolitos de la Costa y Pataz, p 130-145. Resumen extendido VII Congreso Peruano de Geología.
- MOORE N.D. & AGAR R. A. (1977). Variations along a batholith: the Arequipa segment of the coastal batholith of Peru. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 108-118. Department of Geology University Of Liverpool.

- NOBLE D.C., SÉBRIER M., MERGARD F. & E. MCKEE E. (1985). Demonstration of two pulses of paleogene deformation in the andes of Peru, p 345 - 349. *Earth and Planetary Science Letters* 73.
- NUÑEZ F., Condori A., JARA M. & LINARES F. (1994). Características metalogenéticas de la mineralización aurífera asociada al segmento sur del batolito de la costa (Nazca-Ocoña), p 26-29. Resumen extendido VII Congreso Peruano de Geología.
- OJEDA M.J. & MENDOZA A. (1991). Prospección Geoquímica por Oro en la zona de Caravelí departamento de Arequipa, p 157-162. Resumen extendidos VII Congreso Peruano de Geología.
- PITCHER W.S., BUSSELL M. (1977). Structural control of batholithic emplacement in Peru. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 167-176. Department of Geology University Of Liverpool.
- PITCHER W.S. (1977). A multiple and composite batholith. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 93-101. Department of Geology University Of Liverpool.
- PITCHER, ATHERTON P., COBBING E.J. & BECKINSALE R.D. A model for the coastal batholith. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 238-240. Department of Geology University Of Liverpool.
- PITCHER S. & BUSSELL M. (1977). Andean dyke swarms: andesite in synplutonic relationship with tonalite. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 102-107. Department of Geology University Of Liverpool.
- PUMA Z. (2004). Calculo de Reservas y Evaluación Veta Francia. Informe Interno Analítica Mineral Services S.A.C.
- QUISPE J. (2004). Petrografía, Geoquímica e Implicancias Metalogenéticas de los Volcánicos Cenozoicos de Sureste del Perú: Zona de Mazo Cruz (Puno). Tesis de Grado – Facultad de Ingeniera Geológica, Minera y Metalurgia.
- QUISPE J. (2006). Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytará – Tantará, Huancavelica (Puno). Tesis de Maestría – Facultad de Ingeniera Geológica, Minera y Metalurgia.
- RÍOS R. (1998). Estudio Geológico y Mineralización del Prospecto Paucaray, Caravelí – Arequipa, p 8-15. INGEMMET.
- ROSALES M. (1990). Yacimientos auríferos relacionados al batolito de la costa en la franja Nazca – Ocoña, Ica y Arequipa. Resumen extendido Segundo Simposium Internacional del Oro.
- RIVERA L. (1991). Análisis estructural de vetas auríferas en el distrito de Patatz, p 163-170. Resumen extendido VII Congreso Peruano de Geología.
- TAYLOR W.P. Three - dimensional variation within granite plutons: a model for the crystallization of the Cañas and Puscao plutons. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 228-234. Department of Geology University Of Liverpool.
- TUMIALAN P. & BALLÓN A. (1982). Contribución de la geología económica de la provincia metalogenética Nazca-Ocoña, p 8-14. Programa Científico – Cultural. INGEMMET.
- VALDIVIA J. (1996). Geología estructural de las vetas auríferas en al mina Ishihuinca. Segundo Simposium Internacional del Oro.



VARGAS FUENTES (1998). Estudio Geológico y Microtectónico de las hojas Caravelí y Granada, Caravelí – Arequipa, p 57-99. INGEMMET.

VIDAL C. (1977). Metallogensis associated with the coastal batholith of Peru: a review. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 243-249. Buenaventura Ingenieros S.A.