

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

***Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y
Metalúrgica***

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica



***CARACTERIZACION MINERALÓGICA Y
PETROGRÁFICA EN ZONAS DE PRODUCCIÓN
(MINAS 3-5-6-7) DEL YACIMIENTO DE HIERRO DE
MARCONA (ICA – PERU)***

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

CARLOS FERNANDO SALAZAR ACOSTA

LIMA, MARZO 2003

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PETROGRÁFICA EN ZONAS DE PRODUCCIÓN (MINAS 3-5-6-7) DEL YACIMIENTO DE HIERRO DE MARCONA (ICA- PERÚ)

Páginas

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Planeamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos de trabajo y herramientas de estudio.....	2
1.3 Trabajos anteriores.....	3
1.4 Generalidades de la zona de estudio.....	4
1.4.1 Ubicación, accesibilidad y extensión.....	4
1.4.2 Morfología-Fisiografía.....	4
1.4.3 Clima.....	5
1.4.4 Historia del yacimiento.....	5
2. GEOLOGÍA REGIONAL	7
2.1 Introducción.....	7
2.2 Estratigrafía.....	8
2.3 Rocas magmáticas.....	18
2.4 Geología estructural.....	21
3. METALOGENIA	26
3.1 Depósito metasomático de Marcona.....	26
3.2 Skam autoreaccional de Acari.....	27
3.3 Ambiente Geotectónico de la Franja Fe-Cu de la Costa Peruana.....	31
3.4 Interpretación Genética de la Franja Anfibolítica Fe-Cu.....	31
4. GEOLOGÍA LOCAL	34
4.1 Introducción.....	34
4.2 Estratigrafía.....	34
4.3 Rocas magmáticas.....	36
4.4 Geología estructural.....	39
4.5 Metamorfismo.....	41
4.6 Yacimientos minerales.....	42
5. GEOLOGÍA ECONOMICA	44
5.1 Geometría, petrografía y mineralogía del yacimiento.....	44
5.1.a Forma, Ubicación estratigráfica, potencia y extensión.....	44
5.1.b Relación roca – mena.....	46
5.1.c Zoneamiento y Tipos de mineral.....	46
5.1.d Reservas de mineral.....	48
5.2 Secuencia paragenética.....	49
5.3 Mineralogía del Co y Ni.....	54
5.4 Alteraciones Hidrotermales.....	54
6. COMPARACIÓN CON OTROS YACIMIENTOS DE HIERRO	56
6.1 Franja Cretácica Chilena.....	56
6.2 Interpretación Regional del Margen Continental Perú-Chile.....	59
7. DISCUSIÓN SOBRE LA GENESIS DEL YACIMIENTO DE MARCONA	61
8. CONCLUSIONES	65
9. RECOMENDACIONES	67
10. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS	68

APÉNDICE 1: MICROSCOPIA: DESCRIPCIÓN DE SECCIONES DELGADAS Y PULIDAS

APÉNDICE 2: RELACIÓN DE PLANOS ADJUNTOS

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su reconocimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Geología de la Universidad Nacional de Ingeniería, particularmente en la persona del Dr. Humberto Chirif R., quien me incentivara a desarrollar el presente trabajo, y quien tiene un gran espíritu de comprensión con los egresados de esta Casa de Estudios. Asimismo agradezco al Dr. Rolando Carrascal por sus correcciones, y al Ing. Robert Uribe por su colaboración en la parte de Microscopia. Especial mención a la Ing. Carmen Andrade Talledo del INGEMMET, por su ayuda en la toma de fotos de las secciones opacas.

Quiero también agradecer al Dpto. de Geología de Shougang Hierro Perú, específicamente al Sr. Gabino Vera Medina por su ayuda sobre el desarrollo de los anteriores trabajos en los que él tuviera parte durante sus más de 40 años de actividad minera, y al Sr. Víctor Lizardo Gueldres quien colaborara conmigo en la recolección de muestras y data.

Asimismo al Dr. Jorge Injoque por sus observaciones.

Por último a mi familia, que tanto me incentivó a efectuar esta tesis.

RESUMEN

El yacimiento ferrífero de Marcona, localizado dentro de una franja de yacimientos anfibolíticos de Fe-Cu, se encuentra encajonado en las rocas metasedimentarias de la Formación Marcona (de edad Pre-Ordoviciense), y en las series volcánicas de la formación Río Grande del Jurásico.

La acción de sucesivos pulsos hidrotermales, provenientes en su primera etapa de hipabisales shoshoníticos y en un segundo estadio generado por stocks monzograníticos en las rocas calcáreas de la formación Marcona permitió un metasomatismo termal asociado a un centro volcánico intrusivo fisural, dando origen a un Skarn Cálcico “atípico” de hierro, al cual se superpusieron los eventos ocoíticos del Jahuay tardío que adicionaron Cu y los pulsos monzograníticos post-mineral, dándole al yacimiento su configuración actual.

El yacimiento comprende 117 cuerpos mineralizados de magnetita como mineral económico, con calcopirita asociada, y pirita-pirrotita-actinolita-epidota como minerales de ganga.

Su edad de mineralización está comprendida entre el Jurásico Superior al Cretácico Inferior.

1. INTRODUCCION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sobre la génesis del yacimiento de Marcona se han esbozado numerosas teorías durante los últimos 50 años: Fernández Concha (1950), Atchley (1954), Adrian (1958), Hudson (1974), Injoque (1985), entre otros. Después de más de 45 años de explotación, parece estar despejada cualquier duda acerca de la mineralogía, estratigrafía ó geología estructural del distrito minero, pudiendo existir algunas interrogantes en cuanto a la metalogenia, para lo cual se ha planteado seguir los siguientes pasos:

- a) Sistematización de toda la información geológica existente.
- b) Trabajos de campo, incidiendo en el cartografiado geológico (E: 1/1000, 1/20000).
- c) Determinación de los rasgos petromineralógicos de muestras seleccionadas del área estudiada mediante la microscopia de minerales translucidos y opacos.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y HERRAMIENTAS DE ESTUDIO

Actualizar la geología del distrito minero de Marcona con los últimos cartografiados de campo.

Clasificación petrográfica mediante microscopia de luz transmitida de las muestras seleccionadas.

Determinar las propiedades mineralógicas de la mena ferrífera (paragénesis y texturas) mediante microscopia de luz reflejada, a fin de ajustar el grado de liberación de la mena.

Esbozar el modelo geológico-genético del yacimiento.

Para alcanzar los objetivos planteados, se realizó:

Trabajo de campo efectuado de Setiembre del 2000 hasta Diciembre 2001; cartografiado a escala 1:20,000; interpretación de mapas y secciones a escala 1:1,000; microscopía petromineralógica (luz transmitida y reflejada).

1.3. TRABAJOS ANTERIORES

A continuación se presenta una revisión cronológica de las anteriores interpretaciones genéticas de Marcona, dadas por diferentes investigadores:

F. Fuchs (1926): Diferenciación magmática en derrames de lavas básicas.

L. Eaton (1941): Enriquecimiento de formaciones de hierro.

C. J. Holmberg (1941): Segregación magmática.

F. Pardee (1943): Alteración y enriquecimiento por soluciones magmáticas.

J. Balta H. (1944): Segregación de lavas básicas.

Bown (1945): Diferenciación por cristalización en magmas básicos.

J. Fernández C. (1950): Metamorfismo de contacto activo.

F. W. Atchley (1954): Reemplazamiento y reconstitución.

J. J. Hayes (1954): Reemplazamiento metasomático.

W. Bourret (1955): Reemplazamiento metasomático.

E. Adrian (1958): Metamorfismo y granitización.

Ch. Park Jr. (1972): Removilización del hierro de depósitos pre-existentes por procesos magmáticos.

C. Hudson (1974): Origen singenético en la formación Marcona (tipo exhalativo volcánica) y removilización hacia el Jurásico.

J. Injoque (1985): Skarn cálcico en ambiente metamórfico geotermal del tipo arco insular vinculado al foco volcánico Río Grande.

J. Injoque (1987): Skarn anfibolítico de Fe-Cu asociado a actividad volcánica shoshonítica.

M. Histman (1992): Yacimiento magnetita-apatito tipo Kiruna.

J. Injoque: Yacimiento Oxido Fe – Cu – Au de reemplazamiento carbonatado.

N. Hawkes, T. Moody (2002): Yacimiento Oxido Fe-Cu_Au.

1.4. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.4.1. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y EXTENSION

UBICACION: El distrito ferrífero de Marcona se encuentra ubicado en la costa central del Perú, a 523 km al sur de la ciudad de Lima, entre los paralelos 15°03´ a 15°26´ Latitud Sur, y los meridianos 74°55´ a 75°18´, y abarca 150 kilómetros cuadrados.

La zona pertenece políticamente al distrito de San Juan de Marcona, en la Provincia de Nazca y Departamento de Ica (Ver FIG. 1.1).

ACCESO: Las instalaciones de la mina de Marcona están a 27 km de la ciudad de San Juan, y se llega a ellas a través de la carretera longitudinal San Juan de Marcona-Nazca hasta el km 22, de donde parte un ramal carretero construido específicamente por la mina de 5 km. A 13 km en línea recta se encuentra el puerto de San Juan. Todo el trayecto demora 45 minutos.

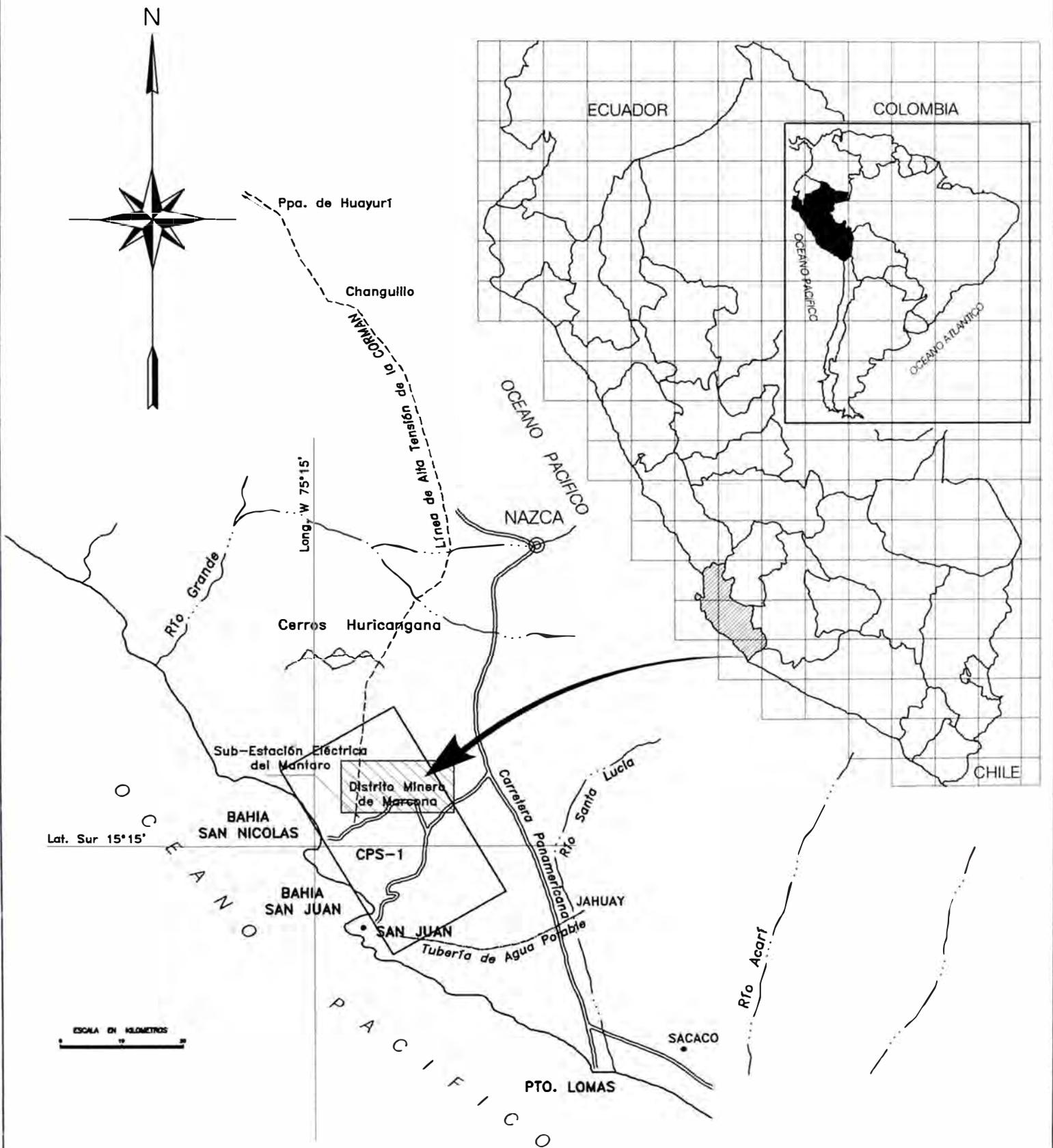
EXTENSIÓN: El yacimiento comprende un área de 15,000 hectáreas (10 km X 15 km), en la cual se encuentran emplazados los cuerpos de mineral, formando depósitos mayormente aislados y con longitudes y rumbos variables, pues existe la Mina 2/3/4 con una elongación de 2,700 m con una potencia real promedio de 150 m, en tanto que otros presentan longitudes que varían desde 300 hasta 1,200 m.

1.4.2. MORFOLOGÍA-FISIOGRAFIA

En una zona desértica y arenosa, propia de la Costa del Perú, y sobre una meseta de 800 m se ubica el yacimiento de Marcona.

Se encuentra formando una plataforma de erosión marina alineada a la cadena costanera muy erosionada, ya que en el Lado W se presentan 27

FIG. 1.1: PLANO DE LOCALIZACION DEL DISTRITO MINERO DE MARCONA



terrazas litorales (Cerro el Huevo), producidas por movimientos costaneros del Terciario Superior y Cuaternario.

Esta zona ha sido una región de sedimentación, por lo que no ofrece mayores irregularidades topográficas, sino que correspondería a una penillanura ondulada con colinas de pocos metros de altura y cubierta casi en su totalidad por un depósito aluvial no consolidado de rodados, grava, arenas, restos fósiles recientes, fragmentos pulidos de minerales de hierro, como consecuencia de las inundaciones marinas, por los levantamientos intermitentes y también por la acción eólica.

1.4.3. CLIMA

El clima corresponde al litoral sur-peruano que es templado y sin gran variación, con temperaturas de 10° a 25° C en invierno, y de 15° a 30° C en verano.

1.4.4. HISTORIA DEL YACIMIENTO

BREVE RESEÑA HISTORICA: Aunque se supone que el color rojo ocre de los ceramios de la Cultura Nazca fue extraído de la zona, en 1870 se anuncio la existencia de este depósito a través de un estudio presentado por Antonio Raymondi.

Federico Fuchs en 1913 y años más tarde el mismo Fuchs y Roberto Letts ampliaron los trabajos de prospección en el área. Estos trabajos fueron publicados por la Sociedad de Ingenieros del Perú.

En 1925, contando con nuevos estudios aportados por José Balta, el Gobierno Peruano declaró a Marcona como una reserva nacional.

Mayores exploraciones se llevaron a cabo entre 1937 y 1938 a cargo de Carlos Schroth y por la firma consultora H.A. Brassert & Company.

En 1943 se constituyó la Corporación Peruana del Santa como un organismo semiestatal, para industrializar ciertas áreas del Perú y establecer la Industria Siderúrgica.

El gobierno peruano, la Corporación Peruana del Santa y la Utah Construction Company llegaron a acuerdos en 1952, mediante los cuales Utah continuaría los trabajos de exploración y determinaría las posibilidades de una explotación rentable.

Para financiar y realizar esta operación, la Utah se unió a la Cyprus Mines Corporation y formaron la Marcona Mining Company, que explotó el yacimiento hasta el 24 de Julio de 1975, cuando se produjo la nacionalización de la empresa, por decisión del gobierno militar del Gral. Velasco Alvarado. La Empresa estatal así establecida pasó a denominarse Hierro Perú.

En 1993 fue privatizada esta empresa y transferida a una Empresa Estatal de China: Shougang, la que actualmente explota dicho centro minero.

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1. INTRODUCCION

La Cordillera de la Costa está formada por un basamento metamórfico del Precámbrico (Complejo Basal) cubierto por rocas clásticas de edad Precambriana Superior (calcáneos San Juan y tillitas Chiquerío) y Cambriana (pelitas Marcona). Estas rocas a su vez se metamofizaron en facies de esquistos verdes con una tendencia de esquistosidad NW-SE, siendo seguida dicha deformación por el emplazamiento del Batolito de San Nicolás (440-390 M.A.), cuya estructuración longitudinal es similar con el evento de deformación anterior, denominado como el Evento Marcona (Shackleton, 1979), pudiendo inferirse una correlación con la Tectónica Caledoniana de los Andes Septentrionales del Perú (Montoya, 1993).

Los Andes Mesozoicos y Terciarios están sobreyaciendo a las rocas del cinturón Hercínico. Sin embargo, hacia la costa la deposición y vulcanismo Mesozoicos se inicia en el Jurásico y continúa en el Cretáceo en lo que se denomina la Cuenca Marginal Cañete-Huarmey (Cobbing, 1999) y que se extiende discontinuamente hacia el norte hasta la Cuenca Lancones (Injoque, 1999, 2000). Esta cuenca es producto de la ruptura de la corteza continental a lo largo de un rift de margen continental, de estructura similar al de una dorsal oceánica, el que en su zona axial contribuyó al relleno de la base con material volcánico por un proceso de extensión y subsidencia. Hacia el sur (cerca al Complejo Basal) deviene a una cuenca marginal ensiálica abortada con composiciones alcalinas a shoshoníticas (volcanismo Río Grande). La transición entre el vulcanismo y la intrusión del Batolito de la Costa ocurrió a finales de la actividad volcánica Casma, durante la intrusión de los gabros y dioritas toleíticos tempranos denominados Superunidades Patap y Pisco (Injoque, 2001), precursores del Batolito de la Costa, y coetáneos al Grupo Casma (Soler, 1991), que marcaron el fin de la

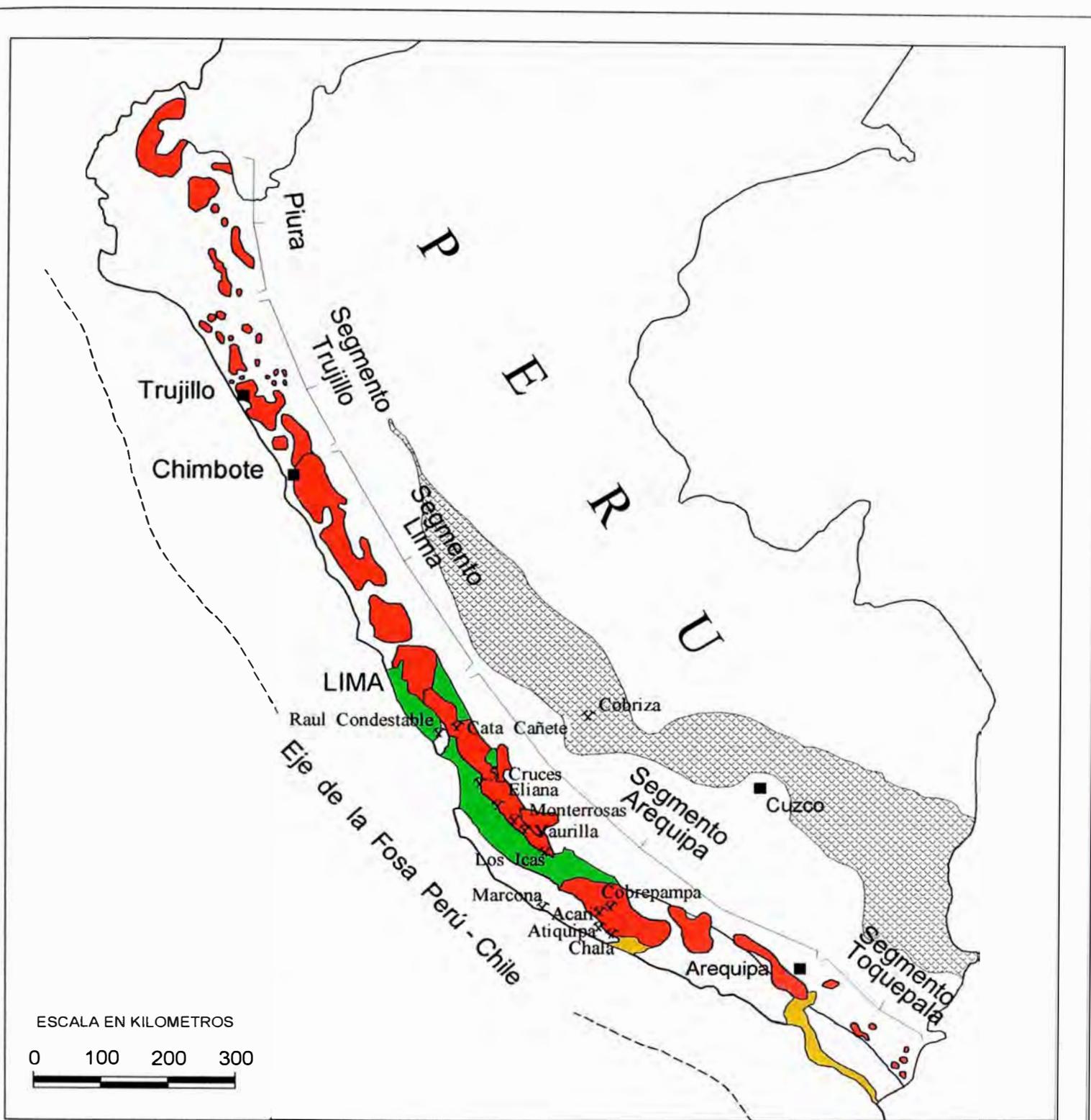


Grafico 1.1: Resumen de la Geología del Perú para los cinturones Andino y Herciniano (Tomado de Injoque, XI Congreso de Geología, 2002)

transgresión de la cuenca (Injoque, 2001). Estos intrusivos ocurrieron sintectónicos a la Fase Deformativa Mochica del Albiano (Cretácico Medio), mientras que del Albiano Superior al Cenomaniano se dio inicio al Margen Continental, activado por la colisión de las Placas Sudamericana y de Nazca. Los complejos hipabisales Tunga y Bella Unión estarían asociados a estos eventos.

El Batolito de la Costa intruyó a lo largo de toda la costa con orientación NW-SE, entre los 100 y 60 M.A., coincidiendo en parte con la fase deformativa del Cretáceo Tardío (Tectónica Peruana), la que generó planos de debilidad en las que se emplazo el Batolito, del cual existen unidades tardías y más orientales de alrededor de 40 M.A. La intrusión del Batolito de la Costa y la actividad volcánica en la zona se presentó en el margen continental (Ver Gráfico 1.1), aunque presenta relación con los procesos de subducción (Cobbing, 1990).

2.2. ESTRATIGRAFIA

Se encuentra conformada por las siguientes unidades (Ver FIG. 1.2):

2.2.a. COMPLEJO BASAL DE LA COSTA. Son unidades de metamorfismo regional compuestas por esquistos, metaarcosas, gneiss, granitos potásicos y migmatitas, de edad Precambriana y que se consideran equivalentes al Escudo Brasileño, del cual sería una prolongación o “ventana”. Welter Ruegg (1962) lo llamó Complejo de Lomas (de una forma local). Las dataciones Sr-Rb y K-Ar de este basamento nos indican diferentes fases de metamorfismo regional: Caldas (1978) efectuó dataciones de dos muestras del gneis del cerro Tres Hermanas, que dieron cifras de 1424 +/- 70 M.A. y 1307 +/- 65 M.A.; una muestra de granito dio 809 +/- 40 M.A. y otra de anfibolita obtuvo 970 +/- 45 M.A, indicando cierta proximidad de generación para dichas rocas. En muestras de tres granitos miloníticos se obtuvieron valores de 631 +/- 30 M.A. , 681 +/- 30

FIG. 1.2: COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL CUADRANGULO DE SAN JUAN
(INGEMMET: Caldas, 1978)

EDAD	FORMACION	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	DESCRIPCION	ESPESOR EN MTS.
Reciente			Depósitos eólicos compuestos por dunas y cubiertas de arena limo y polvo. Conglomerados y fanglomerados con matriz arena-limoso.	± 300
Pleistoceno			Terrazas marinas sedimentarias formadas por conglomerados y arenas inconsolidadas y tufo redepositados, flujos de barro de origen volcánico consistentes en materiales túfcoos, cenizas con limos y arcillas grises	± 50
Plioceno	Vobánico Senca		Tufo riáltico y dacítico blanco-rosados en bancos tabulares, variando a ignimbrites con inclusiones rocosas y vidrio volcánico.	± 50
Mio-Plioceno	Fm. Mlib		Conglomerados y areniscos poco compactados, variando a facies marinas en sus límites occidentales.	± 3
Mioceno	Fm. Pscio		Areniscos amarillentos intercalados con tufo y cenizas redepositadas en el mar, margas y calizas bioclásticas, arcillas bentoníticas, diatomitas, conglomerados coquíferos, areniscos ferruginosos y coquinas en la base.	± 500
Albiano Aptiano (Creta. Inf.)	Fm. Copara		Potentes aglomerados dacíticos y andesíticos gris-morados, tufo rojos y brechas volcánicas y grawacas. Interposiciones de areniscos y grawacas violáceas, lutitas rojas astillosas y dacitas túfcoas gris-azuladas a morrones. Calizas fosilíferas con abundantes nódulos de chert. Alternancia de dacitas porfíricas marrones con areniscos rojos, lavas afaníticas con estructura fluidal.	± 1,000
Neocomiano (Creta. Inf.)	Fm. Yauca		Cuarzitas blanca rosadas con estratificación cruzada intercaladas con lutitas rojas, verdes y gris-negras, derrames andesíticos gris-azulados. Secuencia monótona constituida por alternancia de areniscos cuarzíticos blancos y lutitas multicolores fácilmente fisibles, abundantes restos de plantas fósiles. Delgados capos de calizas azuladas.	± 1,500
Titoniano (Jura Sup.)	Fm. Jahuay		Gruesas areniscos calcáreos, conglomerados y potentes calizas fosilíferas con lentes de areniscos y conglomerados. Areniscos y conglomerados rojizos, calizas violáceas alternadas con flujos andesíticos gris verdosos y afaníticos epidotizados. Calizas gris-marrones con sills de andesita porfírica. Aglomerados volcánicos y lavas brechoides en la base.	± 1,000
Oxfordiano (Jura Sup.) Caloviano (Jura Medio)	Fm. Río Grande		Areniscos marrones y calizas morados intercaladas con brechas volcánicas de materiales afaníticos rojos y verdes, areniscos feldespáticos gris-verdes y lutitas rojas. Frecuentes alternancias de grawacas. Calizas areniscosas y areniscos calcáreos de tonos beige intercaladas por brechas y grawacas; flujos brechoides verdes y lavas afaníticas. Conglomerados intraformacionales, areniscos y lutitas rojas. Calizas moradas y areniscos calcáreos gris-verdes con abundantes celalópodos, braquiópodos, lamelibranchios y restos de corales. Calizas violáceas areniscos feldespáticos y lutitas rojas alternadas con lavas andesíticas grises. Lavas andesíticas y dacíticas marrones porfíricas intercaladas con calizas fosilíferas. Derrames morados amigdaloides con hematita y calcita. Conglomerado hornofélsico.	± 4,000
Cambriana	Fm. Mra		Rocas de metamorfismo de contacto: hornfels filíticos, cuarzitas azuladas; calizas areniscosas silicificadas morados en bancos potentes alternando con pizarras. Hornfels conglomerádicos con cantos calcáreos.	± 1,500
Precambriano	Fm. San Juan		Calizas blancas dolomíticas en capos delgadas con alternancias de esquistos biotíticos. Esquistos cloríticos y talcosos. Gruesos paquetes dolomíticos y calizas marmolizadas y zonas granizadas.	± 3,000
	Fm. Chiquereío Complejo Basal de la Costa		Tiloides con bloques de rocas del Complejo y dolomitas tectónicamente deformadas matriz oscura predominante. Ortogneiss, paragneiss, migmatitas, esquistos y meta-arcasos. Granitos miloníticos (augen gneiss) Batolito de San Nicolás Varias fases de metamorfismo regional.	

M.A. y 540 ± 27 M.A., lo que nos indicaría que estos serían los últimos eventos magmáticos del área anteriores a la deposición de estas formaciones, obtenidas en el Instituto de Geocronología Isotópica de Argentina (Linares, 1978).

Consiste de:

- **ESQUISTOS:** De los tipos sericíticos y cloríticos y se formaron en los niveles más altos durante el metamorfismo regional, del cual constituyen su fase más reciente (Cobbing, 1977).

Ocupan las áreas marginales del Complejo; al sur de Mina 14 (Anomalía La Justa) se presentan esquistos de cuarzo y sericita.

- **GNEISES:** Estas rocas afloran como ortogneises graníticos y paragneises arcósicos. Se encuentran en la periferia del Complejo Basal de la Costa.

La composición mineralógica de los ortogneises varía de granítica (de color rosáceo por la presencia de feldespato potásico) a granodiorita (con bandas feldespáticas claras con alternancias de minerales máficos).

- **MIGMATITAS:** Son bandeamientos conformados por alternancias delgadas de materiales melanócratas (como biotita, sericita, máficos), y bandas leucócratas (cuarzo-feldespatos).

- **GRANITOS GNEISICOS:** Ocupando la zona central del Complejo Basal se hallan series de granitos ortósicos gneisicos con ciertas franjas milonitizadas, cuyos contactos son imprecisos. La mayor parte del basamento superficial esta conformado por esta secuencia.

En Lomas aflora un gneis milonítico mesocrático de color amarillento, cuyos porfidoblastos están constituidos por ojos de ortosa microclínica y pertitizada, con cuarzo elongados, siendo la biotita el mineral principal de la matriz milonítica (Caldas, 1978).

2.2.b. FORMACIÓN CHIQUERIO.- Se denomina así a una secuencia clástica de origen glaciario que aflora entre Punta Chiquerío y alrededores de San Juan de Marcona.

Esta serie yace en discordancia angular sobre la secuencia metamórfica del Complejo Basal, y litológicamente son turbiditas consistentes en fangolitas guijosas laminadas, muy delgadas alternadas con delgadas capas de limolitas y areniscas. Estas laminaciones constituyen la matriz de un conglomerado hornfésico y engloba litoclastos subredondeados (de gneises y granitos del basamento), presentando los rasgos de tillita (Caldas, 1978).

Estos materiales se depositaron en un mar próximo a casquetes glaciares (Pitcher, 1972), presentando una estratificación gradada vertical, con arcillas que engloban bloques que tienen el eje mayor transversalmente a las capas y deforman con su peso a la estratificación.

Al microscopio las tillitas presentan minerales feldespáticos y cuarzo, con esfena, sericita, circón, epidota, con poca clorita (Caldas, 1978).

Su contacto con la formación suprayacente no aparece en forma continua debido al fallamiento regional, pero se puede deducir que los litoclastos y lentes de dolomía de la secuencia superior de la formación Chiquerío existían como consecuencia de la acumulación calcárea, continuando la deposición en mayor magnitud al retiro de los casquetes glaciares (lo que se aprecia en la secuencia inferior de la formación San Juan, compuesta por mármoles dolomíticos).

Esta formación no es correlacionable con otra secuencia. Caldas (1978) y Carlier (1985) la ubicaron en el Precambriano Superior.

2.2.c FORMACIÓN SAN JUAN.- Es una secuencia calcárea recrystalizada por metamorfismo térmico. Su potencia es superior a los 3000 m. Está conformada por tres miembros principales:

- **Miembro Inferior.** Es una secuencia dolomítica, que presenta esquistos calcáreos en sus capas más tempranas y que luego manifiesta una secuencia de mármoles dolomíticos de grano fino, y de color blanco-amarillento, muy fracturados.
- **Miembro Intermedio.** Es una serie pelítica (originalmente lutitas alternadas con laminas de areniscas), metamorfizada a esquistos de bajo grado. Las marcas de oleaje que se evidencian en la roca original indican un ambiente litoral.
- **Miembro Superior.** Consiste en calizas dolomíticas de grano fino, deformadas cataclásticamente. Los fragmentos se encuentran soldados por el mismo material calcáreo.

Esta formación se presenta claramente en los afloramientos de mármoles dolomíticos de Piedra Santa, San Fernando y Chaviña.

La edad de la formación San Juan, al igual que Chiquerío no se puede correlacionar con otras unidades. Debe ser de edad Precambriana (al estar infrayaciendo a la formación Marcona), y al ser intruída por el Batolito San Nicolás. Injoque y Romero (1986) la dataron del Precambriano Superior, al encontrar en ella un horizonte de mármoles dolomíticos con estructuras algales del tipo Estromatolitos: *Collenia* y *Archaeozon*, las cuales son típicas de Neoproterozoico Superior, y constituyen la primera evidencia de estructura fósil hallada en el Perú, debajo del Cambriano. Esto supondría que en el área de Marcona el Complejo Basal no sufrió reactivaciones de actividad magmática (Injoque, 1985), similares a los reportados en el área de Atico por Shackleton (1979), en el cual una isocrona de Rb-Sr obtuvo 440 +/- 7 M.A.

2.2.d. FORMACIÓN MARCONA.- Es una secuencia sedimentaria de grano fino (pelítica), recristalizada por metamorfismo térmico. Tiene 1500 m de espesor.

Esta unidad es la roca caja de la mayoría de los cuerpos ferríferos del Distrito Minero de Marcona, del cual recibe el nombre. Las capas receptoras de las soluciones mineralizantes fueron las dolomías encajonadas en esta formación. Está conformada por las siguientes sub-unidades:

Miembro Inferior: Constituida inicialmente por hornfels conglomerádicos, con clastos redondeados de mármoles dolomíticos (provenientes de la formación San Juan, que yace en discordancia angular), pasando después a calizas silicificadas de color parduzco, con calcarenitas marmolizadas

Miembro Intermedio: Es una secuencia conformadas por cuarcitas gris oscuras intercaladas con delgadas capas de esquistos verdes (de composición clorítica).

Miembro Superior: Es una secuencia areno-limosa recristalizada a hornfels, con argilitas delgadas. Se encuentran en discordancia angular con la formación Río Grande.

Se aprecia en las cercanías de la Mina 14 (llamada también Mina La Justa, en honor a Justo Pastor Arenasa, quien dió la primera evidencia de las “piedras negras” por el año de 1906).

La edad de la formación Marcona ha sido materia de discusión: Atchley y Hayes (1954) la consideraron del Carbonífero Inferior, Bellido (1960) la correlacionó con Tarma, Ruegg (1967) con Copacabana (Permocarbonífero), Caldas (1978) y Carlier (1985), le asignaron una edad que va desde el Precambriano al Siluriano. Sabiendo que el Batolito de San

Nicolás intruye a la formación Marcona y que las dataciones de este intrusivo dan 442 +/- 10.4 M.A., 438 +/- 9.4 M.A., y 428 +/- 12.2 M.A., 421 +/- 10.9 M.A. (por el método K-Ar) y de 400 +/- 22 M.A. por Rb/Sr (Ries, 1976), se puede considerar la data de Marcona como Pre-Ordovícica, de edad Cambriana (INGEMMET, 1995).

2.2.e. FORMACIÓN RIO GRANDE. Es una secuencia volcánico-sedimentaria que alcanza los 4000 m de potencia, que aflora en la faja costera de Nazca-Ocoña. Injoque (1985) clasifico a Río Grande como lavas shoshoníticas (traquiandesitas) con diques de traquita, traquibalsalto-K y riolita. Se puede observar su importancia regional en FIG. 1.3.

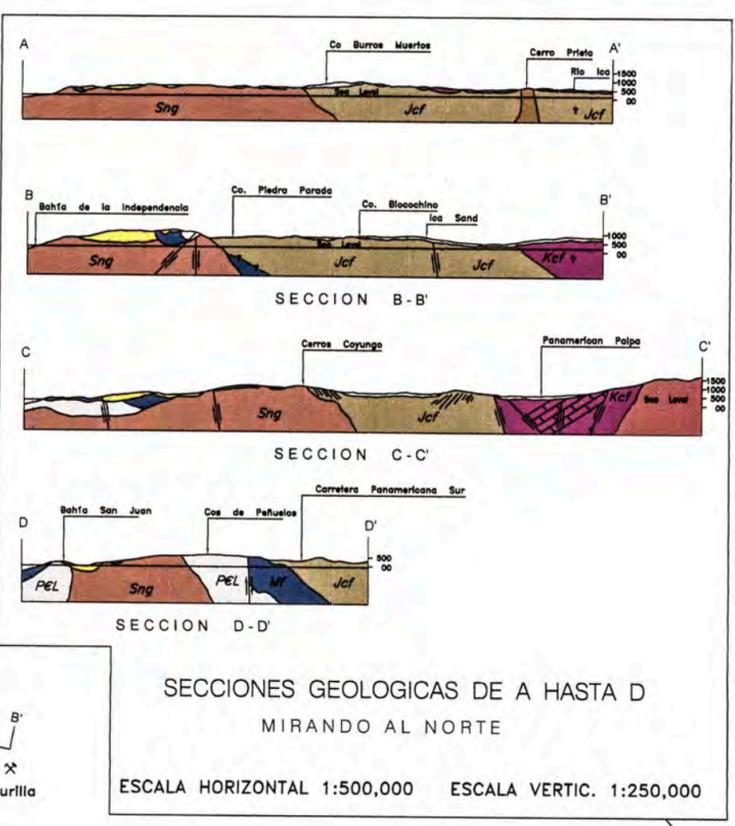
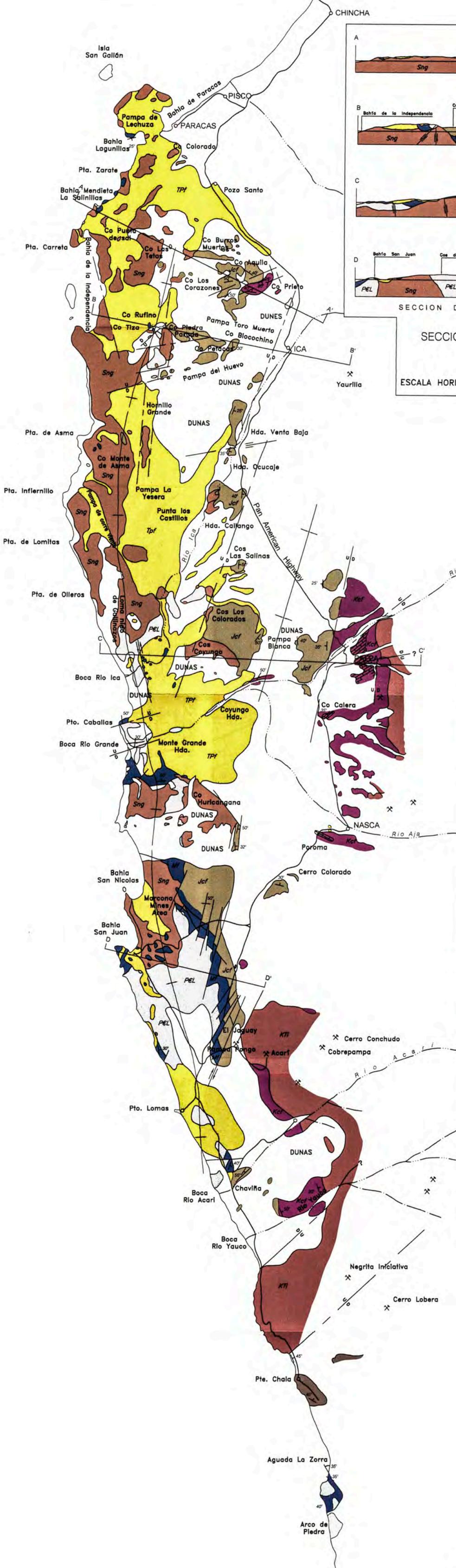
Está conformada por tres miembros principales:

Miembro Inferior: Inicialmente consiste de clastos polimícticos (de todas las formaciones anteriormente descritas), que suprayace a la formación Marcona, y que pasan a derrames lávicos andesíticos (de textura porfirítica), seguidos por calizas y areniscas calcáreas grisáceas, a las cuales suprayacen lutitas rojas en capas delgadas con una alternancia de flujos lávicos brechoides abigarrados de colores rosados y verdes.

Miembro Intermedio: Compuesta principalmente por calizas gris-violáceas con granulometría gruesa a fina, intercalada con paquetes de areniscas calcáreas fosilíferas de grano grueso a medio, con tintes gris verdosos. También se presentan flujos lávicos, tufos y traquitas porfiríticas.

Miembro Superior: Volcánicos andesíticos (de textura porfirítica) intercaladas con areniscas feldespáticas y grauwacas de matriz calcárea. En esta sub-unidad se aprecian ammonites del Jurásico Superior, con restos de plantas y corales.

PLANO 01



SECCIONES GEOLOGICAS DE A HASTA D
MIRANDO AL NORTE
ESCALA HORIZONTAL 1:500,000 ESCALA VERTIC. 1:250,000

LEYENDA

ROCAS SEDIMENTARIAS, METAMORFICAS & VOLCANICAS

TERCIARIO
TPF Formación Pisco - ceniza blancuzca, arcillas intercaladas (bentoníticas). Arenisca, vetillas de yeso.

CRETACEO
Kcf Formación Copara.- Lutita interstratificada abigarrada sedimentos limo-arcillosos, tufos y flujos volcánicos.

JURASICO
Jcf Formación Rio Grande.- Metatufos interstratificados sedimentos tufáceos, flujos básicos, areniscas feldespáticas o arkosicas & conglomerados con limestone & flujos de andesita porfirítica.

CAMBRIANO
MP Formación Marcona.- Hornfels, lutitas, dolomitas, cuarcita & cuarcita dolomítica, arkosa.

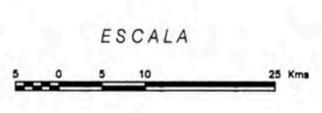
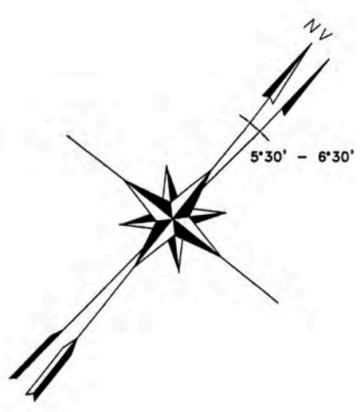
PRECAMBRIANO
PEL Complejo Lomas.- Abundante meta-arkosa gneiss, esquistos.

ROCA IGNEA

Kti Cuarzo Diorita
Ktu Batolito de la Costa
Sng Granodiorita San Nicolas

SIMBOLOS ESTRUCTURALES Y TOPOGRAFICOS

— Contactos
 - - - Contactos inferidos
 = = = Falla (mostrando movimiento)
 - - - Fallas inferidas
 50° Rumbo & Buzamiento
 — Caminos pavimentados
 = = = Caminos afirmados



HIERRO PERU
GEOLOGIA MINA

FIG. 1.3:
PLANO GEOLOGICO REGIONAL
AREA COSTERA PARACAS A CHALA

FECHA: AGOSTO 1,963	ESCALA: 1:500,000	DIGITALIZADO: G. SALAZAR A.
GEOLOGIA: J.W. Hoyt	APROBADO: O.G. Seymour	DIBUJADO: CARLOS SALAZAR A.

Toda esta secuencia se encuentra cortada por un sistema de ocoitas (diques de andesita porfirítica). Asimismo se aprecian sills basáltico-diabásicos que intruyen la parte inferior de Río Grande (Ver FIG. 1.4).

Una reciente campaña de perforación (RTZ- Campaña 2000) proporcionó mas información de su importancia económica (Ver FIG. 1.5).

El ambiente de deposición de Río Grande debió ser un mar somero y cercano a ambientes litorales (Caldas, 1978).

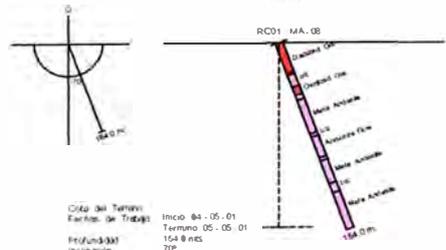
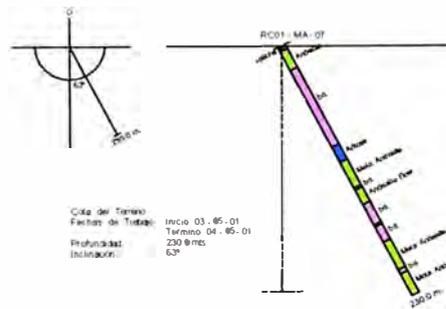
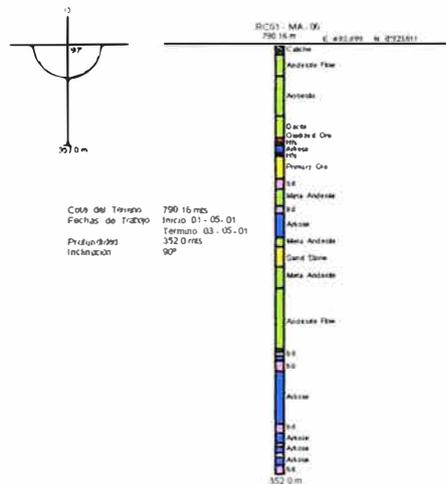
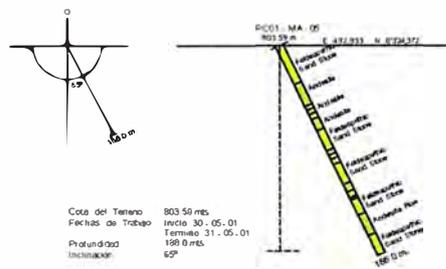
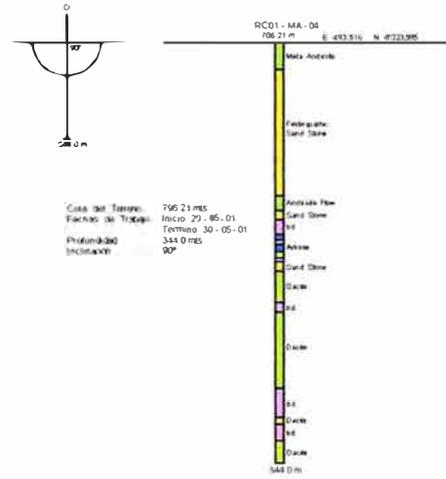
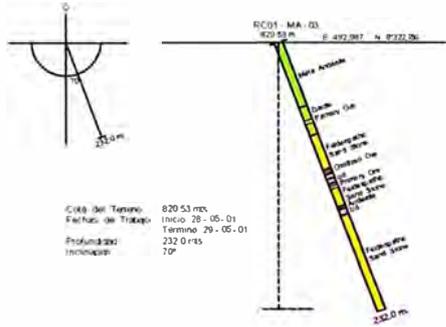
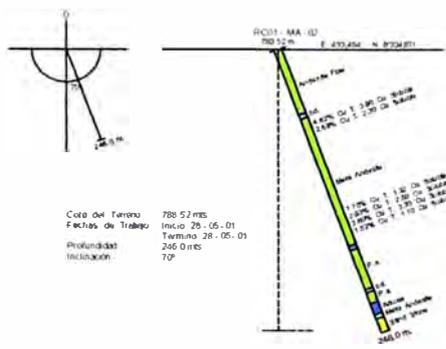
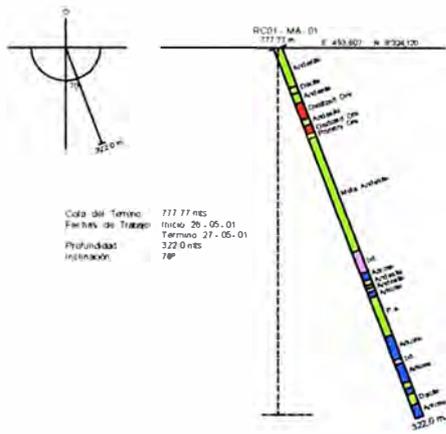
Su edad según los fósiles encontrados se le consideraría entre el Calloviano y Oxfordiano (Rangel, 1977), entre 158 a 140 M.A., debido a la presencia de *Phylloceras subobtusiforme*, *Hibolites*, *Belemnopsis*, *Posidonia*, *Trigonia* y *Modiola*, *Reineckeia*; Injoque (1985) lo clasificó entre el Toarciano al Oxfordiano; la presencia de *Planammatoceras* y *Hammatoceras Durmortier* nos indica una edad Aaleniana a Bajociano Inferior (Jurásico Medio o Dogger); *Mytilus* y *Astarte Sowerby* nos indican una edad Batoniana (Caldas, 1978).

La transición con la formación infrayacente se gradúa a arenácea rojiza, con lavas brechosas abigarradas.

2.2.f. FORMACIÓN JAHUAY.-Llamada así por tener su localidad típica en un afloramiento cercano a los pozos de El Jahuay (altura km 515 de la Panamericana Sur), esta compuesta por un aglomerado volcánico marrón, con inclusiones de diferentes litoclastos redondeados y angulosos, concordante con la formación Río Grande. Tiene una potencia de 1000 m. Esta conformada por dos miembros:

- **Miembro Inferior:** de carácter volcánico, presenta al inicio aglomerados volcánicos marrones, seguidos de derrames lávicos, intercalados con flujos afaníticos y sills de ocoita andesítica. Presenta hacia el tope las ocoitas (andesitas con fenocristales de plagioclasa > 1cm).

REGISTROS GEOLOGICOS DE LAS PERFORACIONES EFECTUADAS CON EL METODO DE CIRCULACION REVERSA EN AREA PEQUEÑOS MINEROS (FUERA DE LA ZONA DE EXCLUSION)



SHOUGANG HIERRO PERU

FIG. 1.5:
LOGUEO PERFORACION AIRE REVERSA
RIO TINTO-ZINC
AREA: PEQUEÑOS MINEROS

FECHA AGOSTO 2,002	ESCALA 1:3 000
DIBUJADO C. SALAZAR A.	PREPARADO Gabina Vera

- **Miembro Superior:** Es una secuencia sedimentaria, conformada por areniscas de grano grueso, calizas fosilíferas, conglomerados lenticulares, areniscas calcáreas. Al final de la serie pasa transicionalmente a la formación Yauca con la aparición de areniscas conglomerádicas, calizas y corales silicificados, lutitas abigarradas, cuarcitas grises, que indican el paso a las series sedimentarias de grano fino del Cretáceo Inferior.

Sus condiciones de deposición fueron parecidas a las de Río Grande, aunque la presencia de conglomerados indican ambiente mixto (cambios de margen litoral). Su edad según los fósiles encontrados sería Titoniana (Ruegg, 1961): *Virgatosphinctes mexicanus* y *pseudolictor*. *Perisphinctes*, *Aspidoceras*, *Trigonia*, entre otras especies Titonianas, fueron identificadas por Caldas (1978). Tendría por lo tanto entre 140 a 131 M.A.

2.2.g. FORMACIÓN YAUCA. Es una unidad sedimentaria consistente en limolitas y lutitas intercaladas en capas delgadas, de carácter abigarrado (colores rojos, violáceos, azulados, etc) y areniscas sacaroides de grano medio. Aflora en este de Acarí y al NE de Jahuay.

Su ambiente de deposición es litoral (de playa).

Su edad es Neocomiana (entre un rango de 131 a 114 M.A.), según atestiguan los fósiles encontrados (*Alethopteris*, *Equisetites*, *Weichselia*).

El contacto con la secuencia sobreyacente (formación Yauca) se presenta en discordancia angular, con gruesos paquetes de areniscas claras e intercalaciones de lutitas y limolitas violetas.

2.2.h. FORMACIÓN COPARA. Se llama así a una serie sedimentaria de carácter clástica, cuya localidad tipo se encuentra en Copara (NW de Acarí).

La secuencia se inicia con un conglomerado de rocas volcánicas y grauwacas, seguida de una unidad intermedia compuesta de areniscas y lutitas rojas, terminando en una acumulación gruesa de aglomerados y

flujos brechosos que concluye en el Intrusivo Bella Unión. Infrayace a la formación Pisco en discordancia angular.

Se le asigna una edad del Aptiano al Albiano Inferior (presenta como fósil guía al *Enallaster*), así como al *Mortoniceras Sowerby*, de edad Albiana (Caldas, 1978), por lo que se le sitúa entre los 112 a 95 M.A.

2.2.i. FORMACIÓN PISCO.- Se llama así por su localidad tipo y aflora desde Camaná hasta Chincha. Consiste de:

- **Miembro Inferior:** Son areniscas conglomerádicas de grano grueso en bancos con horizontes conchíferos bastante triturados por el oleaje y cementados por soluciones del mismo material calcáreo (lumaquelas y coquinas). Grada en la parte superior a areniscas finas con capas oxidadas con un sistema enrejado de venillas de yeso fibroso.

- **Miembro Intermedio:** Intercalaciones de arcillas bentoníticas y areniscas tufáceas y fosilíferas con margas y concreciones de areniscas silíceas.

- **Miembro Superior:** Alternancias tufáceas con incremento de lavas y cenizas volcánicas (Ver Foto 1), en capas delgadas, con intercalaciones de areniscas, calizas margosas y lutitas que contienen abundantes foraminíferos, diatomeas, gasterópodos, braquiópodos y lamelibranquios (Caldas, 1978).

En esta formación se ha recolectado una gama de fósiles como: *Balanus concavus*, *Dosinia ponderosa*, *Dosinia whitneyi*, *Turritella hamiltonensis*, *Mytilus*, *Cardium*, *Arca campyla*, *Venus*, *Priscofusus*, *Corbula fabiformes*, *Cytherea*, *Pitaria planivieta* (Caldas, 1978). Además se han encontrado esqueletos de cetáceos en Sacaco y Aguada de Lomas: *Charcharodon megalodon*, *Ziphiidae*, *Galeolamnidae*, *Cetothercopsis* (Ruegg, 1961).

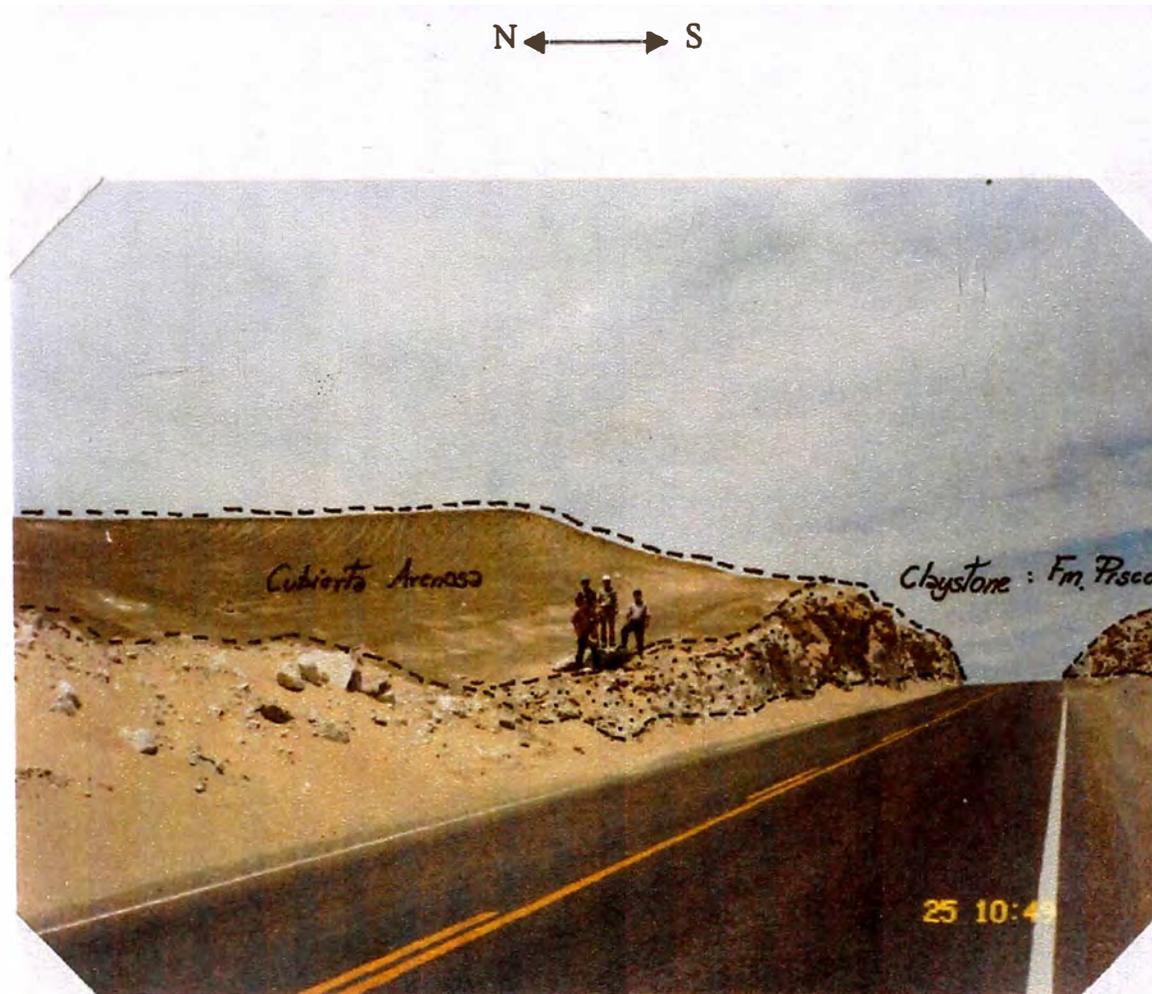


Foto1: Corte de Carretera: Afloramiento de ceniza volcánica (Claystone)
(Fm. Pisco de edad Terciaria)
Se observa la cubierta arenosa en toda la zona

Se le ubica en el Mioceno (Ruegg, 1961; Caldas, 1978), y se le puede situar entre los 23 a 5 M.A.

2.2.j. FORMACIÓN MILLO. Es una secuencia sedimentaria de origen continental, que consisten en conglomerados medianamente consolidados con matriz areno-tufáceas y cenizas retrabajadas, alternando con areniscas grises. Se observa asimismo una cubierta compuesta por conglomerados coquiníferos y areniscas bioclásticas cementadas con material calcáreo, margas y cenizas. Aflora al NE de la región (Cerros Callejón de Piedra y Caranga). Descansa en discordancia angular con la formación Pisco, cuya progresivo cambio de sedimentación indica el paso de facies marina a continental, debido al levantamiento del margen continental (Montoya, 1993).

Se ha encontrado como fósil guía al genero *Cochliolepis*, y se le puede asignar la edad Miocénica Superior o Pliocénica Inferior (Mendivil, 1965; Caldas, 1978).

2.2.k. VOLCANICO SENCCA. Es una secuencia piroclástica conformada por tufos de color blanquesino de composición principalmente dacítico o riolítico, principalmente en bancos tubulares, presentando disyunciones columnares y pseudoestratificaciones. Presenta textura porfirítica y aflora al NE de Marcona (Carretera Nazca - Marcona y Pampa Treinta Libras). Es una secuencia de origen mixto (continental-marino), y se presenta en discordancia erosional con los depósitos cuaternarios.

Pecho (1969) los considera del Plioceno Medio a Superior.

2.2.l. CUATERNARIO. Se pueden apreciar terrazas marinas (conglomerados con matriz arenácea, lentes de areniscas y areniscas bioclásticas), flujos de barro volcánico (tufos y cenizas limosas), depósitos clásticos recientes (aluviales y piedemonte), dunas y cubiertas eólicas.

2.3. ROCAS MAGMATICAS

En la región afloran una notable variedad de rocas intrusivas, desde batolitos hasta diques, que se hallan relacionadas al desarrollo estructural de los Andes (Caldas, 1978).

2.3.a. BATOLITO DE SAN NICOLAS. Compuesto por adamelitas, granodioritas y dioritas, se han emplazado en la Cordillera de la Costa, intruyendo al Complejo Basal y a las formaciones calcáreas premesozoicas (Caldas, 1978). Se encuentra aislado del Batolito de la Costa por una amplia franja de fallamiento, que sería el control estructural de sus emplazamientos y cuyo rasgo tectónico es la Depresión Andina. Gran parte de este intrusivo está sumergido en el Océano Pacífico.

Su edad correspondería al Devoniano Inferior, según una datación de Rb-Sr en roca total, que obtuvo 390 ± 22 M.A. (Shackleton, 1979), aunque Caldas lo ubicó por radiometría entre el Ordoviciano y el Siluriano (por método K-Ar: 442 ± 10.4 M.A. _ 438 ± 9.4 M.A., y 428 ± 12.2 M.A. _ 421 ± 10.9 M.A.; por Rb/Sr: 400 ± 22 M.A.). Sánchez (1994) ubica su edad en 420 M.A. por lo se consideraría del Silúrico

Se pueden reconocer tres zonas concéntricas:

a) ZONA CENTRAL: Compuesta por monzogranito gris-rosáceo de grano grueso. Se distingue de la granodiorita por el incremento del feldespato potásico, y por la disminución en la proporción de hornblenda. Se aprecian porfidoblastos de ortosa en cristales bien desarrollados.

Esta secuencia se observa entre la Bahía de San Nicolás y la mina Marcona, intruyendo a la formación Marcona. Asimismo pueden apreciarse afloramientos de adamelita en el Cerro Huaricangana y el Cerro El Huevo.

b) ZONA INTERMEDIA: Compuesta por granodiorita grisácea de grano grueso, que contiene cristales de hornblenda en hábito radial. Se encuentra aflorando en el NE de la Bahía de San Juan.

c) ZONA EXTERNA: Conformada por dioritas y gabro gris-verdosos, que se encuentran dispuestas marginalmente y circundando irregularmente a los cuerpos de granodiorita, intruyendo a la formación Marcona y al Complejo Basal de la Costa.

Las dioritas están recrystalizadas por acción de los basaltos post-plutónicos. El Cerro Huaricangana es una prolongación del batolito de San Nicolás, y estructuralmente es un horst intensamente fallado, como consecuencia de movimientos tafrogénicos en el borde continental actual.

2.3.b. SHOSHONITAS TUNGA .- Es una serie volcánico-intrusivo de composición principalmente traquiandesítica y andesítica-diorítica, con diques menores de aplosienita, que aflora al noreste del yacimiento. Está compuesto por stocks, sills y diques de shoshonita - andesita porfirítica de color marrón a gris verdosa, con una tendencia estructural NW-SE que cruza la Depresión Preandina (entre Pampa Cedillo y Huricangana). Dicha secuencia se ha emplazado como relleno de las fallas de desplazamiento Treinta Libras (de rumbo NW) y los Cerrillos (de orientación NE) y su disposición indicaría una asociación con los diques alimentadores del volcanismo Jahuay, ya que su sistema de diques y sills NW se ha emplazado entre los estratos del Titoniano (Caldas, 1978).

En el sector Tunga-Huricangana se distinguen dos fases de intrusión, la primera en forma de stock y la segunda en diques de cortan a la primera.

Caldas (1978) la dató en el Cretácico Superior, pero Injoque (1985) con dataciones de rocas similares en el área de la mina de composición shoshoníticas (traquiandesita y traquibasalto, llamadas localmente diques básicos) que obtuvieron edades de 137.4 +/- 3 M.A. y 136.4 +/- 3 M.A., determino que su edad sería correspondiente al Cretáceo Inferior (Valanginiano - Aptiano). Vidal, et al. (1990) reportó edades por el método de K-Ar para los diques Tunga: una muestra de aplosienita obtuvo 118 +/- 3 M.A.; la shoshonita determinó 136 +/- 3 M.A.; finalmente la latita obtuvo 137 +/- 3 M.A.

Estas dataciones muestran que el Complejo Tunga fue formado en varios estadios: su etapa shoshonítica inicial fue contemporánea a Jahuay (pre-Yauca), con un episodio apliosienítico post-Yauca, lo que indica que su actividad volcánica comenzó desde el Titoniano (Jurásico Superior) y abarco hasta el Neocomiano (sin y post-Yauca).

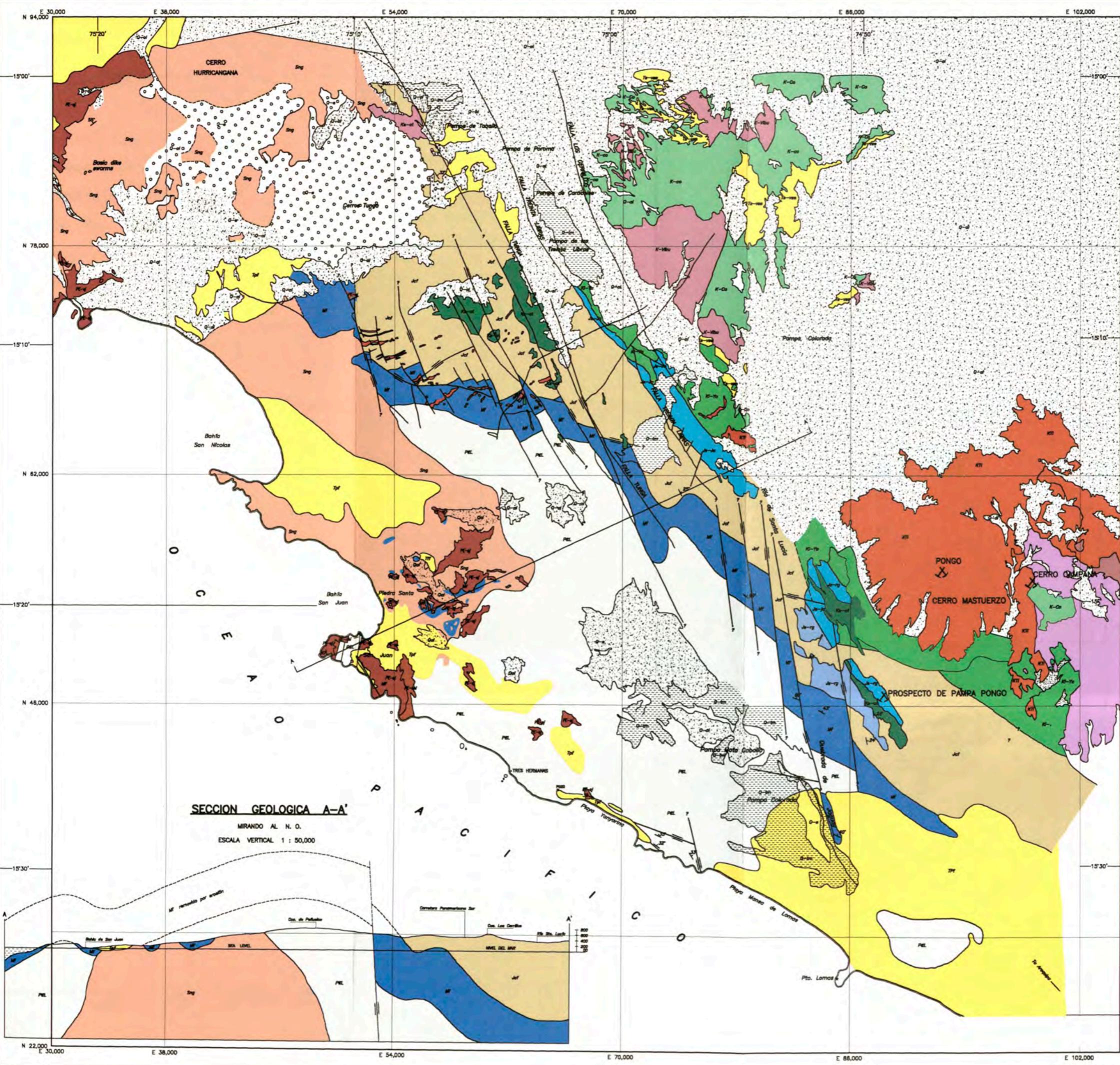
2.3.c. COMPLEJO VOLCANICO INTRUSIVO BELLA UNION .- Son cuerpos hipabisales: brechas angulosas a subangulosas, diques de andesita y dacita porfirítica, de colores verdes a violetas. Su formación esta asociada a movimientos verticales a lo largo de una franja NW-SE en el área ocupada por el Frente Andino, los mismos que controlaron al Batolito de la Costa. Sus afloramientos se encuentran al Este del área de la mina

Caldas (1978) determino que este complejo es intruído por las unidades mas tempranas del Batolito de la Costa, por lo que debe de haberse emplazado entre el Cretácico Medio a Superior.

2.3.d. BATOLITO DE LA COSTA .- Es un complejo de intrusiones compuesto generalmente por tonalitas y gabrodioritas que ocupan el núcleo de la Cordillera Occidental. Tiene 1600 km de largo y más de 65 km de ancho. Se encuentra separado de los intrusivos de la Cordillera de la Costa por una ancha faja de fallamiento que se manifiesta en la Depresión Preandina. El fallamiento fue el control estructural del emplazamiento de las grandes masas del batolito.

Su edad comprende desde el Albiano hasta el Paleógeno (Terciario Inferior), de 102 a 37 M.A (método U/Pb). Aflora en Acarí, Calapampa y San Vicente (fuera del área estudiada).

PLANO 02



LEYENDA

ROCAS SEDIMENTARIAS, VOLCANICAS & METAMORFICAS

- TERCIARIO**
 [Symbol] Fm. Pisco - Cenizas volcánicas blancuzcas, con intercalaciones de arcillas bentoníticas, areniscas yesíferas y bentonitas.
- CRETACEO**
 [Symbol] Fm Copora - Lutita algarrada intercalada con sedimentos, tufo y fujos arcillosos.
 [Symbol] Fm Yauca - Cuarcitas blancuzcas con lutitas algarradas, derrames andesíticos; areniscas cuarcíferas y calizas.
- JURASICO**
 [Symbol] Fm. Jahuay - Areniscas coloradas, calizas con coqueles arcillosos, conglomerados volcánicos y lavas brechadas en la base.
 [Symbol] Fm. Río Grande - Intercalaciones de metaufos y sedimentos lutáceos, fujos básicos, arenisca felspática o arcélica & conglomerados.
- CAMBRIANO**
 [Symbol] Fm. Marcona - Hornfels, dolomita, lutitas, cuarcita & cuarcita dolomítica, arcosa.
- PRECAMBRIANO**
 [Symbol] Formación San Juan
 [Symbol] Formación Chiquarín
 [Symbol] Complejo Basal de la Costa - meta-arcosa gneis, esquistos.

ROCA IGNEA

- [Symbol] Granodiarita San Nicolás
 [Symbol] Batolito de la Costa
 [Symbol] Volcánico Bella Unión

SIMBOLOS GEOLOGICOS Y ESTRUCTURALES

- [Symbol] Yacimientos de hierro
 [Symbol] Contactos
 [Symbol] Contactos inferidos
 [Symbol] Falla (mostrando movimiento)
 [Symbol] Falla inferida
 [Symbol] Rumba & Buzamiento

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS

- [Symbol] Aluviales
 [Symbol] Edificos
 [Symbol] Marinos



ESCALA EN KILOMETROS

HIERRO PERU
FIG. 1.6.
PLANO DE GEOLOGIA REGIONAL
 AREA DE DENUNCIA C.P.S.

FECHA AGOSTO 2,002	ESCALA 1:100 000	COMPILO R. Valdez J.
DIBUJADO C. SALAZAR A.	GEOLOGIA SECCION GEOLOGIA	APROBADO O. G. Seymour
		REVISADO R. P. P.

2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los eventos tectónicos regionales más importantes son los siguientes:

- a) Plegamiento del macizo andino (Fase deformativa Mochica).
- b) Fallamiento en bloque (Fase Tectónica Peruana).
- c) Fallas de desplazamiento de rumbo (Tectónica Quechua).
- d) Fallas gravitacionales (Epirogénesis Andina).
- e) Tectónica reciente.

2.4.a. PLEGAMIENTO DEL MACIZO ANDINO: Asociada a la Fase Deformativa Mochica, que origino una serie de pliegues distribuidos en la costa y que comprende del Albiano al Cenomaniano (Montoya, 1993). En la región no se observan pliegues extensos por el intenso fallamiento que ha afectado la región de modo que las secuencias buzan indistintamente a uno y otro lado de los bloques de las fallas.

La formación Marcona y las rocas jurásicas envolventes varían de rumbo progresivamente desde la quebrada de Jahuay hasta el cañón del río Grande, de más o menos N 45°W, pasando por E-W a N 45°E, siguiendo además una amplia estructura arqueada y abovedada con inclinaciones hacia afuera (Caldas, 1978).

Por estas características se infiere la existencia de una estructura dómica por compresión: Domo de Marcona, de la cual solo el sector oriental es visible (la parte occidental se presenta bajo el mar: Ver FIG. 1.6).

2.4.b. FALLAMIENTO EN BLOQUES: Esta asociado a la Fase Tectónica Peruana, que es un evento de deformación compresional con un eje de dirección NW-SE y que data del Santoniano al Coniaciano. Se distinguen tres franjas estructurales principales:

FRANJA OCCIDENTAL (BORDE COSTERO): La deformación esta caracterizada una tectónica de ruptura (fallas gravitacionales), con

fallamiento longitudinal y cizallamiento transversal en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa.

- **FRANJA CENTRAL (ESTRIBACIONES ANDINAS):** que corre a lo largo de la Depresión Preandina y de la porción oriental de la Cordillera de la Costa, con fallamiento longitudinal tipo dextral de dirección NW-SE (Fallas Treinta Libras-Tunga). En este fallamiento inverso disloca a la Cordillera de la Costa y a la Depresión Preandina, se nota claramente que los movimientos diferenciales se produjeron según la orientación de los rumbos.

Este sistema de fallas afectó a las secuencias mesozoicas y a su vez fueron intruídas por las unidades del Batolito de la Costa (Montoya, 1993) En la Depresión Preandina (sector pampa de Poroma -pampa de Jahuay), se reconocen tres fallas principales: Tunga, Los Cerrillos y Treinta Libras, con rumbos N 20° a 45° W, con cizallamiento transversal conjugado que forman ángulos de 30° y 45° con las fallas maestras, lo que le da al conjunto un diseño enrejado. Este mecanismo también se presenta en la zona de Marcona: Sistema de Fallas Repetición (Caldas, 1978).

Representan un sistema regional que controló al emplazamiento volcánico-intrusivo, así como a la mineralización asociada y a la extensión del rift jurásico alimentador del vulcanismo local (Injoque, 1988), por lo que existiría una relación entre el fallamiento transcurrente y extensional con la mineralización. En este mismo periodo, la actividad volcánica del norte de Chile coincidía también con el inicio de la actividad de la falla Atacama y con mineralizaciones importantes (ver Capítulo 6)..

Falla Tunga.- Es la falla más notable y presenta características de falla normal, del tipo dextral. Se extiende por el noreste hasta las cercanías de Pisco, limitando la Depresión preandina de la Cordillera de la Costa, donde la depresión se ha hundido a manera de un graben y la cordillera se comporta como un horst (dataría del Mioceno Superior - Plioceno Inferior).

Falla Treinta Libras. Es paralela a Tunga y también es falla de desplazamiento dextral (del tipo normal), que controla el borde oriental de la Cordillera de la Costa. Pone en contacto a la formación Río Grande con Jahuay, truncando en el este al Domo de Marcona.

La mineralización de hierro esta asociada con el sistema de fallas Treinta Libras y la serie de fallas conjugadas respectivas. Dicha familia de fallas presentaría la misma relación directa que en los yacimientos chilenos tiene el Sistema de Fallas Atacama de rumbo N-S (Injoke, 1985).

Este sistema estructural magmático ha estado activo desde el Jurásico Medio en que se inicio el vulcanismo en la zona (secuencia Río Grande) hasta por lo menos el Aptiano (117 M.A.) en que se emplazaron los diques félsicos más antiguos de este sistema. Dicho rift marca la rotura de la corteza continental (Injoke, 2002).

- **FRANJA ORIENTAL (CORDILLERA OCCIDENTAL):** Es consecuencia del plegamiento, con esquistosidad de fractura axial, discontinua y de dirección NW-SE. Se presenta a lo largo del frente andino, como fallas gravitacionales.

La mayoría de las zonas de fallas y fracturas han sido invadidas por diques y stocks de ocoítas (andesita porfirítica), por lo que no son visibles los espejos de fallas (también están cubiertos por depósitos cuaternarios).

El desarrollo de la franja central fue el resultado de la colisión de dos bloques rígidos: la Cordillera de la Costa y el macizo andino, separados por una zona de debilidad, ahora ocupada por la depresión-preandina.

Los esfuerzos compresionales NE-SW actuaron de tal forma que en la margen oriental de la Cordillera de la Costa se produjeron movimientos dextrales sucesivos, dando una disposición escalonada desde la zona minera de Marcona hasta las cercanías del pozo El Jahuay.

- **Fallas transversales:** Estas estructuras NE-SW tienen extensiones limitadas entre las fallas longitudinales y se han desarrollado a lo largo de grandes fracturas. En el área de Acarí, las vetas de hierro rellenan fracturas de tensión relacionadas a este tipo de fallamiento e inclusive cortan zonas de fallas. Las más importantes son las fallas Pongo y Varillas, esta última es la limitante de la extensión de la veta 1 de Acarí.

2.4.c. FALLAS DE DESPLAZAMIENTO DE RUMBO: Se puede correlacionar con la Tectónica Quechua que produce el levantamiento del borde costero. La mayoría son sinestrales (a diferencia de las fallas longitudinales correspondientes a la Tectónica Peruana, que en la franja central son dextrales) y son de edad Miocénica-Pliocénica.

Este levantamiento determinó un cambio gradual en la sedimentación de marina a continental (discordancia angular entre las formaciones Pisco y Sencca), lo que se observa en el área Punta Chiquerío-San Juan.

En punta Chiquerío se tiene tres fallas de rumbo N 45° W que afectan al Complejo Basal y a las formaciones Chiquerío y San Juan, con una magnitud del desplazamiento de 600, 400 y 50 m, respectivamente.

La mayoría de las fallas gravitacionales del sector San Nicolás-Chaviña, tienen un rumbo N 45° W, cruzadas por otro sistema NE-SW, por lo que forman un diseño enrejado. Generalmente el bloque descendido es el occidental, lo que se aprecia en los frentes de terrazas que dan origen a las escarpas de falla. Estas fallas controlaron el desarrollo de los principales rasgos litorales actuales (bahías de San Nicolás y San Juan).

- **Falla Río Grande:** Es una falla sinextral (del tipo normal), con rumbo NE-SW, que corto a todas las estructuras andinas y desplazo el Mesozoico al Oeste en el Bloque Norte de la región. Se ubica en el cañón Río Grande (Falla Quebrada de Stock).

2.4.d. RIFTING (FALLAS GRAVITACIONALES). Constituye el macizo andino y se le puede asociar a la Epirogénesis Andina, en la cual esta vinculada a los levantamientos Pliocénico-Cuaternarios, lo cual es evidenciado por el encajonamiento profundo de los valles andinos (Dalmayrac, 1970). Son de origen tensional, y generalmente los bloques descendidos son los orientales. Tienen un rumbo general N 45° W, con fallas conjugadas transversales NE-SW.

Se han identificado deformaciones compresivas a lo largo de la Flexura de Ica-Nazca, que son producto de esfuerzos de dirección E-W, que reactivaron las fallas del zócalo Pre-Terciario y afectaron a la formación Pisco (Machare, 1987), y cuya continuación meridional es la falla oriental que culminó en el Cerro Huaricangana (1,791 mt) así como el corte del curso inferior del Río Grande (Vicente, 2000)

El alto estructural es continuo a lo largo de la margen continental y separa las cuencas de antearco entre externas e internas (Machare, 1986) y marca en la parte sumergida el borde externo de la plataforma continental. En la zona de Río Grande este alto separa la Cuenca Pisco-Este (emergente actualmente) de la Cuenca Pisco-Oeste, sumergida casi en su totalidad (sólo los afloramientos de la formación Pisco del área de Marcona se asocian a esta cuenca, Vicente, 2000).

2.4.e. TECTÓNICA RECIENTE: Se presenta a lo largo del litoral como las terrazas marinas San Juan-Yauca en niveles de casi 1,000 m, debido a movimientos de líneas de costa bastante abruptos con respecto al margen sur peruano, lo que significaría que el sector Río Grande- Quebrada Jahuay de la Cordillera de la Costa ha sufrido un mayor levantamiento con respecto al resto de la costa peruana. La velocidad de levantamiento de la plataforma continental en el último medio millón de años ha sido del orden de 0.7 mm/año (Machare, 1987).

3. METALOGENIA

Los yacimientos de Fe-Cu comprendidos dentro de la franja anfíbolítica de la Costa Central (Marcona-Acarí-Monterrosas-Eliana-Raúl-Condestable) ocurren relacionados a la Orogenia Andina y a rocas mesozoicas de la Cordillera Occidental en su totalidad (Ver Gráfico 1.2).

Es interesante resaltar que en los diques relacionados al volcanismo Río Grande, los más antiguos tienen un alto contenido de hierro, sugiriendo que una generación de hierro ocurrió en el magma Río Grande antes de que la mineralización tuviera lugar (Injoque, 1985)

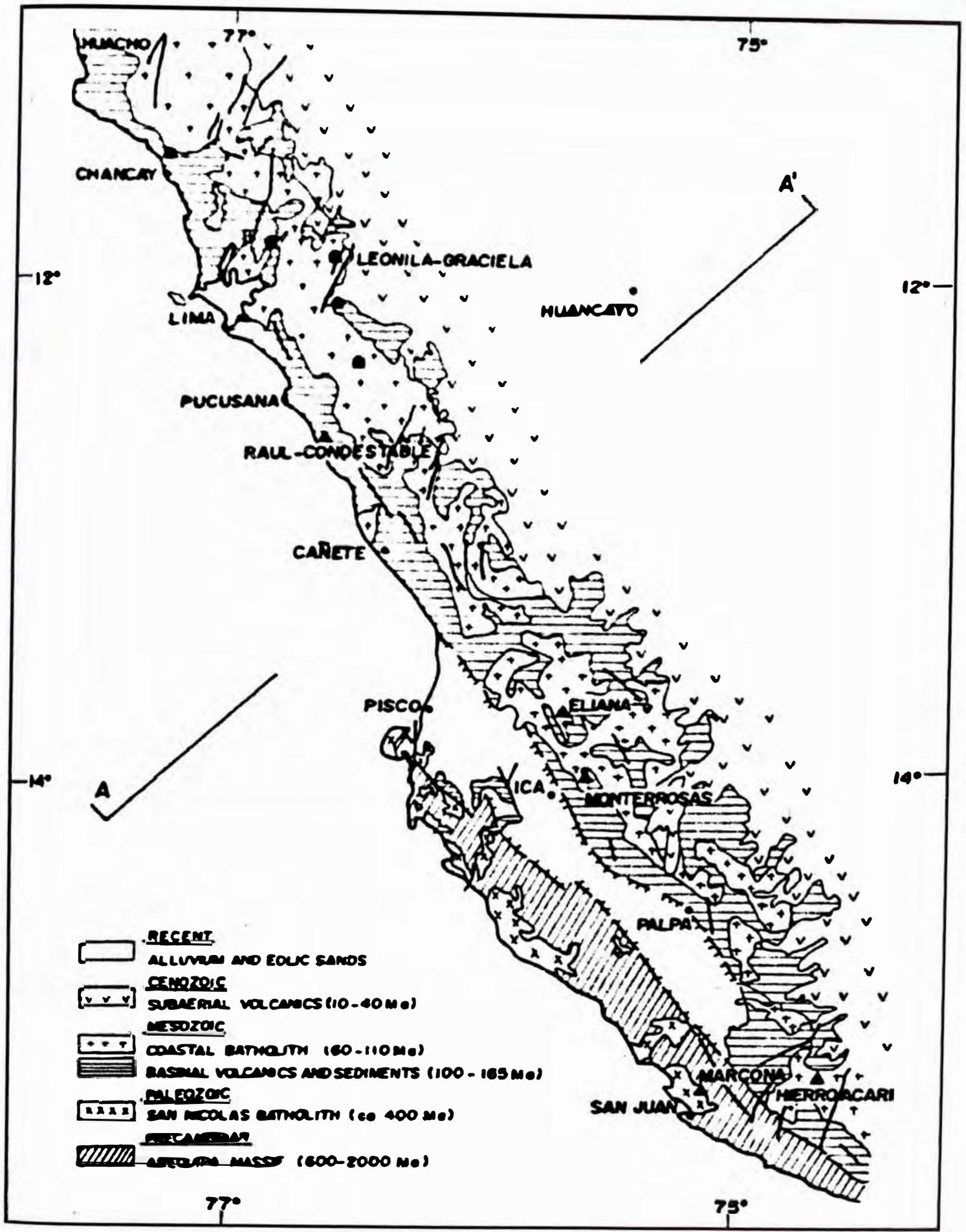
Entre los yacimientos principales, se distinguen:

3.1. DEPÓSITO METASOMÁTICO DE MARCONA

Se encuentra ubicado a 25 km al NW del puerto de San Juan. Es el principal centro minero productor de hierro en el Perú, dado el volumen de reservas, la calidad de las menas y el bajo costo de su extracción.

El yacimiento de Marcona está localizado cerca al borde oriental de la Cordillera de la costa, que controla la actividad volcánica Jurásica-Cretácica, como indica de la presencia de complejos volcánicos-intrusivos. Este yacimiento muestra una distribución zonal de las fases iniciales metamórficas, que preceden a la deposición de minerales metálicos, la cual varía según la profundidad de la columna estratigráfica, desde ensambles en el techo de actinolita-epidota hasta ensambles de cordierita-hornblenda-granate-clinopiroxeno hacia el fondo. Estas asociaciones junto con la presencia de roca hipabisal sugieren que el campo geotermal estuvieron presentes al tiempo de formación de estos depósitos (Injoque, 1985).

En Marcona los diques iniciales de la formación Río Grande son rocas hornblendíferas y de un carácter potásico a shoshonítico, y los diques tardíos de este grupo son más básicos y altamente férricos, sugiriendo que la constitución del Fe tuvo lugar en las últimas etapas de la diferenciación (Injoque, 1985).



GRAF. 1.2: Mapa Geológico de Skarns Cu-Fe de la Costa Central del Perú (Vidal, Injoque, Sidder, Mukasa, 1987).

En el sector de Tunga-Pampa Treinta Libras, las ocoitas gris-azuladas contienen impregnaciones de magnetita, lo que sugiere que las soluciones mineralizantes fueron llevadas en varios pulsos.

La data de azufre isotópico ($\delta^{34}\text{S}$) para dos muestras de pirita, reportan valores de -1.76% y $+4.72\%$, sugiere un origen magmático, y quizás algo de aporte de agua marina (Injoque, 2002).

Los isótopos de Pb para los yacimientos indican también una procedencia del manto superior, existiendo en Marcona fuerte participación de Pb procedente de la corteza granítica primigenia (Mukasa, 1990; Noble, 1995). El hierro de Marcona tendría cierto grado de contaminación de la corteza.

3.2. SKARN AUTOREACCIONAL DE ACARÍ

Este yacimiento se ubica a unos 50 km al SE del Puerto de San Juan, y 20 km al NW del pueblo de Acarí (Ver Gráfico 1.2).

Se encuentra encajado en la Diorita Acarí (de composición toleitítica-piroxénica), siendo esta la intrusión más básica y occidental del Batolito de la Costa (Segmento Arequipa), que se le asignan edades de 96 a 80 M.A. (Cobbing, 1998), y puede ser una unidad más evolucionada que los gabros tempranos del Batolito (Injoque, 2001), que se encuentran alineados al Frente Andino (de dirección NW-SE). Este plutón diorítico consiste de tres zonas:

- a).- Diorita de grano fino: Sector marginal.
- b).- Diorita de grano grueso central.
- c).- Pórfidos de diorita aplítica.

Hacia el este, este plutón está intruído por el Complejo Volcánico Intrusivo Bella Unión y está rodeado por las Unidades Calapampa y Cobrepampa (Batolito tardío).

El depósito consiste de 16 vetas, la mayor parte de las cuales de inyección tienen 200 a 600 m de largo (una tiene más de un km de largo), con anchos variables entre 1 a 4 m en promedio. Dentro del distrito minero de Acarí se

han distinguido tres áreas de mineralización, las cuales son de E a W: Área de Pongo, área de Mastuerzo y Área de Campana.

Las vetas del yacimiento de Acarí se encuentran agrupadas relacionadas a tres sistemas principales de fracturamiento. La mayoría tienen una tendencia general NE-SW (en la parte Oeste: zona de Pongo), en la zona de la Mancha (parte central) las vetas tienen rumbo promedio N-S son anchas y muy dislocadas, pero en el sector Este: la Veta 1 de Acarí y Veta 6 (esta última con 20 a 25 m de espesor) del Cerro Campana o del Cardenal tienen un rumbo NW-SE.

El yacimiento posee un zoneamiento vertical, con la zona superior consistente principalmente en magnetita gris-negra, de aspecto masivo y de grano fino, asociada con apatita e hilillos de calcita. Como producto de oxidación se tiene la martita y hematita (Zevallos, 1966). Es la zona de mejor calidad de mineral, con una ley promedio de 65 % de Fe y trazas de fósforo (0.1 - 0.2 %). La zona inferior es transicional y esta compuesta por una asociación de magnetita con actinolita, donde la proporción de apatita aumenta gradualmente hacia abajo. Los anfíboles son de grano medio, existiendo una disminución de la magnetita con el incremento paulatino de anfíboles, apatita y cuarzo (Bellido, 1974).

El potencial del área antes de su cierre era de 20 millones de Tn de Fe con leyes de 60-66 %. Entre 1959 y 1968 la Empresa Pan American Commodities S.A. explotó el yacimiento, pero tuvo que paralizar la producción, ya que la naturaleza del yacimiento y el método de explotación resultaron antieconómicos, debido al angostamiento de las vetas con la profundidad.

Anteriormente se considero que Acarí era un yacimiento de inyección magmática (Zevallos, 1966; Dunin Borkowski, 1970; Hudson, 1974). Esta hipótesis estaba basada en el hábito masivo y bandeado, laminar que muestran las vetas, así como los contactos agudos que existen entre veta y roca caja. Las vetas no estarían vinculadas a la Diorita Acarí sino a los diques de piroxenita (Dunin Borkowski, 1970), donde tanto las piroxenitas

como las vetas de magnetita fueron el resultado del ascenso de soluciones a través de fracturas, al final de la consolidación del plutón, siendo sometidas a un fracturamiento posterior. En las vetas de piroxeno-magnetita, el piroxeno cristalizó primero en las paredes de la roca caja, estando la magnetita rellenando el espacio entre los cristales de piroxeno. Muchas de estas vetas tienen bandeamiento crustificado simétrico, con piroxeno y anfíbol creciendo normalmente a la caja, indicando claramente que las vetas estuvieron abiertas durante la deposición (Injoque, 1985).

De este modo la secuencia de emplazamiento comenzó con las vetas de piroxenita, luego las de magnetita y finalmente las de cuarzo (Dunin Borkowski, 1970).

En las dioritas la alteración consiste en el reemplazo de feldespatos (matriz) por magnetita con epidota, y de piroxenos y anfíboles a expensas de los minerales máficos (Injoque, 2001).

Actualmente se le ha clasificado como un **skarn autoreaccional** relacionado a las dioritas tardías de la Superunidad Pisco o Segmento Arequipa del Batolito de la Costa (Injoque, 1985), ya que el mineral sería de relleno metasomático a hidrotermal y no magmático. Esto sería evidenciado por el crecimiento asociado de magnetita y piroxeno, los controles de falla de las vetas principales y la transición desde diorita fresca a diorita alterada al contacto con el mineral (Injoque, 2001).

Su edad de mineralización se data a partir de un dique dacítico pre-mineral, que obtuvo 109 ± 4 M.A., la que representa una edad inmediatamente anterior a la mineralización (Atkín, 1985).

3.2.a. SKARN DE PAMPA PONGO

El yacimiento de Fe - (Cu-Au) está localizado a 30 km al SE de Marcona y 10 km al S del Pozo El Jahuay (Coordenadas: Latitud 15°22'30" S, Longitud 74°49'30" W), y fue descubierto por Río Tinto Mining & Exploration en 1994 al reconocer una extensa anomalía magnética de orientación NNW-SSE de mineralización de Fe-Cu-Au. El inventario de

recursos da un potencial de 1000 millones de TM con una ley promedio de 40 % Fe. Se encuentra cubierta por un encapado de arena de 20 m.

La roca caja del yacimiento es la formación Jahuay (Titoniana), que se presenta como gruesas secuencias ocoíticas y volcanoclásticas, dolomías, limolitas, lutitas, areniscas y sedimentos carbonatados. Presenta en su parte superior sills y diques ocoíticos con tufos y flujos laminares, con mineralización asociada a cloritas, talco y clino-crisótilo (400-450 m). En su parte inferior presenta mármoles dolomíticos con más de 600 m de potencia, con reemplazamiento de ensamble magnetita-anfibolita-serpentina.

Parece que el Complejo Basal infrayace directamente a Jahuay, lo que nos indicaría que una abrupta discordancia angular corta a las formaciones Marcona y Río Grande (Hawckes, 2002).

La magnetita ha sido emplazada en un corredor de falla NW-SE, paralelo a los sistemas de falla Huaca y a los diques ocoíticos de Marcona. En la caja techo y piso SW se presentan leyes pico que alcanzan 0.42 % Cu y 0.68 g/t Au. La alteración albítica, la serpentinización y el reemplazamiento de dolomía por magnetita se presenta asociada a brechas hidrotermales y stockworks.

Su edad variaría entre los pulsos mineralizantes del Jurásico Superior y la actividad volcánica-intrusiva del Cretácico. La anómala concentración de potentes sills y diques andesíticos indicaría que el área fue afectada por un importante centro volcánico y el emplazamiento de una anomalía termal prolongada (Hawckes, 2002).

Pampa Pongo difiere de los otros yacimientos en el desarrollo diseminado de la alteración de anfíboles cálcicos. Brechas hidrotermales como encajonantes de la mineralización han sido determinadas en Pampa Pongo, pero al entender del suscrito esto no se ha desarrollado en Marcona, pudiendo ser las encajonantes las texturas de relleno en microfracturas, determinadas al microscopio (ver Apéndice 1).

3.3. AMBIENTE GEOTECTÓNICO DE FRANJA Fe-Cu DE LA COSTA CENTRAL

Los yacimientos de Óxidos de Fe-Cu-Au en la franja anfíbolítica de la Costa Central se presentan en su segmento sur (Cuenca Cañete propiamente) con un carácter ensiálico que produjo desde un vulcanismo de afinidades alcalinas a shoshoníticas y de marcado carácter intraplaca en el Jurásico (Aguirre, 1988) hasta un vulcanismo basáltico asociado a tras-arcos del Cretáceo, con carácter petroquímico del tipo arco de islas (Atherton, Aguirre, 1992). Los yacimientos de filiación plutónica asociadas a la Superunidad Pisco y al Batolito de la Costa se han formado en el Segmento Arequipa, también de carácter ensiálico (Injoque, 2001). Los plutones del Batolito de la Costa presentan un carácter petroquímico de arco de islas, indicando al igual que para los volcánicos del Cretáceo una relación con los procesos de subducción (Injoque, 1985; Atherton, Sanders, 1985).

La actividad hidrotermal tuvo lugar durante el emplazamiento del arco volcánico del Jurásico, localmente representado por la secuencia Río Grande.

La fuente de los magmas del Batolito de la Costa, de acuerdo a los análisis de Tierras Raras indica fraccionamiento de plagioclasa, clinopiroxeno y hornblenda en sus diferentes proporciones, más no de granate, lo cual indica que estos magmas se originaron a profundidades menores de 60 a 40 km en el manto (Injoque, 1985; Atherton, Sanders, 1985).

3.4. INTERPRETACION GENETICA DE LA FRANJA ANFIBOLITICA DE Fe-Cu DE LA COSTA CENTRAL

Desde un punto de vista regional, el yacimiento de Marcona se encontraría encajado dentro de la secuencia de yacimientos anfíbolíticos Fe-Cu-Au de la costa peruana central: Eliana (114-112 Ma) y Monterrosas se formaron en asociación con gabros y dioritas tempranas, Acarí (109 M.A.) en dioritas tardías del Batolito de la Costa; los depósitos Raul-Condestable (127-124 Ma) y Marcona (160-154 Ma) fueron formados en asociación con

los eventos volcánicos Casma y Río Grande, respectivamente (Injoque, 1985), aunque en el caso de Marcona podría haberse iniciado el proceso en esa fecha y continuar hasta el Cretácico Inferior, los cuales precedieron a la intrusión del Batolito de la Costa.

Estas rocas ígneas asociadas se formaron en una cuenca marginal durante estadios de separación de la corteza terrestre (intraplaca), los cuales generaron un magmatismo shoshonítico (formación Río Grande), o en etapas iniciales de subducción que generaron magmatismo calcoalcalino y toleitítico (volcánicos Casma, gabros y dioritas iniciales de la secuencia anfibolítica). En todos los casos la generación de magma muestran haber ocurrido a profundidades someras, y se sugiere que el fraccionamiento de granate no estuvo implicado en la generación del magma (Injoque, 1985). Todos los yacimientos de la franja anfibolítica se caracterizan por un alto aporte metasomático de hierro en rocas alteradas como magnetita y sulfuros de hierro y cobre (calcopirita) en las partes económicas del yacimiento.

Los yacimientos de Marcona y Pampa Pongo presentan características de Yacimientos Ox-Fe - (Cu, Au), que constan de óxidos de Hierro en concentraciones anómalas, un estadio de baja sulfatación, metasomatismo Ca-Na de reemplazamiento carbonatado, y un control estructural a gran escala de sistemas de fallas, reactivadas en forma prolongada, aunque también los diques ocoíticos fueron metasomatizados. Aunque Pampa Pongo esta dentro del contacto del Batolito de la Costa, no ha sido establecida una relación genética. Se puede sin embargo asumir que los últimos eventos del sistema hidrotermal en Marcona pueden haberse “traslapado” con el desarrollo de Pampa Pongo (Hawkes, 2002).

Se puede sugerir que el hierro formador de Acarí fue, al igual que el yacimiento de Marcona, obtenido de formaciones ferríferas bandeadas del Precambriano (Bellido, 1972), ya que a 200 km al SE de Marcona hay relictos de hierro bandeado del Complejo Basal en los cerros Tarpuy y

Mirador (Ver Gráfico 1.3). Esto implica que la mena bandeada de hierro fue asimilada por los magmas ascendentes y posteriormente concentrada como mineral económico, con escasa contaminación de la corteza terrestre (Injoque, 1985).

El plutón de Acarí tiene los rasgos químicos de cristalización de un magma seco, con bajo contenido de álcalis y altos valores de Fe (Injoque, 1985). Similares tipos de roca están asociados con los yacimientos de hierro de la Franja Cretácica Chilena. Para estos yacimientos, Oyarzun (1982) propuso un modelo evolucionario sugiriendo que el fraccionamiento de piroxeno en lugar de hornblenda en un magma básico incrementaría la concentración de Fe en las últimas etapas del desarrollo del magma así como de los fluidos residuales que generan la mineralización (Injoque, 1985).

Se supone que el exceso de Fe presente en estas rocas se origina de un magma piroxenífero en Acarí, y que al fin del proceso de diferenciación, al plutón se asociaron soluciones residuales ricas en Fe y Mg, que fueron posteriormente concentradas.

El periodo de formación de las rocas pre-Batolito y sus yacimientos asociados coinciden con un periodo de extensión de la corteza el cual concluyó con la deformación Mochica, alrededor de 110 Ma.



GRAFICO 1.3: FRANJAS FERRIFERAS DEL PERU
(Adaptado de Bellido, 1972)

4. GEOLOGÍA LOCAL

4.1. INTRODUCCIÓN

En la región estudiada se presentan rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, con edades que van desde el Precambriano hasta la era reciente.

4.2. ESTRATIGRAFIA

La secuencia de las formaciones que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario no forma una continuidad geológica sino que existen hiatos debido a las disconformidades y discordancias entre ellas (Ver FIG. 1.7).

A continuación se resume la estratigrafía local:

4.2.1. COMPLEJO BASAL DE LA COSTA ó DE LOMAS.- Se le denomina localmente así por su localidad tipo: Punta del puerto de Lomas. Está constituida por arcosas y meta-arcosas de grano grueso, gneiss, ortogneiss, paragneiss, esquistos micáceos y migmatitas. Aflora desde el sur del área de la mina.

4.2.2. FORMACIÓN MARCONA.- Suprayaciendo a la anterior formación en discordancia encontramos rocas muy bien expuestas en el área de Marcona (de allí deriva su nombre), de edad Cambriana. Consta principalmente de meta-sedimentos marinos: hornfels silíceos (caja de Mantos E-Grid), y filíticas (Mina 7), dolomias (Mina 1 W, Mina 14), cuarcitas (Mina 7 SW). Tiene un espesor aproximado de 1600 m y es la de mayor importancia económica, pues en ella se encuentran los principales yacimientos de Hierro y 14 de las 15 minas de tajo abierto.

FIG. 1.7: COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL

SECCION DEL DISTRITO MINERO DE MARCONA
PUERTO SAN JUAN, PERU

ERA	PERIODO	FORMACION	SIMBOLO	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	POTENCIA APROX. EN METROS		DESCRIPCION
					MIEMBRO	TOTAL	
CENOZOICO	CUATERNARIO	DISCORDANCIA	Qal		0 - 30±		Arena marina estratificada no consolidada, rodados heterogeneos, cenizas, cavidades rellenas, caliche.
	TERCIARIO	FORMACION PISCO	Tpf		500± ?		Arcillas interestratificadas, areniscas de grano fino, arcillas laminadas, bentonita, abundantes cenizas volcánicas, vetillas de yeso.
MESOZOICO	CRETACICO	DISCORDANCIA					
		FORMACION COPARA	Kcf		500± ?	700±	SUPERIOR.- Miembro los Cerrillos: Areniscas blancas cuarzósas pobremente estratificadas. INFERIOR.- Miembro Tierra Blanca: Tufos depositados en agua, lavas, sedimentos volcánicos bien estratificados, areniscas carbonáceas.
	DISCONFORMIDAD						
	FORMACION RIO GRANDE o CERRITOS	Jcf		1,000± 3,000±	6,000±	SUPERIOR.- Miembro Jahuary: Potentes flujos rojizos de Ocoitas andesíticas, delgadas calizas fosilíferas, areniscas feldespáticas y conglomerados. MEDIO.- Miembro Las Tetas: Areniscas feldespáticas arcósicas, tufos, flujos rojizos de andesita porfirítica INFERIOR.- Miembro N-13: Abundantes flujos de andesita, tufos, areniscas tufáceas, areniscas feldespáticas	
PALEOZOICO	CAMBRIANA	DISCONFORMIDAD					
		FORMACION MARCONA	Mf		500± E.GRID 500± MINA 7 600±	1,600±	ABUNDANTE MAGNETITA DISEMINADA BASE.- Brecha sedimentaria y conglomerado INFERIOR.- Miembro Pampa: Pizarras silicificadas y cornubianitas filíticas MEDIO.- Miembro San Juan: Capas de dolomita separadas por cornubianitas y arcosa local INFERIOR.- Miembro Justa: Actinolita, cuarcita, cornubianita, cornubianita arcósica (gneisítica) arcosa
PROTEROZOICO	PRECAMBRICO	DISCORDANCIA					
		COMPLEJO BASAL 6 DE LOMAS	PeL ?		?		Abundante paragneises rosados, meta arcosas de grano grueso, esquistos micáceos, zonas granitizadas. Base del complejo no establecida

ROCAS DIQUES

- Andesita Tunga
- Shoshonitas Río Grande
- Granodiorita post-mineral
- Dacita / Monzogranito
- Ocoitas andesíticas Jahuary
- Granodiorita San Nicolas

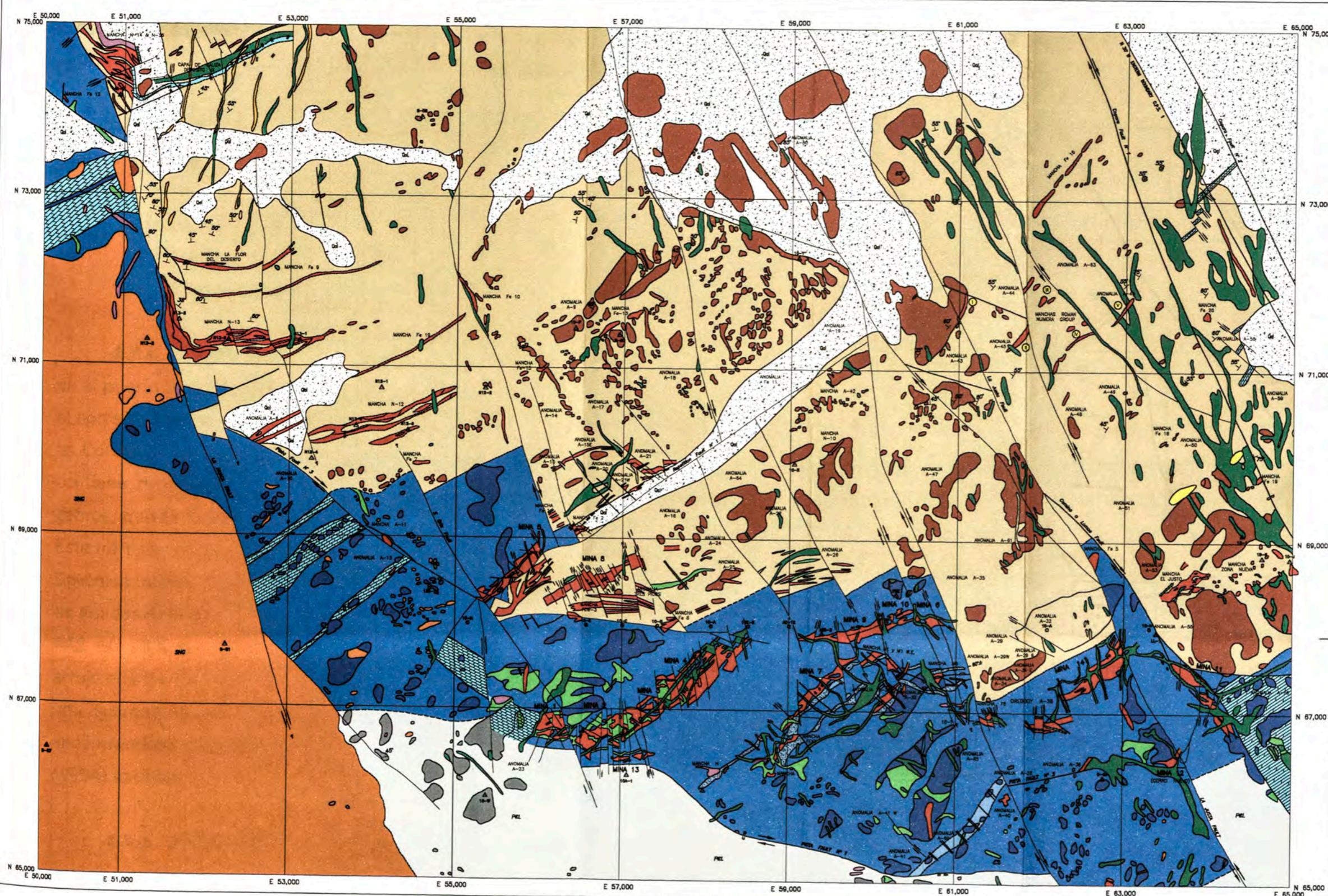
4.2.3. FORMACIÓN RIO GRANDE.- Localmente llamada Cerritos por la morfología local que presenta, descansa en discordancia angular sobre la anterior formación y es la más potente que conocemos en la zona (aproximadamente 6000 m en total), con abundante disseminación de magnetita principalmente en el miembro inferior formado por brechas sedimentarias y conglomeráticas así como por flujos andesíticos, tufos, areniscas tufáceas y feldespáticas, conteniendo fósiles llamados *Rhynchonella* del Jurásico Medio. La Mina 8 es el único tajo ubicado en esta formación.

Dentro de esta formación observamos también en los miembros superiores una intensa actividad volcánica shoshonítica de gran potencia con areniscas feldespáticas-arcósicas.

4.2.5. FORMACIÓN PISCO.- Suprayace a la anterior en discordancia angular y de erosión. Son rocas sedimentarias de edad Terciaria consistentes de arcillas bentoníticas, yesíferas, finas areniscas fosilíferas (en las cercanías de ETECEN - Sub-estación del Mantaro y en Mina 14, con presencia de la *Ostrea Oculata Grzybowski*: bivalvo miocénico), cenizas volcánicas con ángulos de inclinación muy bajos a horizontal (en corte de Carretera Nazca-Pisco).

4.2.6. DEPOSITOS ALUVIONALES.- Es la cobertura de sedimentos marinos del cuaternario: arenas estratificadas no consolidadas, rodados heterogéneos, grava, varias especies de fósiles marinos idénticos a las especies vivientes de la playa actual y una costra dura de yeso, sales de magnesio, sodio y carbonato de calcio llamado "caliche". El aluvión es de un espesor variable, presentándose como cobertura en Minas 1-2-3-4, en el corte de carretera a Mina 6 y 7 y en Mina 14.

PLANO 03



LEYENDA
SEDIMENTARY, VOLCANIC AND METAMORPHIC ROCKS

RECENT

- Alluvium - Unconsolidated stratified beach deposits with large boulders & shell fragments, cohesion sand and hard beds of caliche.

TERTIARY

- Pisco Fm. - White ash, interbedded claystone (bentonitic), sandstone and conglomerate - gypsiferous.

CRETACEOUS

- Copora Fm. - Interbedded variegated shaley argillaceous, limy sediments, tuffs & flows.

JURASSIC

- Rio Grande Fm. - Interbedded metabasite & luffaceous sediments, basic flows, feldspathic to arkosic sandstones, limestones, porphyritic andesite flows, conglomerated & sedimentary breccias composing the base.

CAMBRIAN

- Marone Fm. - Phyllic, siliceous and actinolitic hornfels, actinolitic quartzite, dolomite, marble, calcareous meta-arkose.

PRECAMBRIAN

- Lomas Coloradas Fm. - gneiss, schist, abundant pinkish coarse grained meta-arkose.

IGNEOUS ROCKS

- Meta diorite dike
- Granodiorite dike
- Porphyritic andesite dike
- Meta andesite dike
- Dacite
- San Nicolas granodiorite

ORE SYMBOLS

- Iron deposits

STRUCTURAL SYMBOLS

- Contact
- Inferred contact
- Fault (showing relative movement)
- Inferred fault
- Strike & dip
- Outcrop

TOPOGRAPHIC SYMBOLS

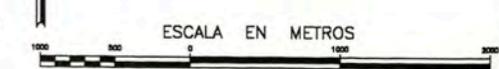
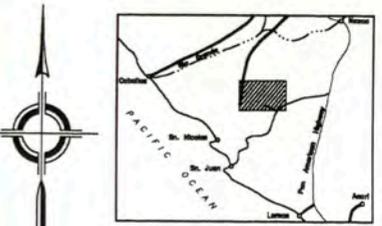
- Base line Stations
- Triangulation Points

LITHOLOGIC SYMBOLS

- Limestone
- Dolomite
- Quartzite
- Caliche

N

ESCALA EN METROS



HIERRO PERU			
FIG. 1.8.			
PLANO GEOLOGICO DEL			
DISTRITO MINERO DE MARCONA			
FECHA FEBRERO 2,003	ESCALA 1:20 000	COMPILADO R. Valdez J.	
DIBUJADO C. SALAZAR A.	GEOLOGIA SECCION GEOLOGIA	APROBADO O. G. Seymour	REVISADO J. W. H.

4.3. ROCAS MAGMATICAS:

Una gran variedad de rocas intrusivas (ácidas) y volcánicas (básicas) han cortado los estratos del distrito de Marcona (Ver FIG. 1.8).

Existen dos batolitos principales: la Granodiorita de San Nicolás que ha intruído a lo largo de la cota adyacente a la bahía de San Nicolás, y el Batolito de la Costa, localizado hacia el este de la región. Ambos están orientadas hacia el N-W y sus afloramientos están separados entre si por una distancia de más o menos 25 km.

Las rocas plutónicas del área consisten en:

- a) Batolito Granodiorítico de San Nicolás.
- b) Shoshoníta-Aplosienita Tunga.

4.3.a. GRANODIORITA DE SAN NICOLÁS: Es el intrusivo que aflora en el puerto de San Nicolás, al norte de la bahía de San Juan, al suroeste y al norte de la Mina. Tiene orientación NW a SE (emplazado estrictamente en la Cordillera de la Costa). Se observan diferencias petrográficas pues contiene rocas que varían de monzogranitos, granodioritas y dioritas a gabros, quizás debido a diferenciaciones en el magma

Este intrusivo corta claramente a la formación Marcona. Su edad podría ser Devónica Inferior (Shackleton, 1979). Wilson P. (1975) determino dos pares de edades K/Ar en biotita–hornblenda en este Batolito: el primer par obtuvo 442 +/- 10.4 M.A. a 438 +/- 9 M.A. mientras el segundo par concordante arrojó edades de 428 +/- 12.2 M.A. y 421 +/- 10.9 M.A. Finalmente obtuvo una isocrona en roca total por Sr/Rb que dio una edad de 400 +/- 22 M.A. encontrándose discrepancia entre las dataciones K/Ar y Rb/Sr. Sánchez (1994) la considera Silúrica (420 M.A.).

4.3.b. SHOSHONITA-APLOSIENITA TUNGA: Consisten de rocas porfiríticas verdes parduscas a grises que afloran al NE del yacimiento de Marcona. Tales intrusiones están presentes como diques y sills,

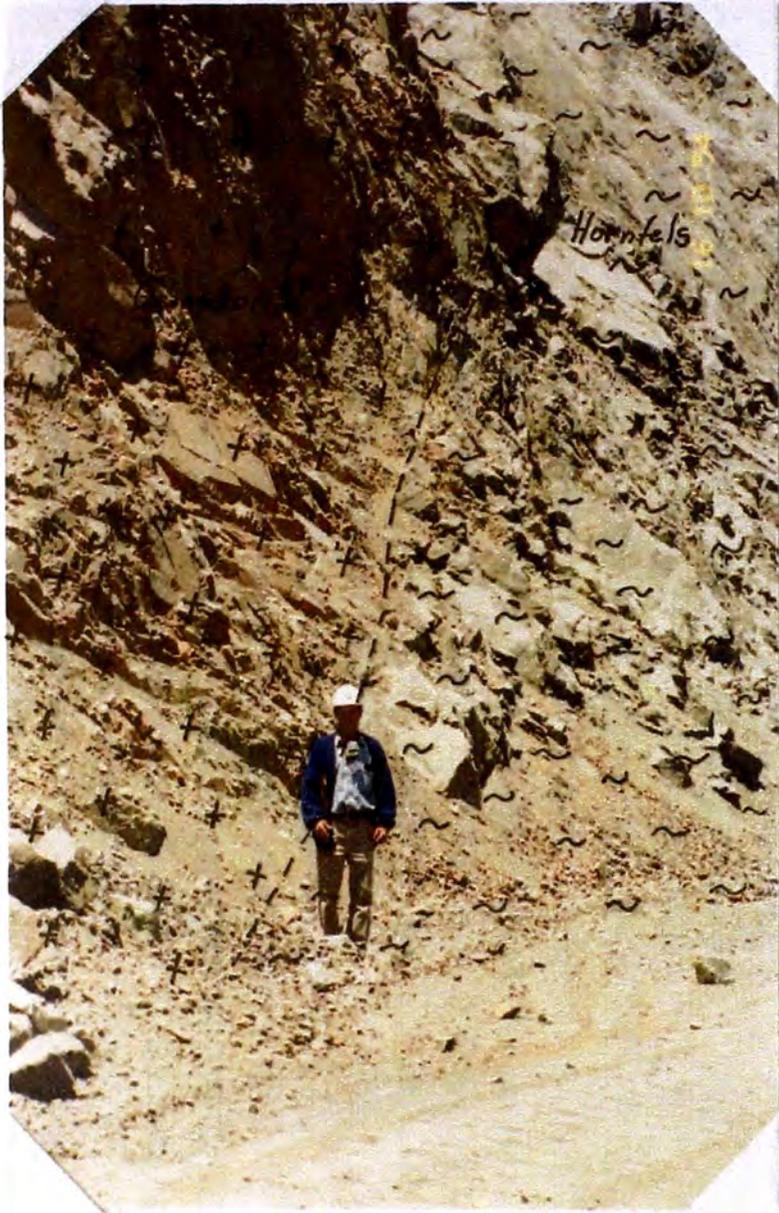


Foto 2: Mina 5 S
Dique Granodiorítico post-mineral
cortando a hornfels (Fm. Marcona)

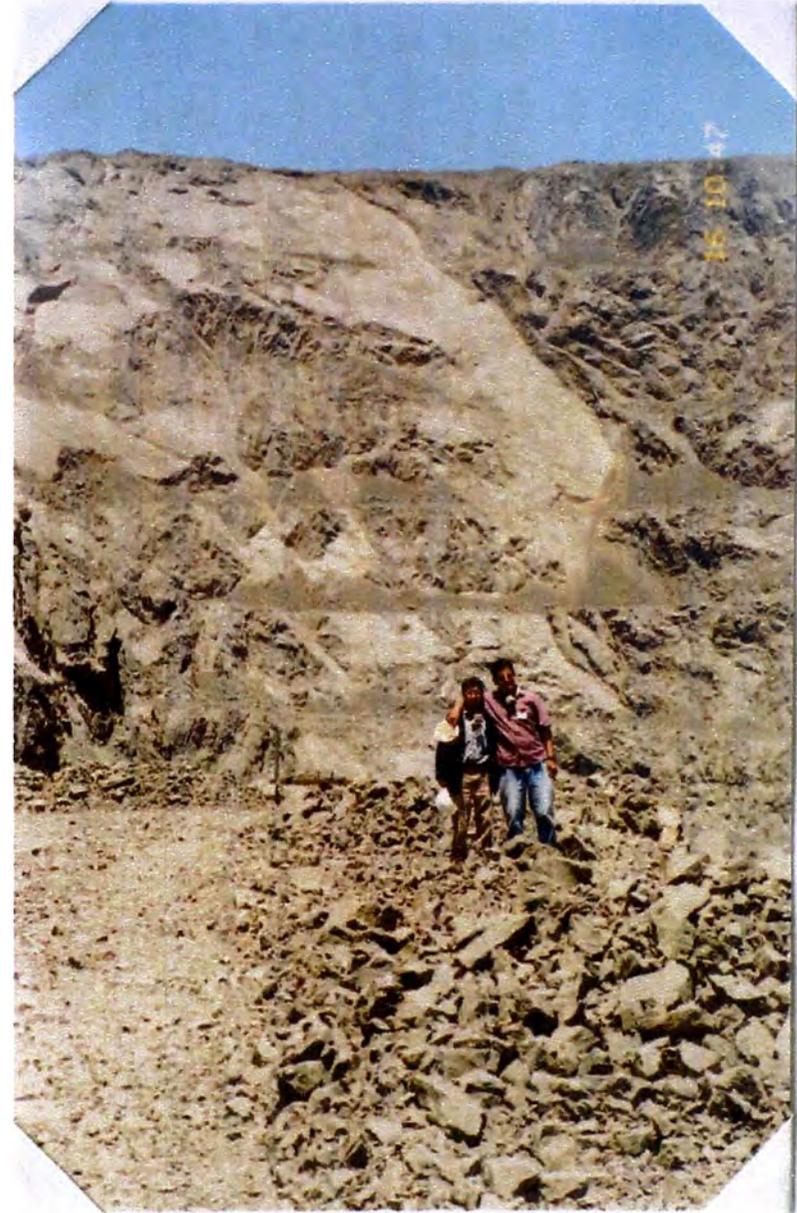


Foto 3: Mina 5 W: Falla de Repetición
Caja Techo Fm. Marcona

principalmente siguiendo fallas NW-SE y también como dos stocks longitudinales de NW-SE, con clara asociación al Sistema de Fallas La Huaca.

Se presenta en dos estadios: el primero en stocks y el segundo como diques que cortan a los stocks. Estas consisten de fenocristales de plagioclasa de composición labradorítica, con pequeños fenos de clinopiroxeno, y como minerales de alteración presenta serpentina y tremolita.

Las dataciones Rb-Sr efectuadas en la traquiandesita y traquibalsalto potásico, que obtuvieron 137.4 +/- 3 M.A. y 136.4 +/- 3 M.A. respectivamente (Injoque, 1985), por lo que se les ubica en el Valanginiano (Cretácico Inferior).

Las rocas volcánicas del área consisten en:

- c) Dacita-Monzogranito.
- d) Diques Shoshoníticos (Basaltos-Doleríticos).
- e) Diques Ocoíticos (Andesita-Diorita).
- f) Diques de Granodiorita post-mineral.

4.3.c. DACITA-MONZOGRANITO: Roca ligeramente porfirítica de color gris verdusco (dacita) a rosáceo (monzogranito), presentándose como diques, capas o masas de contacto que cortan a la formación Marcona y que presentan formas muy irregulares y sinuosas, así como buzamientos muy variables. Se presentan alterados, con sericitización en los feldespatos y con los máficos pasando a cloritas. Se ha considerado que han sido diques relacionados al vulcanismo Río Grande (Atchley, 1956), aunque Injoque (1985) los considera como pórfidos anteriores a la mineralización.

Es muy probable que hayan habido varios períodos de inyecciones dacíticas y así tendríamos edades relativas pre-mineral (dacitas) y post mineral (monzogranitos que cortan al manto de mineral). Ver Apéndice 1: Muestras A y B.

4.3.d. DIQUES SHOSHONÍTCOS: Se presentan dos periodos de intrusión de diques de composición shoshonítica a básica:

- **Sills basáltico-dolerítica:** de grano fino, son contemporáneos a la mineralización, rocas grisáceas y oscuras verduscas con textura ligeramente porfirítica abarcan áreas irregulares con contactos muy sinuosos y poco ángulo de inclinación y que forman delgadas capas horizontales a menudo mineralizadas, que escapan a un buen control geológico y producen a veces sorpresas en la explotación. Estos sills se presentan paralelos a la estratificación y muestran una relación con el Sistema de Fallas Repetición. Presentan una fina textura subofítica y una estructura de flujo bien desarrollada, así como en muchos casos una composición shoshonítica (traquiandesitas y traquibasaltos). Por su asociación a la formación Río Grande (en su etapa tardía), se pueden considerar de edad Jurasica Superior (Injoque, 1985).

- **Volcánicos básicos post-mineral** son metaandesitas y metadioritas, de textura afanítica que forman diques regulares continuos vinculados a pequeñas fallas y se encuentran medianamente alterados (ensamble clorítico-albítico). En general, encontramos diques básicos cortando al Complejo Basal y a las formaciones Marcona y Río Grande.

4.3.e. DIQUES OCOITICOS: Son dioritas y andesitas porfiríticas con fenos de plagioclasa > 1 cm, clinopiroxeno y hornblenda y como minerales secundarios epidota, pirita diseminada y magnetita. Tienen color oscuro grisáceo aunque también moteadas de intensidad rosácea debido a un débil metamorfismo; se presentan cortando a la formaciones Marcona y Río Grande, y en menor cantidad al Complejo Basal o de Lomas. Son los diques que más cortan el área de la mina y presentan un rumbo NW-SE. Se presentan como diques bien definidos y regulares en su continuidad al ser paralelos a las Fallas Huaca (Ver Fotos 4 y 5).



Foto 4: Mina 14 SE: dique de ocoita andesítica de forma tabular

SE ← → NW

SE ← → NW

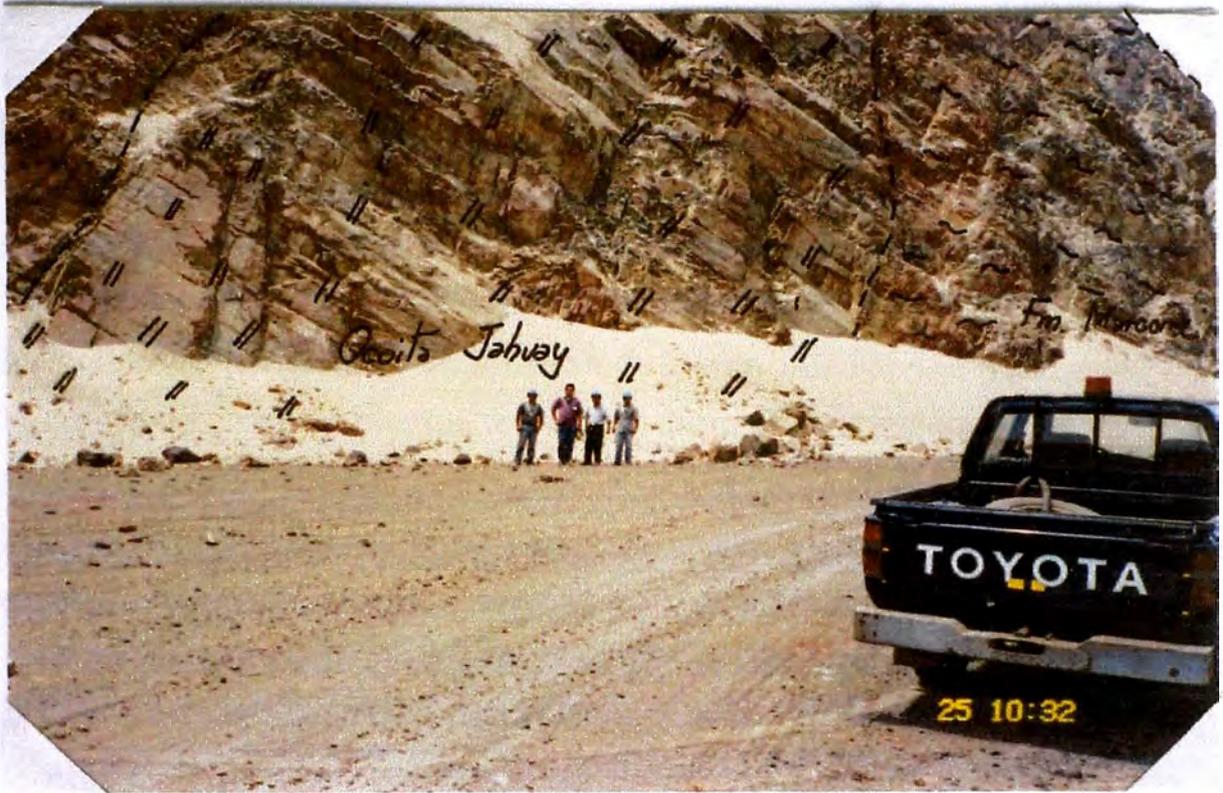


Foto 5: - Detalle de la vista anterior : Mina 14 SE. Ocoita andesítica cortando roca piso Fm. Marcona

NW ← → SE

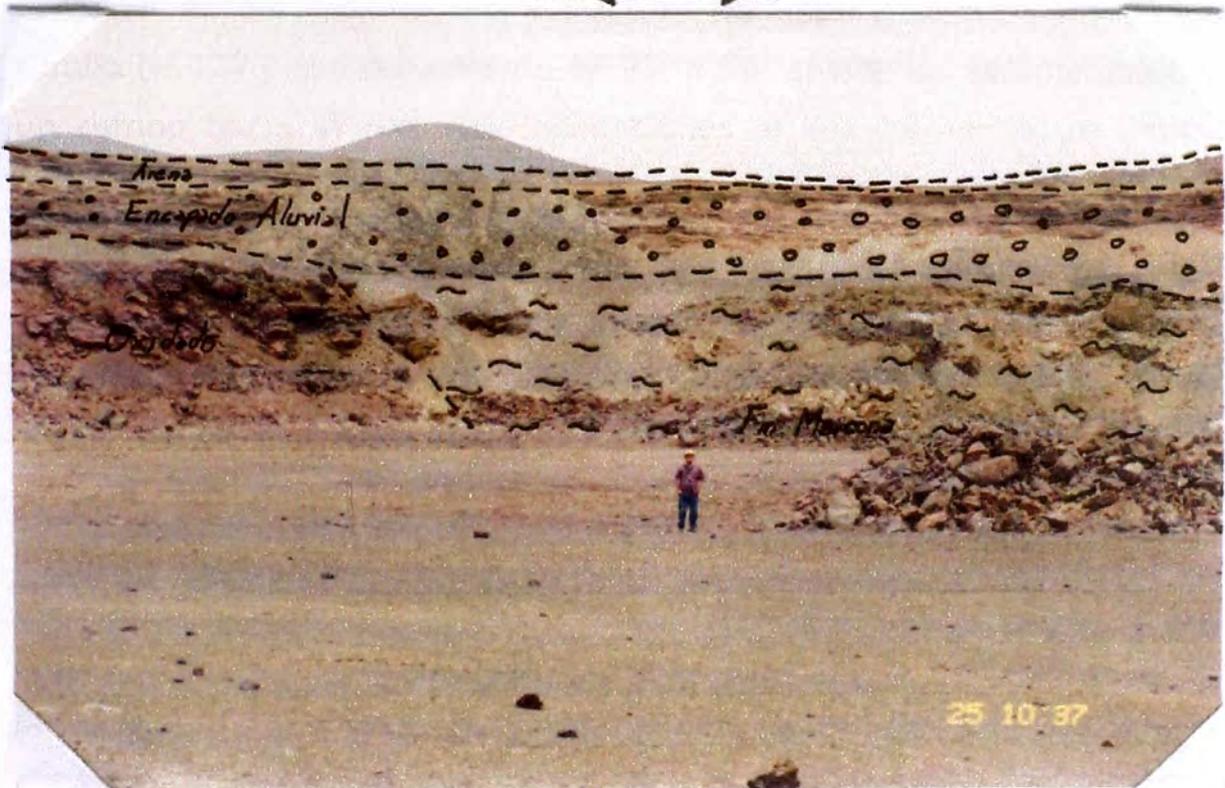


Foto 6: -Mina 14 NW: Cobertura aluvial (Fm. Pisco) sobre hornfels (caja techo) de la formación Marcona. Cubierta arenosa

Corresponden a una edad post-mineral y son más recientes que los anteriores y se les puede considerar como correlacionables al volcanismo Jahuay.

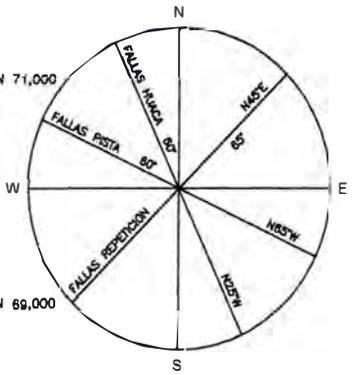
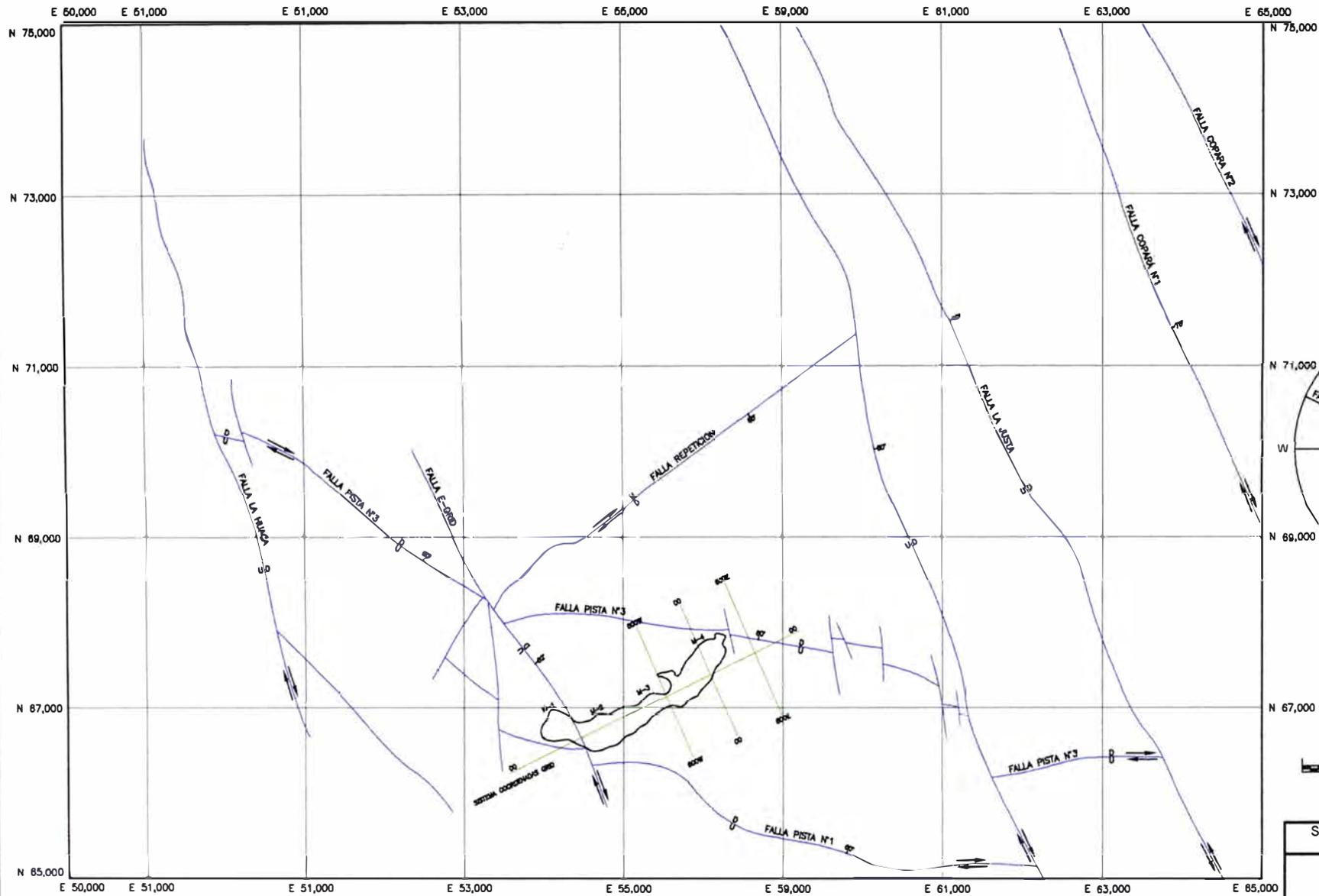
4.3.f. DIQUES DE GRANODIORITA POST-MINERAL: Los diques de granodiorita tienen una orientación N-S, son intrusiones post – mineral y ligeramente más recientes que los diques ocoíticos (cortan a estos); también se ha formado a lo largo de las zonas débiles de fallamiento, se presenta mayormente como delgados diques y masas intrusivas pequeñas, que son de color rojizo y son de textura equigranular fina, son menos abundantes y se presentan con más frecuencia cortando a las formaciones Marcona y Río Grande (Ver Foto 2). Estos diques están cortados en la formación Río Grande por pequeños diques de diorita Tunga.

4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En escala regional, la estructura dominante es un homoclinal de rumbo NE-SW y con buzamiento de 35° a 65° al NW; los sedimentos tienen un rumbo hacia el NW con inclinaciones al NE, formando un anticlinal actualmente erosionado. Es muy compleja por los fallamientos, intrusiones y los periodos tectónicos.

4.4.1. PLEGAMIENTO: El plegamiento regional evidentemente ocurrió hacía el final del Cretácico como un predecesor al levantamiento andino. En aquel tiempo, las rocas fueron inclinadas con rumbo N 50° E e inclinación de 40° NW, esto sugiere que las capas fueron plegadas en forma de un homoclinal, no obstante es indudable que se trata de un gran anticlinal con rumbo al NW y cuyo flanco occidental esta ubicado en el mar, por lo que solo se observa el lado E de la estructura.

4.4.2. FALLAMIENTO: Es la resultante de los esfuerzos causados durante el plegamiento y el levantamiento andino.



SHOUGANG HIERRO PERU S.A.
(GEOLOGIA MINA)

FIG. 1.9:
SISTEMA DE FALLAS
DEL
DISTRITO MINERO DE MARCONA

Tres periodos de fallas mayores han cortado las rocas de Marcona produciendo estructuras complejas, también existen muchas fallas menores (Ver FIG. 1.9). Estas estructuras son conjuntos de fallas que se han relacionado por sus rumbos y buzamientos aproximadamente iguales; el movimiento a lo largo de ellas ha sido, por lo general, tanto horizontal como vertical. La edad geológica de estos sistemas se han determinado a partir de su relación con las rocas adyacentes, así como sus edades relativas. Estos tres mayores sistemas se denominan:

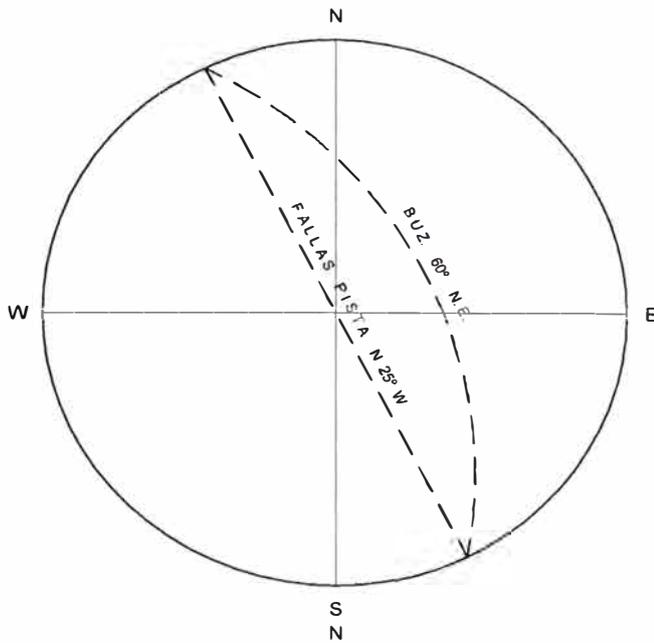
- **Fallas Pista**, son las mas antiguas, formándose antes de la mineralización y continuando sus movimientos después de esta. Corresponden a las llamadas fallas normales gravitacionales, tienen como rumbo N 65° W y buzamientos de 60° NE.

- **Fallas de Repetición**, es el segundo sistema de fallas que corresponden al tipo de fallas tensionales-compresionales inversas o sea producidas por fuerzas de tensión combinadas a un sistema opuesto de compresión, y se le llama Repetición porque “duplica” las cajas techo y piso. Este sistema es paralelo a la estratificación (Ver Foto 3), tiene un rumbo de N 45° E y 65° SE de buzamiento. Su edad vendría a ser Jurásica Superior.

- **Fallas La Huaca**, son las mayores en magnitud, paralelas a la Cordillera de los Andes; el plano de falla. determina una rotura y desplazamiento de tipo normal. Tienen como rumbo N 25° W y un buzamiento de 60° NE, y vendrían a corresponder al Cretácico Inferior.

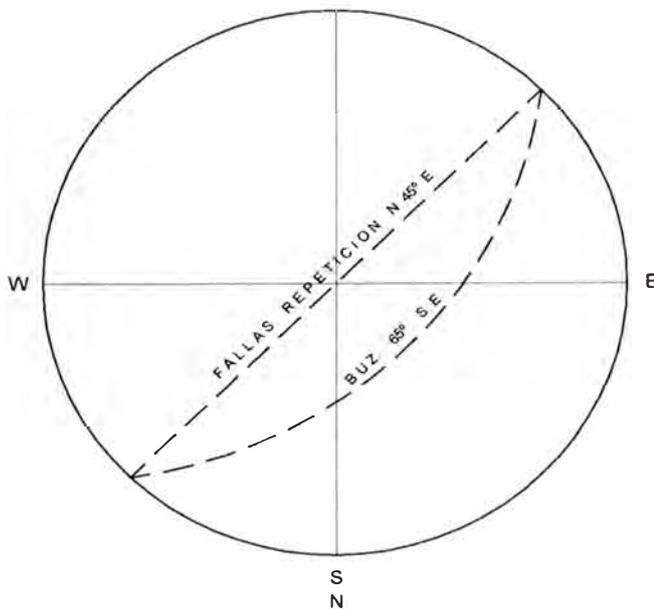
Estas fallas juegan un rol importante en la localización de los yacimientos, ya que tienen efectos principalmente con la repetición o ausencia de capas en la secuencia, o en los fuertes cambios de los ángulos normales de buzamiento y también en los bruscos truncamientos de rumbo de los cuerpos de mineral por grandes desplazamientos (Ver FIG. 1.10).

FIG. 1.10: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE FALLAS



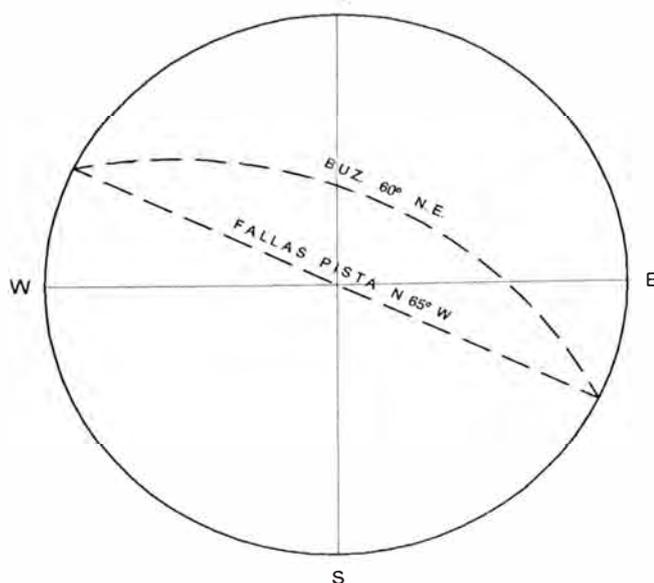
SISTEMA DE FALLAS "LA HUACA"

- MAS GRANDE Y MAS RECIENTE
- TERCER SISTEMA
- PARALELAS A LA CORDILLERA DE LOS ANDES
- POST MINERAL
- MAXIMO DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL: ± 3 Km
- CAUSA: PROMINENCIAS TOPOGRAFICAS CONSPICUAS CON ESCARPAS LINDANTES, REPETICION O AUSENCIA DE CAPAS. FUERTES CAMBIOS DE LOS ANGULOS NORMALES DE BUZAMIENTO, BRUSCAS TERMINACIONES A RUMBO DE LOS DEPOSITOS.



SISTEMA DE FALLAS "REPETICION"

- SEGUNDO SISTEMA
- TENSIONALES - COMPRESIONALES INVERSA
- POST MINERAL
- PARALELO A LA ESTRATIFICACION
- CAUSA: REPETICION Y OMISION DE ESTRATOS Y APARENTE BUZAMIENTO BAJO EN LOS DEPOSITOS.



SISTEMA DE FALLAS "PISTA"

- NORMALES GRAVITACIONALES
- PRE Y POST MINERAL
- SISTEMA MAS ANTIGUO
- ASOCIADA A PLEGUES MENORES
- MAXIMO DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL: ± 2.5 Km
- CAUSA: FUERTES FRACTURAS CON CLIVAJE EN LA Fm. MARCONA

4.5. METAMORFISMO

En general, las rocas Precambrianas, Paleozoicas y Mesozoicas están metamorfizadas, así tenemos:

4.5.a. Metamorfismo dinámico-térmico: Es un proceso de metamorfismo geotérmico, donde los factores predominantes son los cambios de temperaturas y presiones, con variaciones de composición, resultando esquistos y gneisses en el Complejo Basal (Punta San Juan). Se considera que data del Proterozoico Superior, entre el evento de Atico (450 M.A.) y el evento de Mollendo (1900 M.A.), según Shackleton (1979).

4.5.b. Metamorfismo regional o dinámico: Este proceso deforma y altera las texturas primitivas por acción de la presión litostática o de presión simultánea en toda dirección, generando la formación de filitas con textura porfiroblástica asociadas a muscovita y clorita en la formación Marcona.

En la facies de esquistos verdes podemos observar dos etapas:

1ª Fase de metamorfismo de bajo grado: clorita.

2ª Fase: biotita a muscovita poiquilítica (Carlier, 1985).

En las lavas de la formación Río Grande la alteración se presenta como relleno de las vesículas con asociaciones de clorita-epidota-calcita en las zonas más profundas; en los niveles superficiales se caracterizan por zeolita-clorita-calcita (Injoque, 1987).

Se le asigna una edad Pre-Ordoviciana (Carlier, 1985).

4.5.c. Metamorfismo térmico o de contacto: El metamorfismo de contacto está ligado a eventos tectónicos y magmáticos. En el área se presenta como factor principal el cambio de temperatura, esta caracterizada por la presencia de cornubianitas (hornfels) y mármol dolomítico.

En la formación Marcona las pelitas han perdido su textura original y muestran fractura hornfésica o concoidal; consisten de cuarzo, feldespato, biotita, flogopita, rutilo y grafito. El hornfels presenta textura xenoblástica fina. También se presentan hornfels de cuarzo- anfíbol-piroxeno.

Las calizas y dolomitas se recrystalizan a mármoles con forsterita (Carlier, 1985). Se le considera posterior al metamorfismo regional y anterior al Batolito de San Nicolás (pre-Devónico, según Shackleton, 1979).

4.5.d. Metasomatismo: En la sustitución metasomática, el factor principal ha sido el intercambio de iones por un medio líquido: presencia de calcosilicatos: epidota; anfíboles: actinolita-tremolita. Data del Jurásico Superior (Injoque, 1985).

4.6. YACIMIENTOS MINERALES

Se emplazan en cuatro grupos de depósitos:

(a) Mantos de Fe-(Cu) en metasedimentos de la formación Marcona: los depósitos de hierro ocurren en bandas definidas, formando unidades generalmente tabulares de reemplazamiento masivo. El origen común de los depósitos está indicado por tener caracteres análogos: a) Orientación E - W, b) Buzamiento de 40° a 60° N, c) La mineralogía primaria es la misma, d) Están en concordancia con la roca encajonante, e) Los cuerpos de mineral presentan longitudes variables, f) El mineral de los depósitos se encuentra entre bandas de hornfels.

Los fluidos tardimagmáticos tuvieron una temperatura alrededor de 400 °C.

(b) Vetas, mantos y stockwoks de la formación Río Grande: se encuentran yacimientos definidos y contactos gradacionales con magnetita diseminada controlados por el tipo local de roca. Esto nos sugiere que el carácter de la roca encajonante determinó un enfriamiento que no fue

rápido y que las soluciones residuales produjeron un calentamiento relativamente alto en las rocas encajonantes.

(c) Yacimientos Fe-Cu-Au de Pampa de Pongo: Como se expuso en el capítulo anterior, la roca caja esta formada por las dolomías y los volcánicos ocoíticos de la formación Jahuay. La mineralización de hierro presenta facies de reemplazamiento y de relleno de brecha dentro de un corredor de falla NW-SE paralelo al sistema de Fallas Huaca y a los diques ocoíticos del distrito minero de Marcona.

(d) Prospecto de Huaricangana: La vertiente meridional de los cerros Huricangana presenta delgadas vetillas de magnetita y cobre secundario (con una ley promedio de 0.25 % Cu) que cruzan a las ocoítas Jahuay, con un ensamble actinolita-escapolita-magnetita-pirita-calcopirita.

Estos prospectos indican de que a lo largo de un corredor NW de 50 km existen varios focos de mineralización correspondientes a dos fases mineralizadoras independientes:

- a) Etapa del Río Grande Tardío: generador del mineral de Fe-Cu en Marcona.
- b) Fase del Jahuay Tardío: generador de la mineralización de Huricangana, Pampa Pongo y de parte del Cu emplazado en las ocoítas Jahuay.

5. GEOLOGÍA ECONOMICA

5.1. GEOMETRÍA, PETROGRAFIA Y MINERALOGÍA DEL YACIMIENTO DE MARCONA

5.1.a. FORMA, UBICACIÓN ESTRATIGRAFICA, POTENCIA Y EXTENSIÓN:

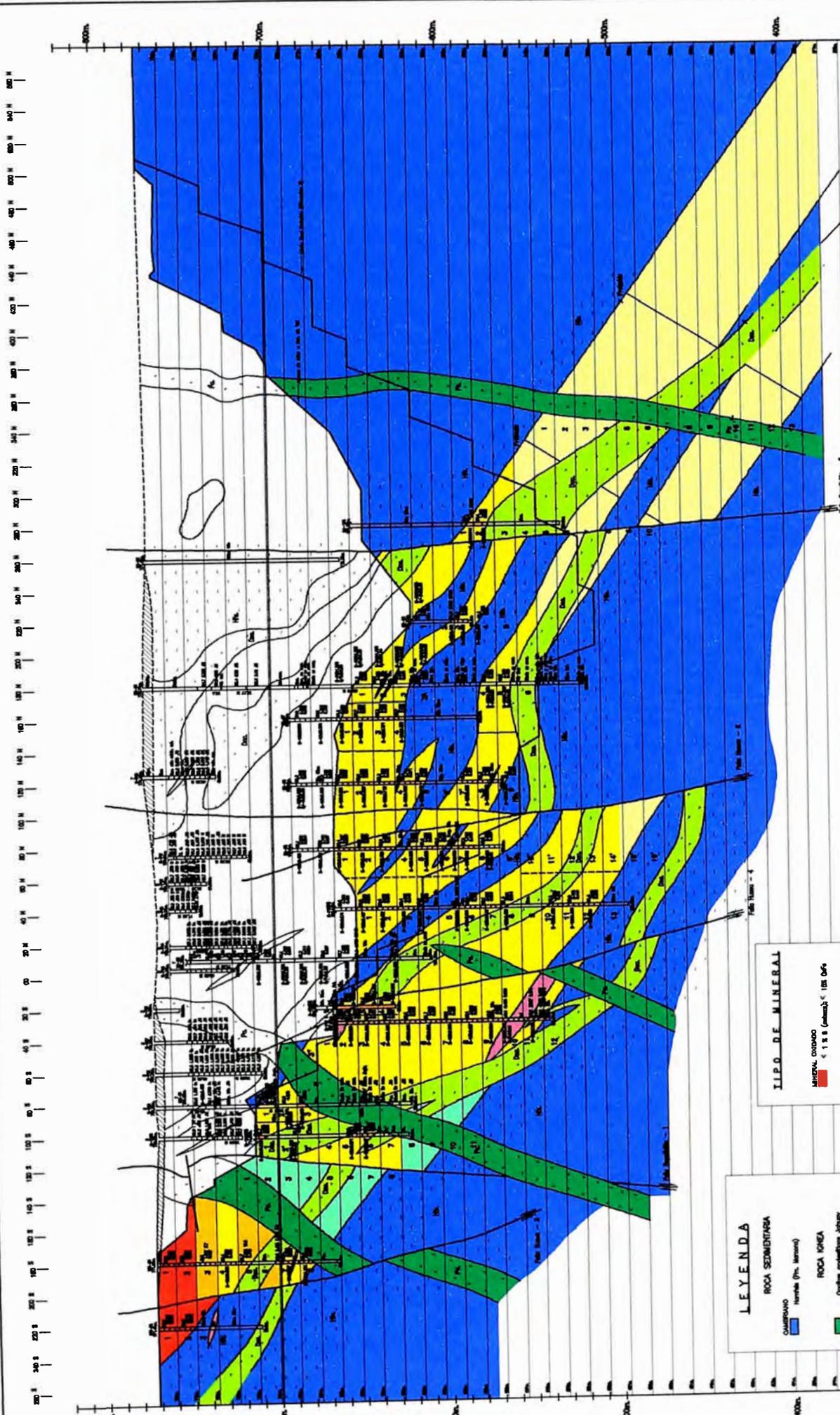
Un total de 117 cuerpos de mineral están distribuidos en un área aproximada de 10 km x 15 km, formando depósitos mayormente aislados y con longitudes y anchos variables. Los cuerpos de mineral yacen en formaciones sedimentarias del Paleozoico Inferior (43 cuerpos) y del Jurásico (73 cuerpos), siendo tabulares al ser concordantes con los estratos que los encierran por haber sido formados por un proceso metasomático en las facies favorables. Solo 1 cuerpo esta encajado en el Complejo Basal (Anomalía A-23).

5.1.a.1: CUERPOS DE MINERAL EMPLAZADOS EN PALEOZOICO INFERIOR:

Los mantos de la formación Marcona se emplazan en dos niveles favorables principales:

- **E-GRID (Nivel superior):** que comprende Mina 4-5-6-9-10:

* **Minas 1-2-3-4:** Se presentan con más de 2700 m de continuidad, y con una potencia promedio de 150 m de ancho (alcanza sus máximos espesores en Mina 3 y 4, > 200 m). Se encuentra encajado por hornfels síliceo, y se encuentra cortado por numerosos diques dacítico-monzograníticos (ver muestras A y B del Apéndice 1). La magnetita es masiva (55-60% Fe), de grano fino, con Ley Cu promedio: 0.14 %; en Mina 1 alcanza valores máximos > 0.3%), y un contenido de S: 2.6 %.



SHOUGANG HIERRO PERU

MINA - 3

ESCALA 1:1000

PROYECTO 111 000

ESTUDIO 111 000

CONSTRUCCION 111 000

OPERACION 111 000

1980

1981

1982

1983

1984

1985

1986

1987

1988

1989

1990

1991

1992

1993

1994

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025

TIPO DE MINERAL

MINERAL OXIDADO	< 1 % S (total) < 100 Dg%
MINERAL INTERMEDIO	> 1 % S (total) < 100 Dg%
MINERAL REDUCIDO	> 1 % S (total) > 100 Dg%
MINERAL PRECIBILE	100 S < 0.4 % (total-10)
	100 S > 0.4 % (total-10)

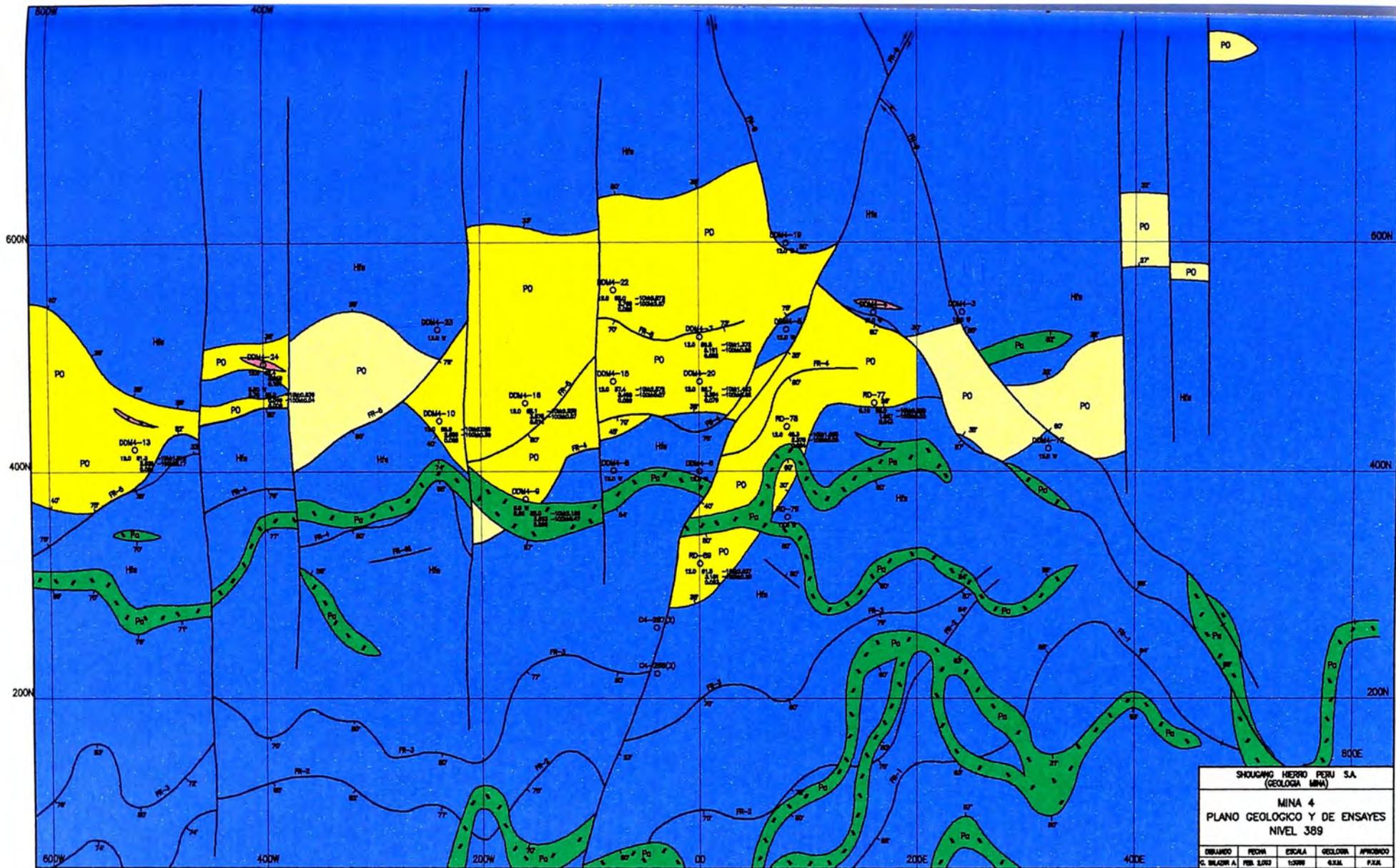
LEYENDA

ROCA SEDIMENTARIA

CONCRETO	Forma (Fr. Interst.)
ROCA IONIA	Oxidada, sulfatada, silicea
	Sulfatada (Fr. Interst.)
	Dufo / Magnetita

ESCALA EN METROS





GEOLOGIA

ROCA SEDIMENTARIA

CAMBRIANO

- Hornfels (Fm. Merano)

ROCA IGNEA

- Ocoitas andesíticas Jahuy
- Shoshonitas (sil. básico)

TIPO DE MINERAL

MINERAL OXIDADO

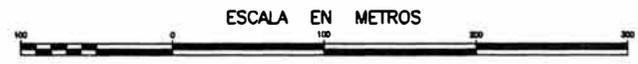
- < 1 % S (cabaza); < 15% O₂Fe

MINERAL TRANSICIONAL

- > 1 % S (cabaza); < 15% O₂Fe

MINERAL PRIMARIO

- (> 1 % S (cabaza); > 15% O₂Fe)
- CG: S < 0.4 % (Mala-10)
- Fq: S > 0.4 % (Mala-10)
- MINERAL PROBABLE



* **Mina 5:** Magnetita (+/- 58 % Fe), con pirrotita (> 0.2 % en M-100), que es refractario al método de beneficio (peletización). Encajado en hornfels con abundantes diques básicos y granodioritas post-mineral. Presenta una potencia de 130 - 150 m en promedio (con un espesor máximo de 170 m), y una longitud de 900 m.

* **Minas 9-10-6:** Magnetita (>60% Fe), Cu < 0.1 %, con bajo contenido de azufre (<0.4 % en malla-10) y S: 2 %, con una potencia promedio de 120 m (máximo espesor en Mina 10 = 150 m), y una longitud de 700 m, y esta encajada en hornfels silíceo.

- **HORIZONTE MINA 7 (Nivel Inferior):** comprende Mina 7, Mina 14 o Justa.

* **Mina 7:** de potencia menor (100 m en promedio) y una longitud de casi 1500 m. Se presenta hospedado en una caja techo filítica (ver muestra G del Apéndice 1), y su caja piso es cuarcita-hornfels. La magnetita se presenta con leyes de 55% Fe en promedio y S: 1.8 % (Azufre > 0.4% en malla-10), con Cu: 0.05 - 0.1 %.

* **Mina 14 o Justa:** Presenta magnetita (53-54 % Fe) con alto contenido de esfalerita (Zn >1%), con una potencia promedio de 140 m. (en algunos cortes alcanza 170 m).

5.1.a.2: CUERPOS DE MINERAL EMPLAZADOS EN EL JURASICO:

En este miembro inferior de la secuencias se encuentran muchos depósitos no explotados por ser zonas mineralizadas de baja ley de fierro y alto azufre, lo cual requiere un beneficio especial (Ver Fig. 1.8). Los mantos de magnetita de la formación Río Grande (Cerritos) se presentan en tres niveles:

* **N-13** (Nivel Inferior): Con una potencia de 160 m, su roca caja es arenisca tufácea y limolita félsica. La mena es magnetita masiva intercrecida con minerales de Cu y leyes de 50% de Fe en las partes económicas.

* **Cerritos de la A:** Encajona a la Mina 8 (único yacimiento de hierro minado en la secuencia Río Grande, con leyes de 48.4 % Fe, 1.12 % S y 0.04 % Cu). Tiene una potencia de 60 m.

* **Flor del Desierto** (Nivel superior): Con potencia de 40 m, y leyes de 40-45 % Fe y de 0.1- 0.3 % Cu en promedio.

5.1.b. RELACION ROCA-MENA

Los diferentes cuerpos de mineral se han formado principalmente por reemplazamiento selectivo de las facies favorables de las formaciones Marcona y Río Grande:

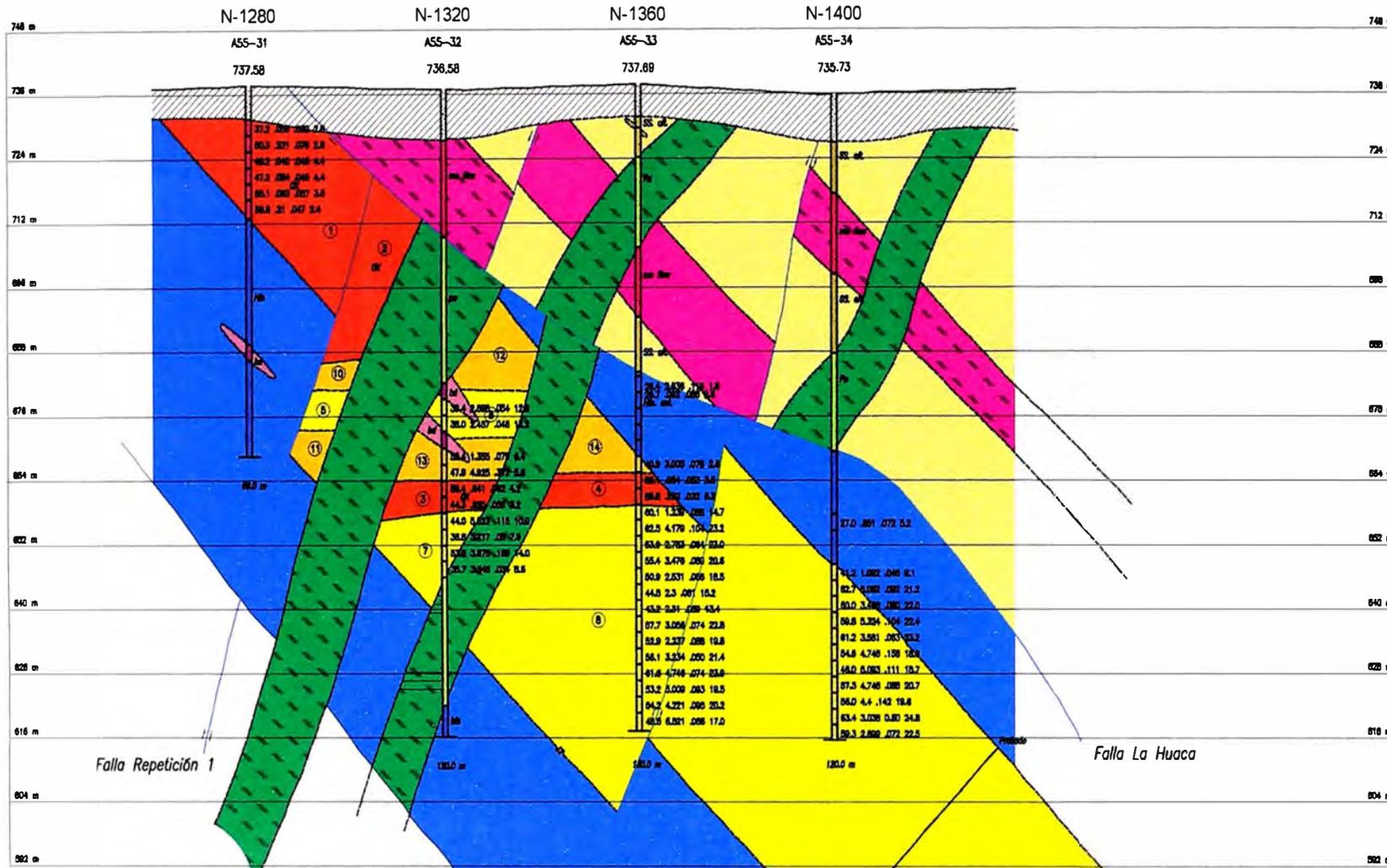
En la formación Marcona: se presentan reemplazamiento en mayor escala, con contactos definidos entre el mineral y la caja en los horizontes de calizas y dolomías, y no presentan gradación, abundando los contactos sinuosos y presentando además vetas, stockworks y cuerpos diseminados.

En la formación Río Grande: los reemplazamientos se han realizado en los horizontes de calizas y areniscas calcáreas, que presentan estructuras más o menos tabulares algo paralelos a los estratos que los contienen. Los rumbos promedios son E-W y NE-SW.

La circulación de los fluidos mineralizados ocurren predominantemente a lo largo de estratos permeables (tufos o volcánicos brechados), o de rocas reactivas (en este caso calcáreas), las que le dan a la mineralización su carácter predominantemente estratiforme. La mineralización entre contactos de intrusivos y fallas fue de menor importancia.

La textura de la roca original se ha mantenido casi intacta después del metasomatismo, siendo más patente en las areniscas calcáreas Jurasicas.

5.1.c. ZONEAMIENTO Y TIPOS DE MINERAL



LEYENDA

ROCA SEDIMENTARIA

JURASICO

- Amolitas arcadas (Fm. Rio Grande)
- Flujo de meta-andesito (Fm. Rio Grande)

CAMBRIANO

- Hornfels (Fm. Marcano)

ROCA IGNEA

- Ocofita andesítica Jahuay
- Shoshonitas (sill básico)

TIPO DE MINERAL

MINERAL OXIDADADO

- < 1 % S (cobaza); < 15% O₂

MINERAL TRANSICIONAL

- > 1 % S (cobaza); < 15% O₂

MINERAL PRIMARIO

- > 1 % S (cobaza); > 15% O₂

Reservas Geológicas (A-55 _ Corte 320 E)

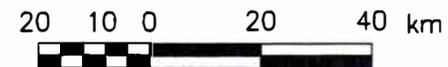
Mineral	Zona	Area (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Densidad (Ton/m ³)	Tonelaje (TIS)	Leyes Químicas			
							%Fe	%S	%Cu	
Probado	Oxidado	1317	40	52,680	3.93	207,036	50.69	0.539	0.054	3.8898
	Transic.	822	40	32,880	3.57	117,408	44.10	2.619	0.097	8.643
	Primaria	5175	40	207,000	4.33	897,588	56.80	3.257	0.107	19.852
	Total	7314	40	292,560	4.17	1'222,032	54.39	2.735	0.079	18.072
Probable	Primaria	2475	40	99,000	4.5	445,500	58.3	2.899	0.072	22.50
Gran Total		9789	40	391,560	4.28	1'867,532	55.7	2.728	0.077	17.78

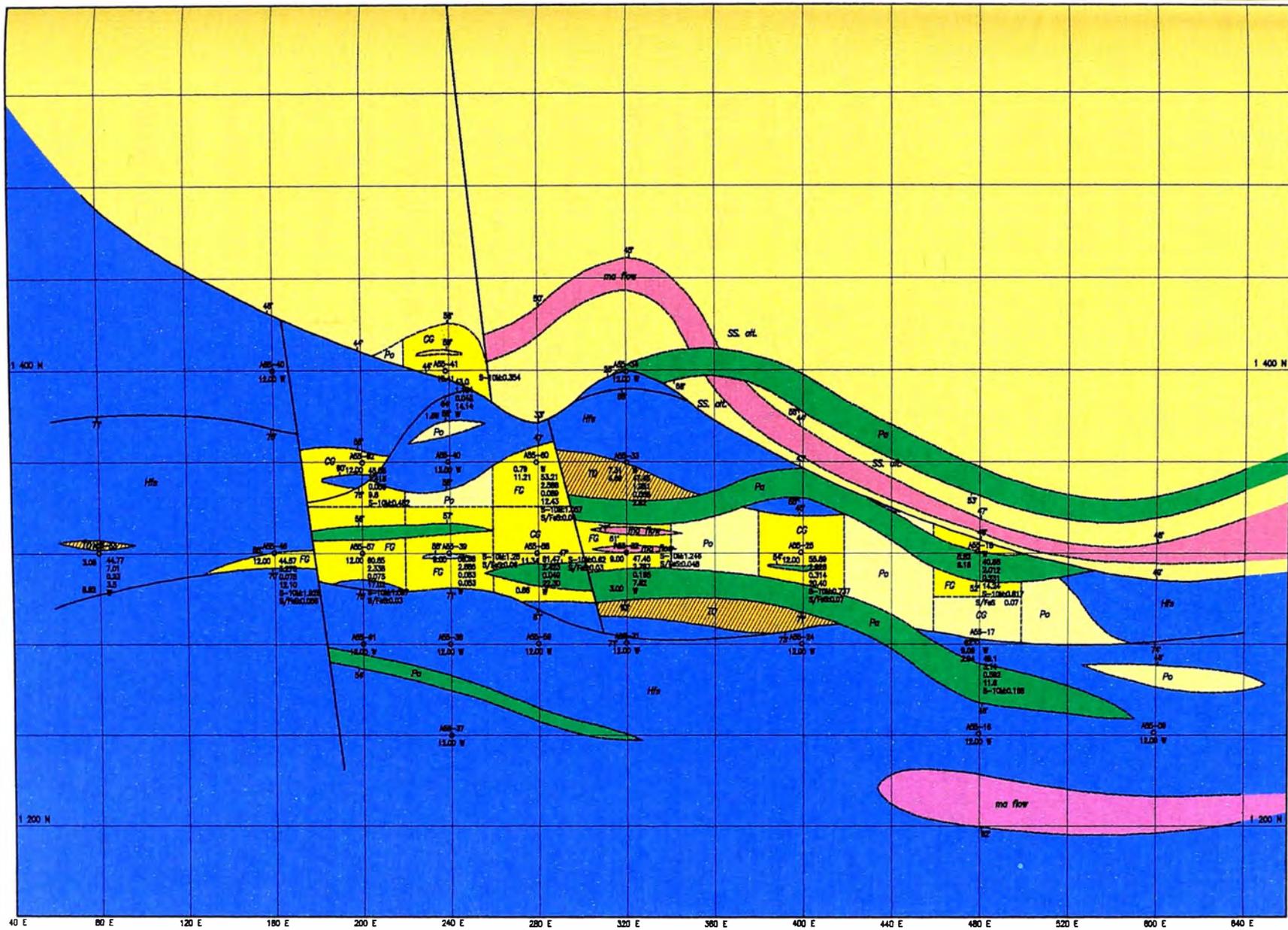
Falla Repetición 2

Sección 320 E: Anomalia A-55

Mirando al Oeste
Coordenadas Grid
Septiembre 2,000

ESCALA





GEOLOGIA

ROCA SEDIMENTARIA

CAMBIANO

- Horstón (Fm. Marcona)

JURASICO

- Arroyo del Zapicho (Fm. Rio Grande)

ROCA IGNEA

- Dacite andesítica Ichu
- Shashuritas (all. basico)

TIPO DE MINERAL

MINERAL OXIDADO

- < 1 % S (anemia) < 13% OFe

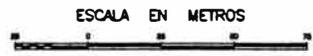
MINERAL TRANSICIONAL

- > 1 % S (anemia) < 13% OFe

MINERAL PRIMARIO

- > 1 % S (anemia) > 15% OFe
- OR S < 0.4 % (Mela-10)
- FE S > 0.4 % (Mela-10)

MINERAL PROBABLE



HIERRO PERU

PLANO GEOLOGICO Y DE ENSAYES

MINA 22

(ANOMALIA A-55)

NIVEL 664

FECHA FEBRERO 2,003	ESCALA 1:1 000	COMPILADO
ELABORADO C. SALAZAR A.	GEOLOGIA C. SALAZAR A.	APROBADO P. V. N.
		REVISADO

Los cuerpos presentan zoneamiento vertical ya que durante levantamientos tectónicos asociados a la deposición de los sedimentos marinos someros de la transgresión Pliocénica a Pleistocénica: la magnetita con diseminaciones de sulfuros fue sometida a abundante oxidación y lixiviación por las aguas subterráneas, y al emerger se oxidó por el clima.

Los agentes del intemperismo han formado en cada cuerpo de mineral tres zonas verticales por cambios de las características físicas y químicas de la magnetita (Ver Sección 1), las cuales son:

5.1.c.1.a. ZONA DE OXIDACIÓN Y LIXIVIACIÓN:

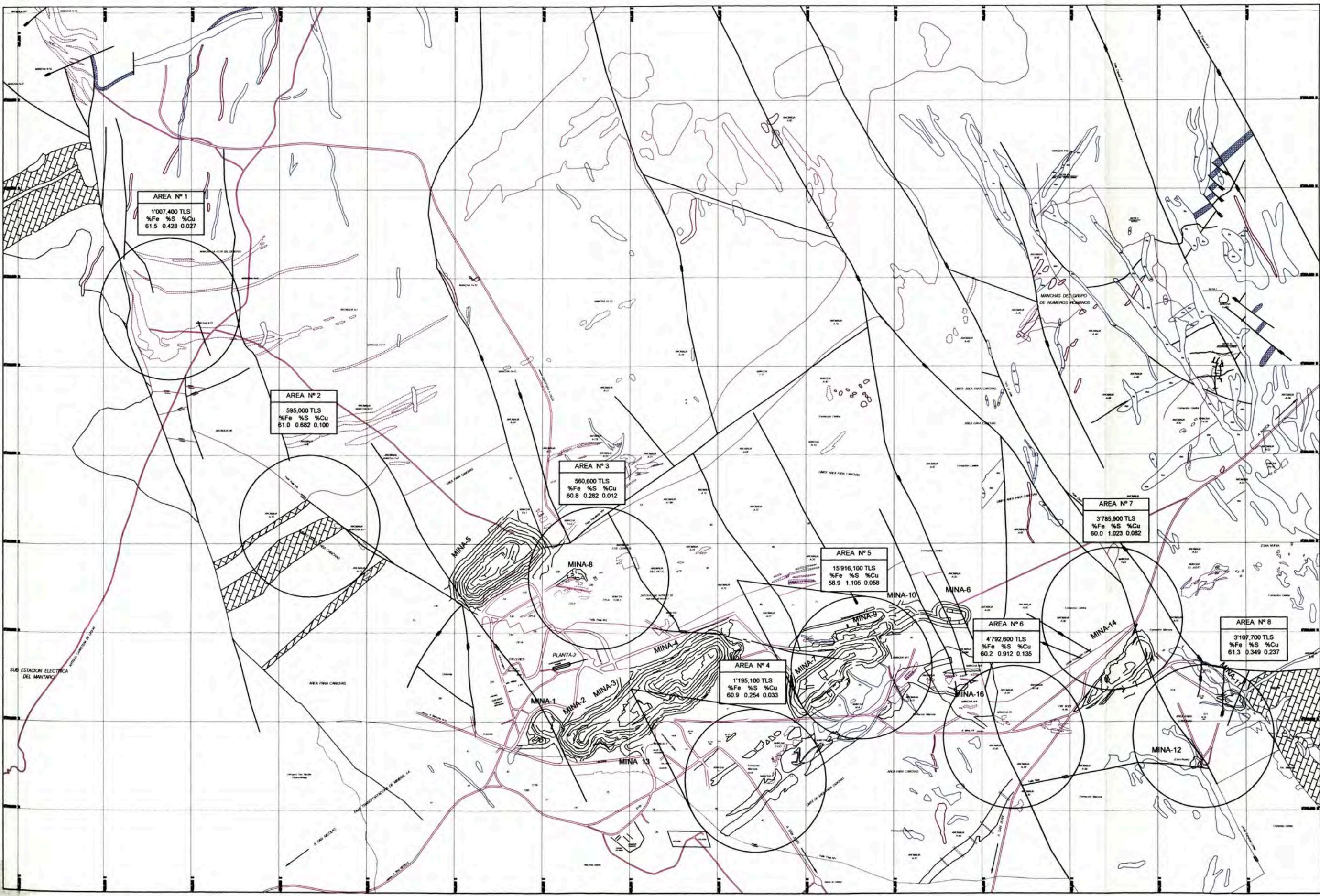
Corresponde a la superficie o cerca de ella y esta formada por una capa de hematita como mineral dominante con limonita y martita, óxidos de cobre, venillas de yeso, halita y actinolita. El espesor de esta zona es de 30 m y se caracteriza por su bajo contenido de azufre (<1 %) y aproximadamente 60 % Fe. Las impurezas como cobre, fósforo, y sílice son mínimas, constituyendo el mineral BFO (Blast Furnace Ore), que puede ser derivado directamente a los hornos para su beneficio (Ver FIG 1.11).

5.1.c.1.b. ZONA DE TRANSICIÓN O DE SULFATOS

Es la capa intermedia formada por los elementos lixiviados de la zona superior y la lixiviación incompleta de los materiales de la zona primaria. Se caracteriza por un incremento en el contenido de azufre. En esta zona los óxidos de hierro disminuyen y se incrementa los sulfatos de hierro; a mayor profundidad se incrementa la magnetita, decrecen los sulfatos y aparece la pinta. El mineral transicional se caracteriza por su baja recuperación en peso (<65%) y bajo FeO (< 15%).

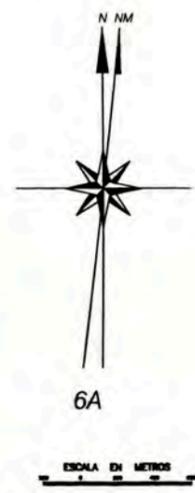
El espesor de la zona de transición es de aproximadamente 35 m y sus minerales principales son hematita-martita de grano fino, densa, masiva y porosa con jarosita y botriógeno. En menor cantidad amarantita, pirita, yeso, anhidrita, halita, brocantita, crisocola, atacamita, actinolita y clorita alteradas.

PLANO 04



LEYENDA

- FORMACION MARCONA
 - FORMACION CERRITOS
 - FORMACION COMPLEJO LOMAS
 - INTRUSIVO SAN NICOLAS (GRANODIORITA)
 - AREA PARA CANCHAS
 - CARRERA DE ACARREO
 - CARRERA AFIRMADA
 - LABORES Y CATEOS
 - ANOMALIAS Y MANCHAS
 - CANCHAS
 - EDIFICIOS
 - LINEAS DE ENERGIA ELECTRICAS
 - FAJA DE TRANSPORTE DE MINERAL
 - FALLA
- ROCAS IGNEAS
- ANDESITA PORFIRITICA
 - DACITA
 - GRANODIORITA
 - DIORITA
- ROCAS SEDIMENTARIAS
- ARENISCA
 - ARENISCA TUFACEOS
 - CALIZA
 - DOLOMITAS
- ROCAS METAMORFICAS
- CUARCITA
- RESERVAS GEOLOGICAS DE MINERAL DE HIERRO AL 31-12-2000



SHOUGANG HIERRO PERU

FIG. 1.11: PLANO DE UBICACION DE LAS AREAS CON RESERVAS DE MINERAL OXIDADO PARA ALTO HORNO (BFO) EN EL DISTRITO MINERO DE MARCONA

FECHA AGOSTO 2,002	ESCALA 1:20 000
DIBUJADO C. SALAZAR A.	PREPARADO Gabino Vera

5.1.c.1.c. ZONA DE MINERALES PRIMARIOS

El hierro es originado por acción tardimagmática y consiste de magnetita masiva o criptocristalina de color negro, acompañada con abundantes cristales de actinolita verdosa alterados a talco y clorita; charpas y chispas de pirita diseminada, en menor cantidad calcopirita y muy poca bornita; se encuentran calcita y vetillas de yeso. Alto Feo (>15 %).

5.1.d. RESERVAS DE MINERAL

La reserva geológica de la mina consiste en 1400 millones de toneladas métricas de hierro, con leyes de 55-58 % de Fe en la formación Marcona, mientras que en Río Grande presenta leyes menores de Fe:

TABLA 1.1: RESUMEN DE RESERVAS GEOLOGICAS (al 31-10-2001)

FORMACION MARCONA (Reservas Probadas)				
Tipo de Mineral	% Fe	% S	% Cu	TONELAJE (TLS)
OX	54.70	0.41	0.15	40'671,326
TO	54.10	1.98	0.13	52'430,585
PO	57.13	2.84	0.11	608'920,339
Sub-Total	56.76	2.51	0.12	702'022,250

FORMACIÓN RIO GRANDE o CERRITOS (Reservas Probadas)				
Tipo de Mineral	% Fe	% S	% Cu	TONELAJE (TLS)
OX	48.50	0.40	0.09	67'998,300
TO	43.90	2.38	0.09	74'597,500
Sub-Total	46.09	1.44	0.09	142'595,800

TOTAL (Reservas Probadas)				
Tipo de Mineral	% Fe	% S	% Cu	TONELAJE (TLS)
OX	50.82	0.40	0.112	108'669,626
TO	48.11	2.21	0.106	127'028,085
PO	57.13	2.84	0.110	608'920,339
TOTAL	54.96	2.43	0.110	844'618,050

TOTAL RESERVAS PROBADAS:	844'618,050 TLS
TOTAL RESERVAS PROBABLES:	>600'000,000 TLS
GRAN TOTAL DE RESERVAS:	>1,444'618,050 TLS

5.2. SECUENCIA PARAGENETICA

Para obtener la descripción, se han dividido las muestras en dos grupos según sus mantos respectivos (Manto E-Grid y Horizonte Mina 7). Las muestras fueron tomadas en los sectores de minado. Las observaciones microscópicas se hicieron en secciones delgadas y pulidas (Ver FIG: 1.12):

5.2.1. MANTO E-GRID:

En los horizontes dolomítico-calcáreos del área de explotación casi no quedan vestigios de la textura original: se aprecia dolomía no mineralizada solo a lo largo de pequeñas manchas de hierro y en el sector W de Mina 1. El hornfels se presenta silicificado en las cajas de los cuerpos (encapado de roca).

Al NW de San Juan se presenta forsterita, como producto de metasomatismo de contacto con mármol (Carlier, 1985), pero a zonas de minado no se ha podido determinar.

La actinolita es el anfíbol más abundante y en menor proporción tremolita: esta se puede apreciar en su hábito leñoso y textura crustiforme, acompañada por tremolita en Mina 3; en cristalización acicular en Mina 6 en lentes bien definidos (¿reemplazamiento selectivo?) en el plano de falla Repetición del sector W de esta mina (ver muestras I y J del Apéndice 1). En mina 5 se presenta en textura moteada.

La magnetita cristalizó después que la actinolita, a la cual reemplazó en gran parte (se presenta rellenando intersticios de esta), presentándose con textura masiva o compacta y en cristalización subhedral al microscopio en Mina 3 y 5 (ver Muestras 10 y 15); euhedral microscópicamente en Mina 6 (Ver Muestra 11). La epidota se encuentra rellenando fracturas de la magnetita y presenta un típico hábito concoidal.

PLANO 05

Después la pirita se diseminó en inclusiones e intersticios de la magnetita, con calcopirita en sus bordes y microfracturas, y pirrotita en sus oquedades. La esfalerita en trazas relleno las oquedades y microfracturas de pirita y se encuentra rodeada por la calcopirita (lo que nos indica que se alojo en las oquedades dejadas por esta). Aunque la cobaltita no haya sido posible determinar en el presente trabajo, su valor promedio para la Mina 3 de 520 ppm nos permite inferir su presencia, asociada a la pirita.

La calcita y el cuarzo rellenan las microfracturas y los espacios vacíos.

La asociación mineralógica del Manto E-Grid sería el **ensamble magnetita-calcopirita-cobaltita-pirrotita**.

En la zona transicional, se presenta goethita relleno cavidades de la magnetita, y relictos de esta reemplazados por hematita (martitización): Ver Muestra 6 del Apéndice 1.

Con respecto a la asociación intrusivos-mineral que se manifiestan en las secciones delgadas (Apéndice 1):

1).- Los diques de dacitas pre-mineral (Mina 3 S) presentan Fe en intersticios y en los feldespatos alterados (Muestra B), lo que nos indicaría que no presenta ninguna relación con la mineralización.

2).- El sill basáltico (asociado al evento shoshonítico), obtenido de Mina 5 S y cercano a la secuencia Río Grande, presenta cierta porosidad y es concordante con los estratos, y se presentan los opacos finamente diseminados, lo que indicaría que son coetáneos a la mineralización (Ver Muestra E).

3).- El monzogranito englobado dentro de los diques dacíticos (Mina 3 N) presenta vetillas de magnetita y pirita, con diseminaciones muy finas de

opacos (5%, superior a lo observado en la dacita). Haría falta hacer dataciones de los diques de composición dacítico-monzonítica, pero en el caso de la última se podría asumir que es posterior a la mineralización (Ver Muestra A).

4).- Las ocoitas andesíticas de Mina 3, presentan un contenido de opacos de 2-3 % ; Las ocoitas de mina 6: contenido 5% en andesita y de 3-5% en diorita. Se puede asumir que son responsables de la alteración hidrotermal tardía del yacimiento.

5).- Los diques granodioríticos post-mineral de Mina 5 presentan opacos disseminados (Ver Muestra C), muy posteriores al emplazamiento del Fe.

5.2.2. HORIZONTE MINA 7:

La dolomía de la formación Marcona se aprecia en Mina 14, aunque en su mayor parte (principalmente en Mina 7) ha sido reemplazada. El encapado de roca es pizarra (con vetilleos de cuarzo, en Muestra G) y estratos de cuarcita.

La actinolita se presenta acicular en Mina 7; en listones euhedrales en Mina 14 sector W (ver muestra 13 del Apéndice 1).

En mina 7 la magnetita se presenta generalmente con textura criptocristalina en muestra de mano, pero en el sector W a escala macroscópica se presenta cristalizada euhedralmente (dodecaedros), que alcanzan 1-5 cms de tamaño. La pirita está microfracturada, lo que permitió la inclusión de arsenopirita. La esfalerita (en porcentaje >1%) se alojó en las oquedades de la pirita, junto a calcopirita en exsolución (generación I). En las fracturas de la esfalerita se alojó la calcopirita de generación II. La melnicovita se alojó en las porosidades de la magnetita. La calcita de la Mina 7 se presentaría por contracción en la cristalización del carbonato intersticial: ¿tipo esparita?

La asociación mineralógica del Horizonte Mina 7 consiste del **ensamble magnetita-pirita-calcopirita-esfalerita-pirrotita**.

La ocoita andesítica de Mina 7 E (ver Muestra K) presenta un contenido de opacos de 2-3%, y se presenta posterior a la deposición del mineral.

Los minerales secundarios se generaron en base a la mineralogía primaria descrita anteriormente:

- Las soluciones ácidas alteraron la pirita a limonita.
- La calcopirita genero: brocantita y crisocola (sulfatos de Cu hidratados), calcosita y covelita (sulfuros de Fe), malaquita y antlerita. Estos minerales secundarios fueron depositados por soluciones que percolaron hacia abajo. Los silicatos como la actinolita fueron alterados a serpentina y talco.
- Por último se aprecia una secuencia de minerales de relleno: yeso (selenita), atacamita, halita, talco.

De la microscopia se podría concluir que:

La magnetita presenta una intensa recristalización por los sucesivos pulsos hidrotermales, y no a deformación por esfuerzos (formas de macla de calcopirita y pirrotita y su vinculación a zonas de fractura y texturas cataclásticas: Porras, 1974). El hábito masivo del mineral y sus texturas de relleno y de reemplazamiento avalarían esta afirmación.

La mineralización es posterior al metamorfismo termal: en el contacto las lenguas de mineral que entran en los lentes actinolíticos son posteriores a este evento.

Hay dos generaciones de calcopirita (la primera en exsolución y la posterior es intersticial): esto solo se presenta en Mina 7 (nivel más inferior), y de ellas la primera esta asociada al emplazamiento de la esfalerita.

Es evidente que el metamorfismo termal obliteró las facies calcáreas originales.

La goetita esta ligada a una removilización posterior (por hidratación y a baja temperatura)

El yacimiento se formó básicamente en dos etapas (Injoque, 1985):

a).- Proceso Termometamórfico: A temperatura relativamente alta se presento piroxenos, cordierita y hornblenda en la formación Marcona, y actinolita-epidota en la formación Río Grande.

b).- Proceso de Mineralización Tardío: Es posterior a la fase termal y es en la que se formaron los anfíboles y magnetita que constituyen la parte económica del yacimiento. Antes de la aparición de sulfuros se formo la epidota y cuarzo. La magnetita se presenta en inclusiones finas de pirita, pirrotita y calcopirita, que sugieren una transición hacia el estadio de formación de sulfuros. La esfalerita, galena, Au, etc. son minerales accesorios. Los sulfuros mayormente rellenan cavidades en magnetita o la reemplazan a lo largo de sus bordes, fracturas, contactos, etc.:

(*) Dentro de la siguiente secuencia paragenética del yacimiento de Marcona (Injoque, 1985), el autor de la presente tesis resalta la inclusión de la arsenopirita en dicha tabla (ver Apéndice 1: Muestra 13).

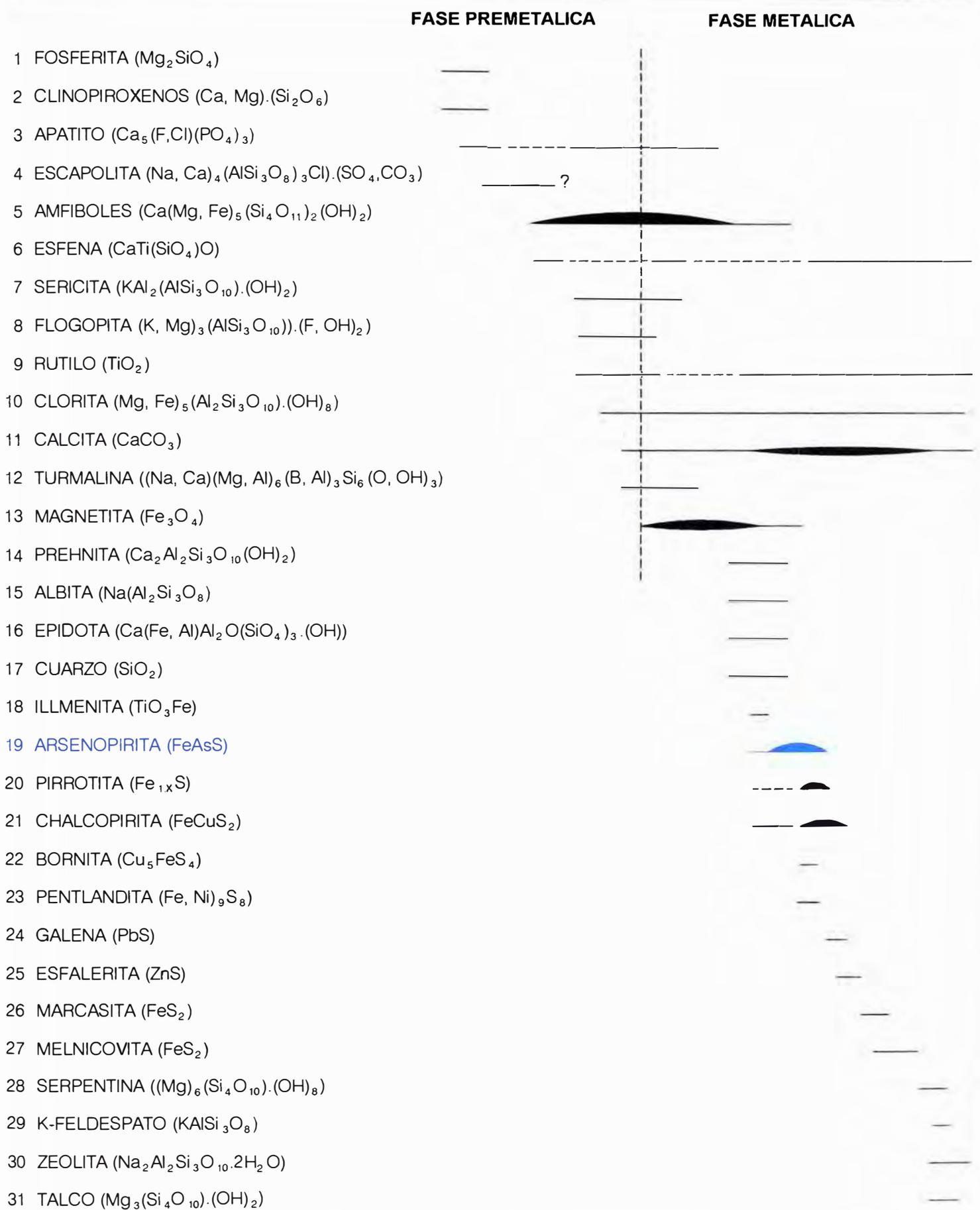


TABLA 1.2.: SECUENCIA DE MINERALIZACION DE MARCONA
 (Modificada de Injoque, 1985).

5.3. MINERALOGIA DEL Co Y Ni

El Cobalto es el único elemento raro que se presenta en superficie bajo la forma de óxidos, pero debido a su asociación con los óxidos de Cu son confundidos con estos.

Análisis realizados en 1977 indican una asociación de la cobaltita con la pirita, la cual sería la portadora de Co (Injoque, 1987).

La distribución del Co en la pirita es zonada, lo cual sugiere que este elemento se presenta en solución sólida.

Minerales de Niquel han sido reportados en Marcona: Porrás (1974) determinó la existencia de pentlandita asociada a la pirrotita.

Su presencia indican un origen magmático directo, como consecuencia de sustancias residuales de la diferenciación magmática concentradas por soluciones hidrotermales (Sidder, 1984; Injoque 1985), y se presentan asociadas a las rocas básicas (traquiandesitas Río Grande, shoshonitas Jahuay).

A continuación presentamos el siguiente cuadro de contenidos traza, cuya data se obtuvo de muestras de perforación:

TABLA 1.3: CONTENIDOS (ppm) DE Co y Ni EN ZONAS DE MINADO-MARCONA

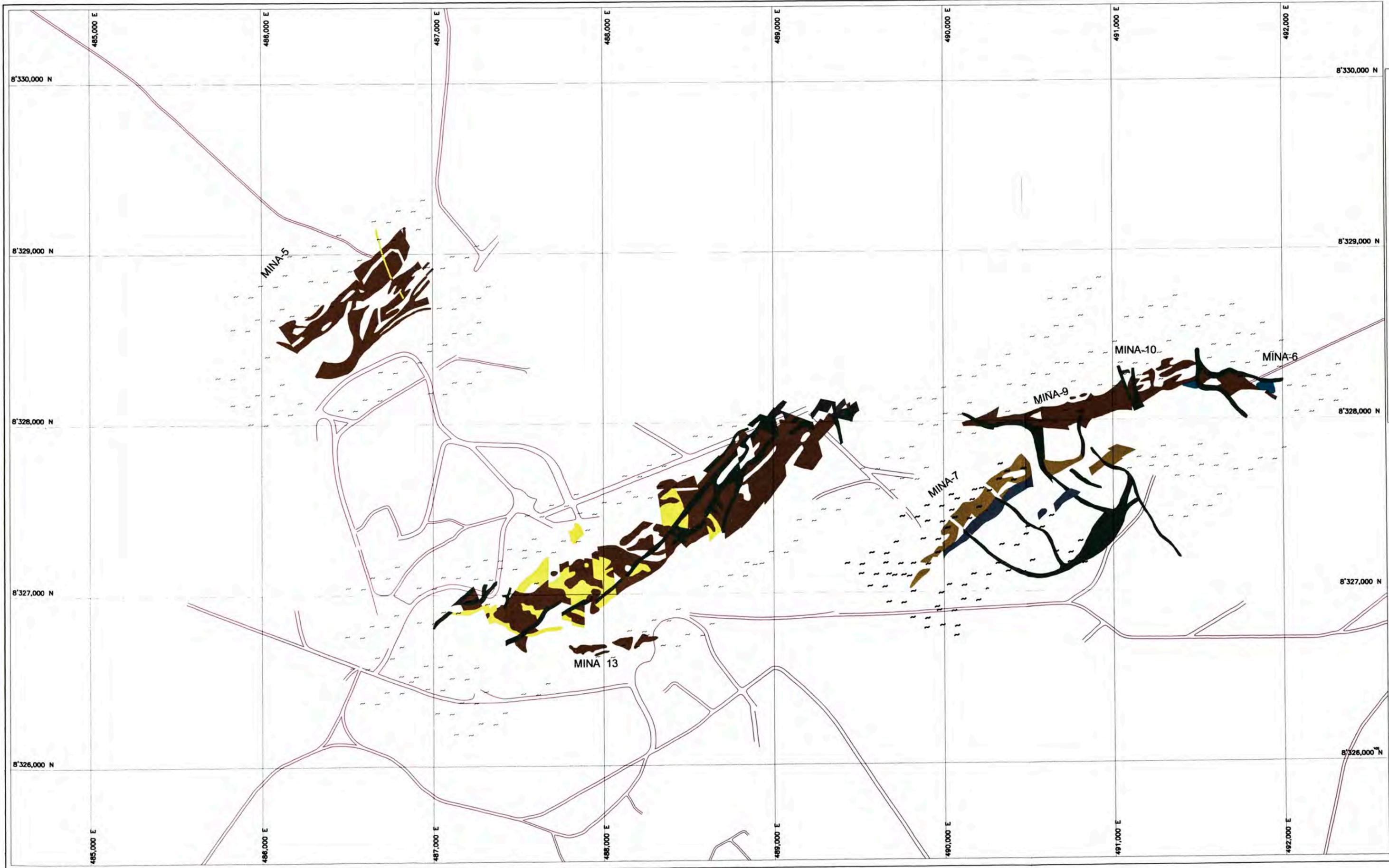
UBICACIÓN	Número de Análisis	Co		Ni	
		prom.	máx.	Prom.	máx.
MINA 3	752	520	19,440	246	73,810
MINA 6	133	251	960	170	800
MINA 7	248	209	1,640	125	500
Total Muestras: 1,133		Co (promedio): 420 ppm		Ni (promedio): 211 ppm	

5.4. ALTERACIONES HIDROTERMALES

En el Distrito Minero de Marcona, se pueden ubicar cinco tipos de alteración, determinadas a través del trabajo de microscopía de minerales translucidos (Ver FIG. 1.13).

5.4.1. Sericitización: Es un conjunto de minerales micáceos de grano fino (usualmente muscovita, con paragonita-illita). La sericita ocurre en un

PLANO 06

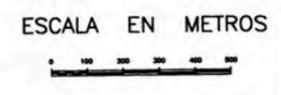
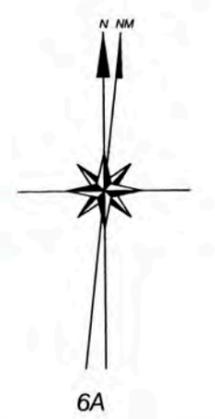


LEYENDA
ALTERACIONES HIDROTERMALES

- SERICITIZACION
- CLORITIZACION
- ACTINOLITIZACION
- ENSAMBLE: Mgt - Py - Cpy - Act - Epid
- ENSAMBLE: Mgt - Py - Act - sf - mc - apy

TIPOS DE METAMORFISMO

- GEOTERMAL (Cuarcito)
- - - REGIONAL: Filitas
- ~ ~ ~ TERMICO: Cornubianita



SHOUGANG HIERRO PERU	
FIG. 1.13: PLANO DE ALTERACIONES (SEGUN MUESTRAS MICROSCOPIA)	
FECHA AGOSTO 2,002	ESCALA 1:10 000
DISEÑADO C. SALAZAR A.	PROYECTADO G. SALAZAR A.

rango de 200° a 250 °C. Es una alteración típica de ambientes porfiríticos, y puede superponerse a otros tipos de alteración (Thompson, 1996).

Se presenta en las rocas dacítico-monzograníticas, asociada a minerales opacos de cristalización cúbica (¿magnetitas?). Ver Apéndice 1: Muestras A y B.

5.4.2. Cloritización: La clorita es un mineral hidrotermal común en muchos sistemas, particularmente en las zonas de alteración propilítica periférica ó como sobreimpresión retrógrada.

En Marcona se aprecia como los ferromagnesianos (biotitas y anfíboles) se alteran a cloritas.

5.4.3. Anfibolitización: Los piroxenos se alteran a anfíboles (generalmente actinolita-tremolita, con hornblenda accesoria), por hidratación.

5.4.4. Serpentinización: Los minerales ferrómagnesianos se alteran a serpentina. Se aprecia en Mina 3, en costras muy escasas.

5.4.5. Propilitización: Es la alteración de las rocas andesíticas por reemplazamiento alcalino a baja temperatura, con un ensamble mineralógico de cuarzo, clorita, epidota, feldespatos alcalinos y zeolitas, con piritita diseminada.

En el presente estudio (que comprende solo zonas de minado), no se pudo reconocer una zona de alteración más cercana al agente de mineralización (alteración potásica).

En la secuencia Río Grande recientemente se ha reconocido alteración potásica asociada a brechamiento y fracturas con hematitas y sulfuros tardíos (Hawkes, 2002).

Asimismo ha sido determinada la albitización reemplazando pervasivamente a los fenocristales de plagioclasa de la secuencia Río Grande, presentándose en tenues costras claras y desarrollados cerca de cuerpos de magnetita (Hawkes, 2002).

COMPARACIÓN CON OTROS YACIMIENTOS DE HIERRO

6.1. FRANJA CRETÁCICA CHILENA: La Franja Ferrífera Cretácica (FFC) se extiende en la dirección N-S, a lo largo de la cordillera de la costa entre los paralelos 26°-23° S, de casi 30 km de ancho y 600 km de largo. Esta provincia metalogenética constituye la principal fuente de mineral de hierro de Chile (ver Graf. 1.4). Los depósitos se emplazan mayoritariamente en las rocas volcánicas asignadas a la formación Bandurrias (Segerstrom, 1968), las cuales junto a intrusivos asociados, son considerados como parte de un sistema arco magmático-cuenca transarco, desarrollado en relación a un sistema de subducción activo durante el Cretácico Inferior.

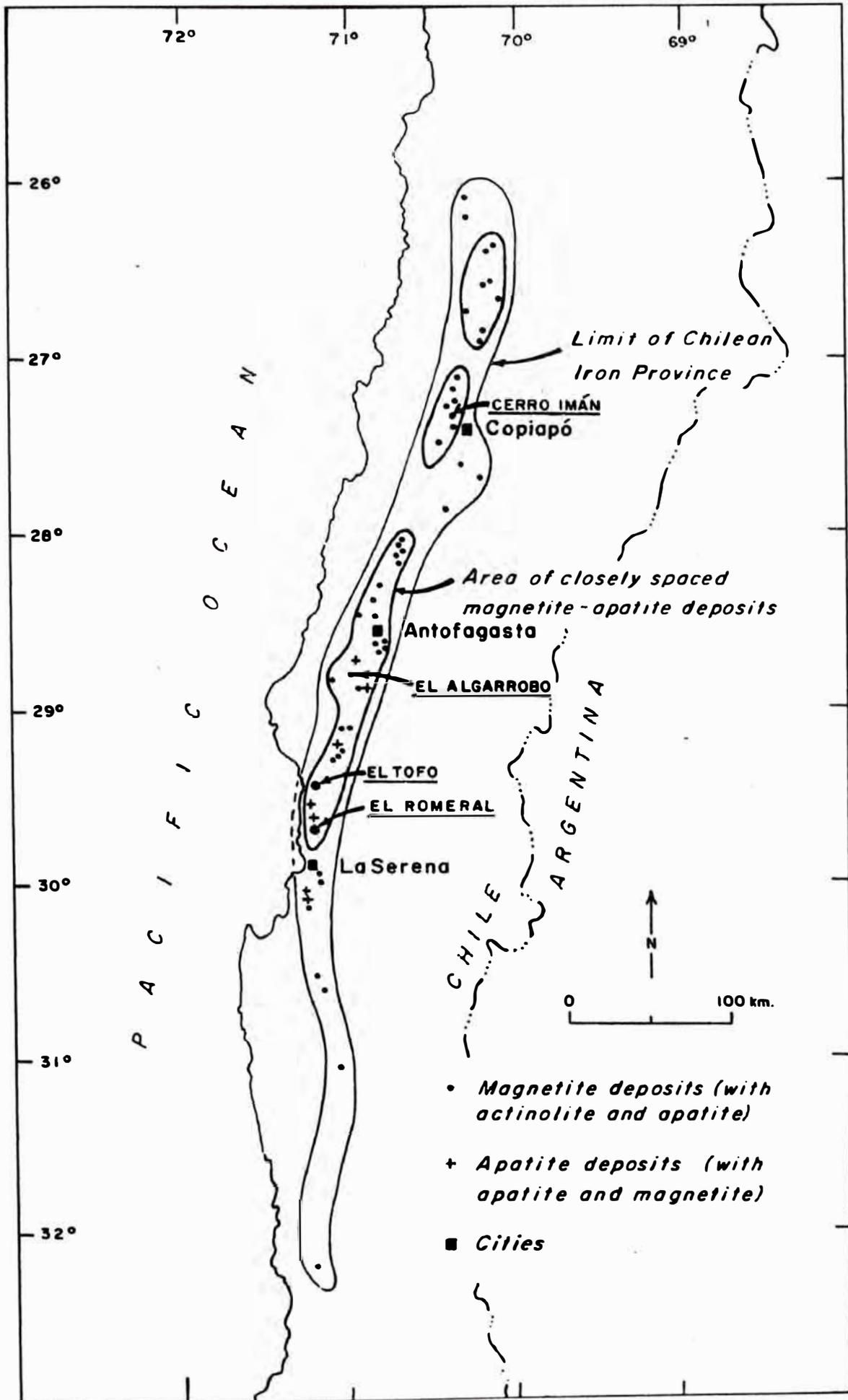
Los yacimientos de hierro de la FFC son clasificados, en base a la paragenésis de la mena, como del tipo magnetita-apatita (“tipo Kiruna”). Su génesis ha sido relacionada a los eventos magmáticos de las rocas que los hospedaban, sugiriéndose un origen netamente magmático (Geijer, 1931), o bien un origen deutérico-hidrotermal (Ruiz, 1943).

El modelo genético de los yacimientos de la FFC sería:

- 1).- Metasomatismo de Contacto (mineralogía típica: granates-piroxenos-anfiboles; recristalización de calcita. Roca caja: actinolitizada).
- 2).- Mineralización de Reemplazamiento: ensamble magnetita-pirita.
- 3).- Intrusión diorítica (diques y filones).
- 4).- Removilización del hierro de la magnetita: goethita-hematita.
- 5).- Alteración Hidrotermal: generalmente silíceo.

Podemos mencionar en esta secuencia a:

6.1.a. Yacimiento de El Romeral: Consiste en dos cuerpos mineralizados en los cuales la magnetita intercreció microscópicamente con la actinolita: el Cuerpo Principal es un lente de alto buzamiento de mineral magnetífero en una intersección entre dos lóbulos del plutón diorítico de El



GRAF. 1.4: FRANJA CRETACICA CHILENA (Principales Yacimientos)
 (Bookstrom, 1977. Economic Geology)

Romeral. El Cuerpo Norte consiste en cuerpos concordantes de magnetita en esquistos de biotita actinolitizada con foliación de alto buzamiento.

Su contacto es gradacional, y las rocas alteradas se encuentran dentro de y alrededor del cuerpo mineralizado y contienen magnetita, actinolita, plagioclasa, diopsida, clinozoisita, esfena, cloroapatito, escapolita, turmalina, clorita, pirita, calcita, micas, y arcillas.

Los esquistos, filitas, y cuarcitas de El Romeral probablemente son del Paleozoico Superior, considerando que los pórfidos de andesita-diorita, y los yacimientos de magnetita son del Cretácico Inferior (Bookstrom, 1977).

El emplazamiento y cristalización del plutón diorítico de El Romeral precedió a la deposición de la mena. Durante las fases tardías de cristalización de la diorita, la cuarcita y las ocoítas cercanas a los contactos de la diorita fueron alteradas por adiciones metasomáticas de plagioclasa, hornblenda, y diopsida. El hierro en la cuarcita con bandas de hematita se movilizó y redepositó como hematita. Los porfidoblastos de cordierita crecieron en la filita y en el esquisto, y la diopsida y oligoclasa se reemplazaron en la andesita (Bookstrom, 1977).

6.1.b. Yacimiento de El Algarrobo: Consta de tres cuerpos mineralizados (Algarrobo, Penoso y Amancay), encajados en rocas corneanas y meta-andesíticas. Hacia el E se presentan andesitas con intercalaciones de brechas volcánicas: formación Bandurrias. Tanto al E como al W se presentan rocas intrusivas (granitos y monzodioritas, granodiorita y diorita cuarcífera), las que están en contacto-falla con las rocas volcánicas. Las unidades anteriores son cortadas por diques ocoíticos y dacítica (González y Henríquez, 1991).

Todas las unidades presentan dirección N-S a NE, al igual que las fallas principales (Falla Occidental, Penoso, Totorita y Oriental). Asociadas a las fallas Oriental y Totorita se reconoce una franja de rocas cataclásticas asociadas a la Falla Occidental; en Amancay presenta milonitas de cuarzo.

Los cuerpos mineralizados presentan forma elipsoidal con magnetita como mena en los sectores Penoso y Algarrobo, y martita en el sector Amancay. La ganga corresponde a cuarzo, feldespatos potásicos, calcita, actinolita, clorita, apatita y piritita (González y Henríquez, 1991).

6.1.c. Yacimiento de Cerro Negro Norte (Copiapó): se encuentra encajada en rocas andesíticas, que fueron afectadas por una intensa alteración hidrotermal. Esta dio origen en las zonas adyacentes a los cuerpos mineralizados en brechas hidrotermales, obliteración de texturas primarias y reemplazamiento de la mineralogía original. Las rocas volcánicas alteradas presentan una marcada zonación mineralógica y geoquímica en torno a los cuerpos de mineral que son consecuencia de los gradientes de temperatura y de la composición de los fluidos hidrotermales originados durante el emplazamiento de los cuerpos de magnetita-apatita. La zona interna corresponde a rocas actinolizadas, rodeadas por rocas silicificadas y con distintos grados de turmalinización. Relictos de rocas albitizadas se encuentran cortados por vetillas de cuarzo-turmalina. Posteriormente se generaron las rocas silíceas +/- turmalina que constituyen el halo más externo (Vivallo, Espinoza: 1995).

6.1.d. Yacimiento El Tofo (Coquimbo): Su roca caja es metavolcanita, que está intruída por apófisis y cuerpos batolíticos en una extensa franja mineralizada. La zona se encuentra intensamente alterada y metamorfizada, fenómeno ligado a un tectonismo bastante intenso que se refleja en diversos sistemas de fracturas, prevaleciendo estructuras de tendencia N-S con una importante sobreimposición de estructuras NW que controlan a la mineralización y la presencia de filones (M. Rojo, 1991). La mineralización de Fe presente está compuesta por un núcleo de alta ley, con valores superiores a 64% y bajos contenidos de P, S, Ti y SiO₂ en una aureola con mineralización de magnetita compacta de aspecto sacaroide, en vetillas o núcleos irregulares y en finas diseminaciones (M. Rojo, 1991).

6.2. INTERPRETACIÓN REGIONAL DEL Fe EN EL MARGEN CONTINENTAL PERU-CHILE

Esta serie de yacimientos de hierro presentan muchos rasgos en común con el yacimiento de Marcona en materia de ensambles mineralógicos, y presentan una disposición petrotectónica similar, ya que estaría asociada a un ambiente de fosas marinas como el caso chileno, de tectónica en arco de islas. Los skarns de hierro son un rasgo muy común de la Cuenca del Pacífico, siendo los yacimientos de magnetita-anfibolita una característica de la Cordillera Andina (Park, 1972).

Los yacimientos de la FCC fueron formados en una cuenca ensiálica marginal abortada (en ambiente del borde continental). Rocas graníticas calcoalcalinas de composición intermedia y volcánicos máficos están asociadas a estos depósitos, que fueron formados durante un periodo de distensión de la corteza terrestre (125-110 M.A.) con una velocidad de convergencia baja y uniforme de las placas (5cm/año). Los volcánicos asociados a la mineralización son rocas ferríferas (9-10 % FeO como titanomagnetita), y los mismos yacimientos ocurren ocasionalmente con intrusivos asociados (9.76 % FeO en el Romeral: Bookstrom, 1977), donde los volcánicos e intrusivos asociados son piroxeníferos. Todos los yacimientos están enlazados por fallas longitudinales NNE (Sistema de Fallas Atacama), y la mineralización ocurre en estrías ligadas a dichas fallas y desarrolladas por mecanismos de subsidencia cauldron. La mineralización consiste de magnetita, actinolita, apatito, pirita y calcopirita y también trazas de uraninita asociada a clorita, cobaltita, danaita, arsenopirita y molibdenita. Los cuerpos minerales son formas acuñadas elongadas paralelamente a la faja de mineralización NNE. Los yacimientos fueron formados a temperaturas entre 550° - 475° C, y profundidades de 1.5 – 3 km. Condiciones distensivas permitieron al agua freática dentro del sistema generar actinolitización y segregación de soluciones ferríferas ya sea de magmas o de rocas solidificadas (El Algarrobo). La situación distensiva también generó condiciones oxidantes permitieron la pérdida de azufre

desde el sistema como SO_2 , lo cual es demostrado por las bajas cantidades de sulfuros presentes en estos depósitos.

Las alteraciones sericítica y clorítica de los yacimientos de Chile y Perú serían posteriores a la mineralización.

Existe claramente una relación entre los intrusivos y volcánicos de todos estos depósitos, por lo que puede encuadrarse las rocas magmáticas de Chile y las rocas volcánicas de Marcona, como parte de un sistema de yacimientos de Ox-Fe-Cu en la Cuenca del Pacífico Sur.

Una característica común a todos los yacimientos de Ox-Fe - Cu - Au es la ocurrencia de ocoítas desde Ica (14°S) hasta Santiago de Chile, las cuales serían guías tectónicas regionales de cuencas marginales ensiálicas en zonas de corteza gruesa, y de ambientes de yacimientos de Cu tipo manto en Cuencas Intracontinentales (Injoque 1999, 2000). De sur a norte la corteza continental se hace más delgada, con rupturas cada vez más progresivas, y presentando un metamorfismo regional tipo carga, con gradientes geotermales moderadas ($20^\circ - 30^\circ \text{C/km}$).

Una diferencia entre las litologías de los depósitos de hierro de Perú con los de Chile es que en nuestro caso tienen un contenido menor de minerales opacos (en el presente informe menos de 3 % en promedio). Un magmatismo piroxenífero fue decisivo en la formación de los yacimientos de la FFC y jugó un importante rol en Acarí, pero en Marcona rocas anfibolíticas están asociadas al yacimiento.

Con respecto a la mineralogía de los elementos metálicos, las especies principales son las mismas: magnetita, calcopirita, pirita y pirrotita. El oro está presente en Marcona en ppb como inclusiones en calcopirita, pero en la FFC no se reporta; el cobalto es más abundante en Chile, así como el uranio solo ha sido reportado allá. La profundidad de formación de los yacimientos de la FFC de Chile ha sido estimada entre 1.5 a 3 km y ese casi es el mismo de Marcona, que es de 2 km (Injoque, 1985).

DISCUSION SOBRE LA GENESIS DEL YACIMIENTO DE MARCONA

Se puede inferir que la ocurrencia del mineral en Marcona obedece a una fuente hidrotermal a tardimagmática, asociada inicialmente a hipabisales shoshoníticos Río Grande y posteriormente a eventos monzograníticos y ocofíticos, que generó en la roca caja un proceso metasomático (del tipo skarn). Las soluciones de fierro causantes de la mineralización, utilizando como vías de circulación sistemas de grietas y horizontes de estratificación fracturados, actuaron sobre rocas solubles (dolomía y sedimentos calcáreos de la Fm. Marcona), recristalizándolos metasomáticamente.

La formación Río Grande o Cerritos recibió la mineralización muy semejante a la de Marcona, en donde los horizontes favorables no fueron los dolomíticos, sino las areniscas feldespáticas calcáreas. El reemplazamiento no fue total y muchas áreas de material no reemplazado están presentes en las manchas. No fueron fracturadas tan intensamente como las rocas fisibles de Marcona, por lo que los pulsos hidrotermales no pudieron proceder con la misma facilidad. Las soluciones mineralizantes sin embargo, pudieron diseminarse y emigrar mucho mas allá de sus fuentes. Esto explicaría la extensa zona de mineralización de baja ley que existe en las rocas de la Formación Rió Grande.

La edad de mineralización se determino en la separación de sericitas y flogopitas asociadas a la mineralización de hierro en la formación Marcona, y se efectuaron determinaciones radiométricas K-Ar (Injoque, 1985):

Flogopita (% K: 7.38) : 160 +/- 4 Ma.

Sericita (% K: 8.09) : 154 +/- 4 Ma.

Estas edades corresponden al Jurásico Superior (Oxfordiano a Kimmeridgiano), e indican una relación de la mineralización con los

estadios finales del vulcanismo Río Grande no pudiéndose descartar sin embargo, la continuidad de los pulsos hidrotermales en una etapa posterior.

Para el suscrito se trataría de un **Skarn Cálxico atípico**, en la cual la roca caja de la mineralización fue la dolomía de las formaciones Marcona, la cual aflora en casi toda la región circundante (ver FIG 1.14).

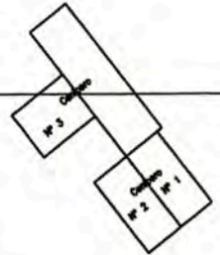
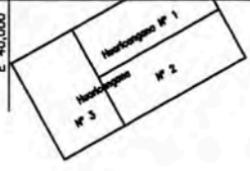
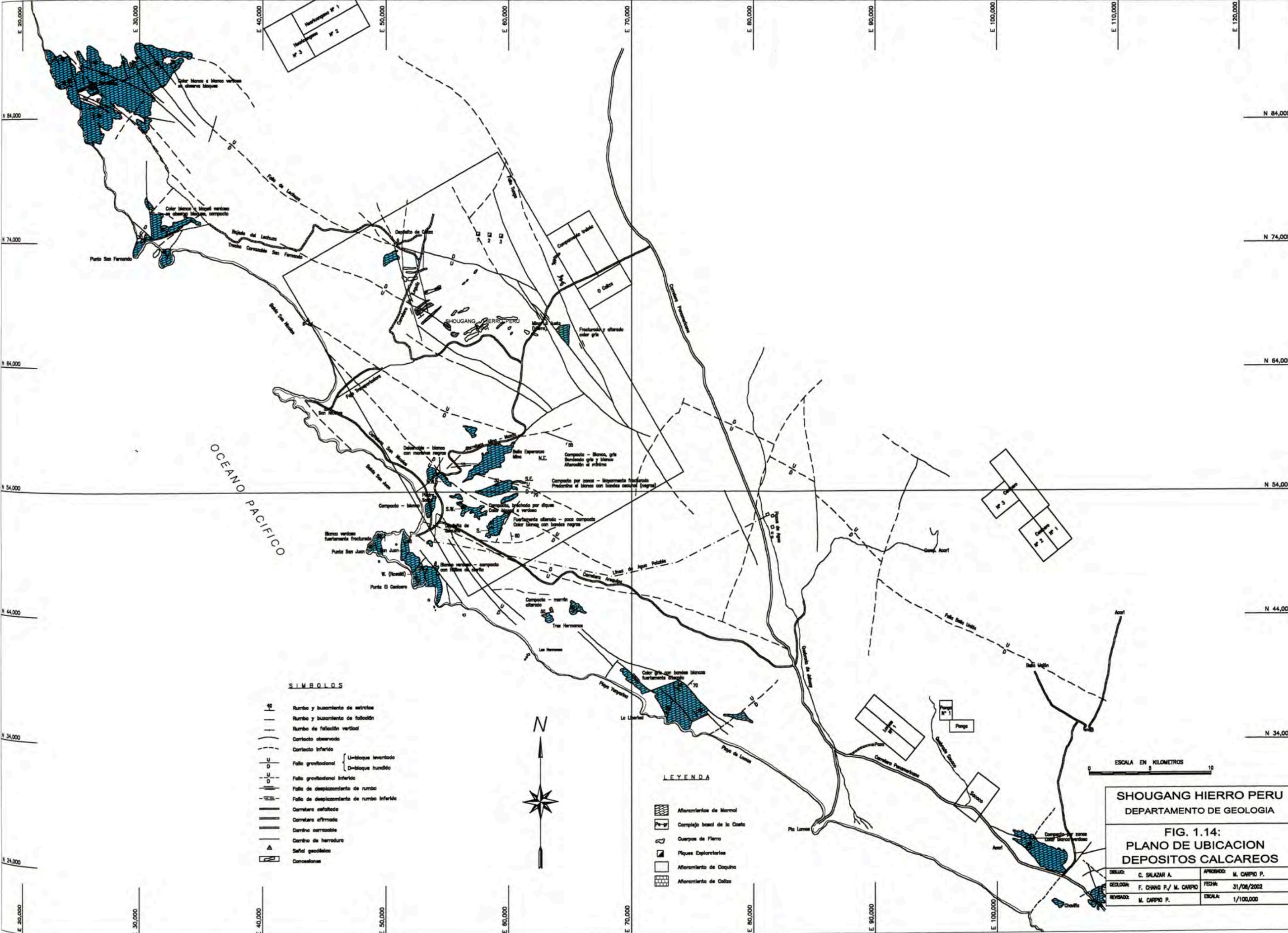
Esta aseveración está basada en las siguientes observaciones:

1).- Los Skarns cálcicos están asociados a plutones básicos en un ambiente tectónico de arco de islas, con el rasgo distintivo de su roca caja calcárea. En el caso de Marcona es dolomítica, que inicialmente puede sugerirnos una composición más magnésica, en la cual los principales minerales de skarn, como la diopsida, periclasa, forsterita, flogopita, talco y serpentina contienen poco hierro, por lo que el hierro disponible en la solución hidrotermal tiende a formar magnetita antes que andradita o hedenbergita (Meinert, 1992). En Marcona se presenta la actinolita, la hornblenda y la clorita que predominan en la mineralogía, lo que nos indica una composición cálcica (mayor proporción con respecto a la magnésica).

2).- Las rocas intrusivas asociadas a los skarn cálcicos son de composición básica, lo que se presenta en los hipabisales del Jurásico Superior de composición shoshonítica (traquiandesitas-aplosienitas), que se manifiestan claramente en los diques básicos del Horizonte E-Grid. Los hipabisales monzograníticos ocurrieron en las etapas finales.

3).- El ensamble magnetita-calcopirita-cobaltita-pirrotita se presenta en el Nivel E-Grid en Marcona se ajustan más a la composición de un Skarn cálcico de Fe (Cu, Co, Au). En el Nivel Mina 7 se presenta el ensamble magnetita-pirita-calcopirita-esfalerita-pirrotita (ver Gráfico 1.5).

PLANO 07



- SÍMBOLOS**
- Rumbo y buzamiento de estratos
 - Rumbo y buzamiento de foliación
 - Rumbo de fallación vertical
 - Contacto observado
 - Contacto inferido
 - Falda gravitacional { U=bloque levantado, D=bloque hundido
 - Falda gravitacional inferida
 - Falda de desplazamiento de rumbo
 - Falda de desplazamiento de rumbo inferida
 - Carretera asfaltada
 - Carretera afirmada
 - Camino carrozable
 - Cambio de herradura
 - Señal geodética
 - Concesiones



LEYENDA

- Almacenamiento de Marmal
- Complejo base de la Costa
- Cuerpos de Hierro
- Piques Exploratorios
- Almacenamiento de Coquina
- Almacenamiento de Caliche

ESCALA EN KILOMETROS
0 5 10

SHOUGANG HIERRO PERU DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
FIG. 1.14: PLANO DE UBICACION DEPOSITOS CALCAREOS	
DELLAO: C. SALAZAR A.	APROBADO: M. CARPIO P.
GEOLOGA: F. CHANG P./ M. CARPIO	FECHA: 31/08/2002
REVISADO: M. CARPIO P.	ESCALA: 1/100,000

4).- Las etapas mineralógicas estarían compuesta por:

Fase Prograda: forsterita, clinopiroxeno, escapolita, epidota, illmenita y magnetita.

Fase Retrograda: anfíboles (actinolita-tremolita), flogopita, clorita, calcita, cuarzo, turmalina, zeolita, sericita y talco.

Esta composición encajaría mas dentro de la mineralogía cálcica que a la magnésica (Einaudi, 1981; Ray, 1991).

5).- Marcona presenta en las etapas iniciales de metamorfismo termal un patrón de zonación paralela a la estratigrafía, cristalizando piroxeno-hornblenda hacia la base de secuencia estratigráfica (Manto Mina 7) en tanto que tremolita-actinolita, sericita, biotita y talco, ocurren hacia el tope (Manto E-Grid). Esta distribución mineral sería similar a la de los campos geotermales activos (Bird, 1984). Por esta razón el patrón de alteraciones se considera originado en un antiguo campo geotermal volcánico y a este yacimiento se le denomina skarn geotermal (Injoque, 1985).

6).- La distribución estratigráfica y vertical de los ensambles metamórficos, los cuales se centran alrededor de la zona mineralizada, sugieren que el proceso de mineralización fue de carácter focalizado y controlado por gradientes termales. Por otro lado, la ausencia de relación entre los ensambles metamórficos y los contactos con intrusivos, y paradójicamente la fuerte alteración de estos cuando se encuentran dentro del area mineralizada, indican que el depósito no es un Skarn típico (Injoque, 1987).

7).- Esta última aseveración podría explicarnos los cambios mineralógicos de los acápites citados arriba: primero un pulso hidrotermal shoshonítico mineralizo el yacimiento (Horizonte E-Grid, principalmente), al

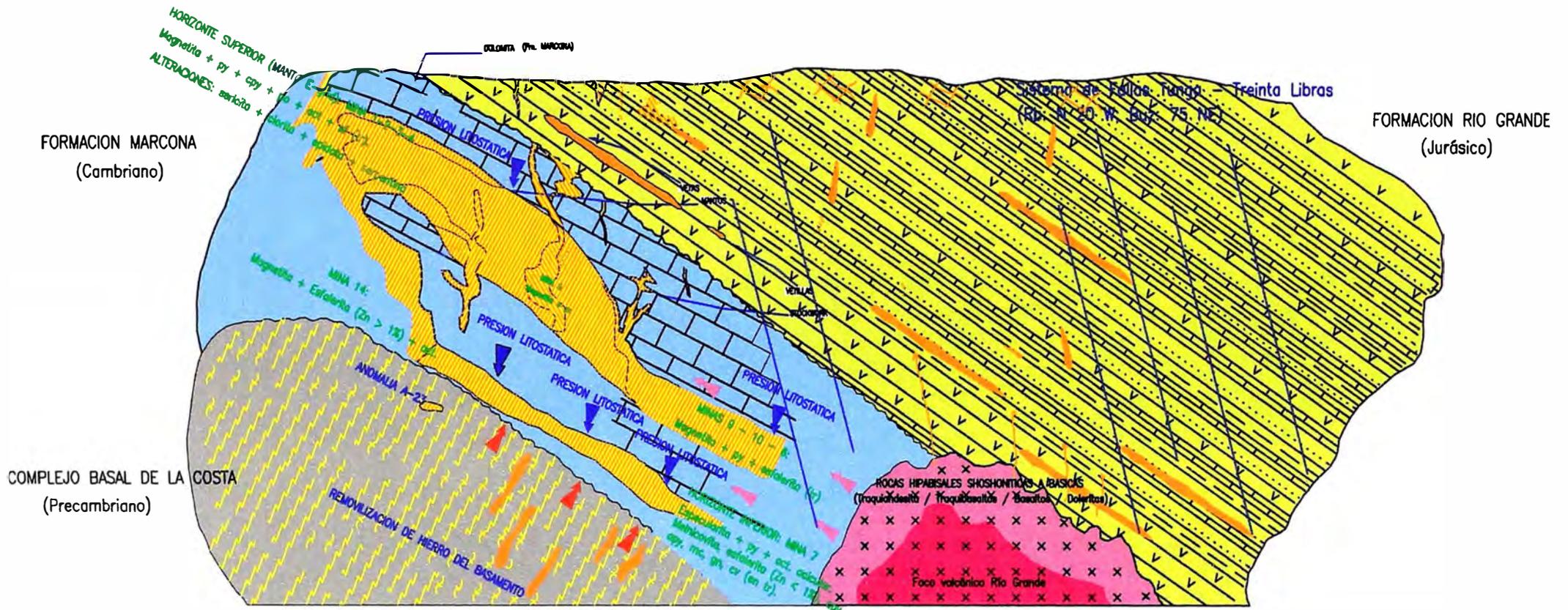
cual se sobreimpuso un posterior pulso monzogranítico. Los diques ocoíticos le dieron al yacimiento la alteración hidrotermal tardía.

8).- La ocurrencia de estos yacimientos es coincidente con la presencia de ocoitas (diques Jahuay: Ver FIG: 1.15), con gradientes geotermales de 20-30° C/ km, metamorfismo de presión litostática en facies de esquistos verdes a zeolitas. Es notable que hacia el norte (Cuenca Huarmey) en ausencia de ocoitas, con asociación a un metamorfismo de carácter episódico e intrusión del manto en la corteza, la cuenca Huarmey-Cañete experimento una transgresión (Aguirre, 1989) y produjo yacimientos del tipo VMS (Injoque 1999,2000) marcando el yacimiento de Raúl-Condestable la transición entre ambas cuencas.

9).- Es evidente que los controles que han guiado la mineralización son litológicos y estructurales. El control litológico lo han formado rocas calcáreas porosas y clásticas (calizas, calizas-dolomíticas en la formación Marcona y areniscas feldespáticas calcáreas en la formación Río Grande). El control estructural lo han conformado inicialmente los sistemas de fallas Pista y después los sistemas de fallas Treinta Libras –Tunga, que contribuyo considerablemente en la formación de fracturas y puntos de debilidad que permitieron la preparación de las rocas y la apertura de canales para las soluciones mineralizantes.

10).- Se puede considerar a la mineralización asociada a un sistema de arco de islas (Stanton, 1978), considerando que las segregaciones comunes de mineral encontradas en asociación al magmatismo calcoalcalino son una consecuencia de la removilización de metales (Fe, Zn, Cu y Mn) desde sistemas magmáticos tardíos hasta sistemas hidrotermales (estos elementos se separan del magma para generar mineralización).

GRAFICO 1.5: MODELO GEOLOGICO-GENETICO PRELIMINAR DEL YACIMIENTO DE MARCONA



LEYENDA

LITOLOGIA

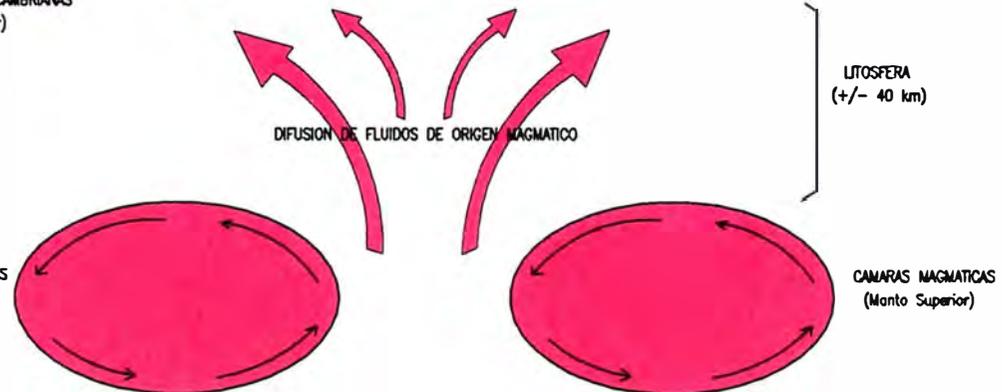
-  Fm. Río Grande (Jurásico)
-  Fm. Marcona (Cambriano)
-  Complejo Basal de la Costa (Precambriano)
-  Rocas Hipabísales Shoshoníticas a Básicas
-  Foco volcánico Río Grande

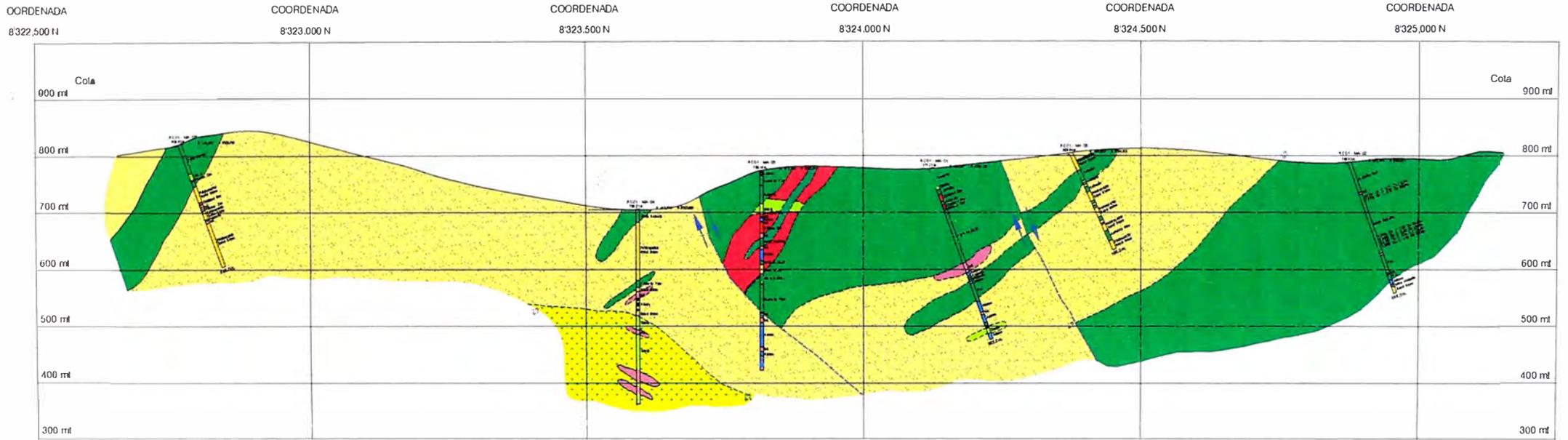
MINERALIZACION

-  Venas
-  Venitas Polidireccionales tipo Stockwork
-  Reemplazamiento íctrico Fe
-  Mantos Ferríferos

FORMACIONES BANDEADAS PRECAMBRIANAS (Cerro Tarpu y Mirador)

CAMARAS MAGMATICAS (Manto Superior)





SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.
GEOLOGIA MINA

FIG. 1.15: INTERPRETACION DE PERFORACIONES
EN PEQUEÑOS MINEROS (Aire Reversa-RTZ)
SECCION 493500 E

DIGIT : G.S.A REV : C.S.A ESC 1:5000 MARZO 2002

ROCAS SEDIMENTARIAS	
	ARENISCA
	CALIZA

(ROCAS IGNEAS)	
	OCOTITAS ANDESITICAS JAHUAY
	DACITA
	DIQUES SHOSHONITICOS RIO GRANDE

MINERALIZACION	
	CUERPO MINERAL

8. CONCLUSIONES

a).- El yacimiento ferrífero de Marcona corresponde al tipo de Skarn cálcico alojado principalmente en la secuencia metasedimentaria de la formación Marcona (Cambriana) y en los volcánicos de la formación Río Grande (Jurásico medio a superior).

b).- La mineralización de Marcona estaría vinculada al emplazamiento de una fuente tardimagmática a hidrotermal, cuyos primeros estadios estuvieron ligados al volcanismo shoshonítico Río Grande, después del cual tuvo lugar una actividad de composición monzogranítica. Estos sucesivos pulsos inyectaron fluidos mineralizantes a las formaciones cambrianas y jurásicas.

c).- El reemplazamiento metasomático fue más intenso en la formación Marcona con respecto a Río Grande, debido a que los horizontes dolomíticos de aquella al reaccionar con los fluidos hidrotermales generaron un intercambio iónico más favorable al emplazamiento del hierro que las areniscas feldespáticas y derrames básicos de la formación Río Grande.

d).- La edad de mineralización de Marcona dataría del Jurásico Superior (160 a 154 Ma, según Injoque, 1988), pero su génesis puede llegar al Cretácico Inferior. Esto se debería a que los sucesivos pulsos hidrotermales abarcarían hasta dicha edad.

e).- Podemos afirmar que en los mantos principales de la mina, el que encajaría plenamente en la definición de Skarn Calcico sería el del Horizonte E-Grid (asociado más al vulcanismo Río Grande), mientras que el Manto Mina 7 se le podría inferir una afinidad más magnésica.

f).- Los minerales económicos están sujetos a una intensa recristalización y no a deformación por esfuerzos (formas de macla de calcopirita y de la pirrotita y su vinculación a zonas de fractura y texturas cataclásticas (Porras, 1974). El hábito masivo del mineral y sus texturas de relleno y de reemplazamiento avalarían esta afirmación.

g).- Las alteraciones hidrotermales determinadas en el presente estudio corresponden a sericitización y cloritización y corresponden a partes distales de la fuente hidrotermal.

h).- Los canales de mineralización están asociada a las fallas Tunga y 30 Libras (origen fisural)

i).- El estudio de microscopia de opacos en la Mina 7 nos permitió determinar que para la calcopirita se observan 2 generaciones (en exsolución e intersticial), y para la pirita se aprecian tanto la especie típica como la variedad melnicovita (bisulfuro de hierro), esto se debería a la relación de algunos granos o fracturas dentro de las gangas de calcopirita (Muestra N° 13). Por otra parte es resaltante la íntima relación que existe entre los intersticios de magnetita con la cristalización de la melnicovita. La presencia de arsenopirita nos indica una fase mineralógica de más alta temperatura, y esta solo se presenta en inclusiones.

j).- Los elementos traza comunes son el cobalto asociado a la pirita y los minerales de níquel (pentlandita) asociado a pirrotita; el vanadio se presenta en magnetita.

k).- Se puede considerar que los yacimientos ferríferos del sur del Perú tienen una relación directa entre sí, debida al alineamiento con un ambiente de fosas, presentando como control tectónico el sistema de arco de islas.

9. RECOMENDACIONES

a).- A fin de determinar con precisión el carácter cálcico y/o magnésico de la roca caja debería de llevarse a cabo un estudio de ratios Ca/Mg (a fin de determinar el rango de caliza-dolomita de la roca encajonante). Serían necesarios también estudios espectrométricos de emisión, difractogramas de rayos X y análisis químicos cuantitativos a nivel de las zonas de minado.

b).- La mineralización en la formación Marcona esta muy relacionada con la formación Río Grande, por lo que debería de llevarse un programa de exploraciones (perforaciones diamantinas/aire reversa) en el contacto de ambas secuencias.

c).- Un análisis de geoquímica del mineral de la formación Río Grande para determinar la distribución de Cobalto y Niquel sería muy importante de efectuarse, a fin de establecer su relación con los derrames básicos del Jurásico Superior y determinar su importancia económica.

d).- Determinaciones isotópicas de S darían información adicional sobre el proceso de mineralización.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- ADRIAN, EUGEN** (1955): Marcona rock specimens (*Memorandums internos Marcona Mining Company*).
- ATCHLEY, FRANK WILLIAM** (1956): Geology of the Marcona Iron Deposits. (Ph D. Thesis, Stanford University).
- BELLIDO BRAVO, ELEODORO** (1974): Depósitos de hierro en el Perú. (*Geología Económica* N° 3. Servicio de Geología y Minería).
- BOOKSTROM, ARTHUR** (1977): The magnetite deposits of El Romeral, Chile (*Economic Geology*. Vol. N° 72, pp. 1101-1130).
- CALDAS VIDAL, JULIO** (1978): Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca (Hojas 31-m, 31-n, 32n. INGEMMET).
- CALDAS, JULIO; MONTOYA, MANUEL; GARCIA, WILFREDO** (1993): Geología de los cuadrángulos de Lomitas, Palpa, Nazca y Puquio (Boletín N°. 53, Serie A: Carta Geológica Nacional, INGEMMET).
- CARLIER, GABRIEL** (1985): Las rocas precarboníferas del area de San Juan de Marcona (Departamento de Ica) y de la Quebrada Jahuay (Departamento de Arequipa), Sur Perú: Metamorfismo y Tectónica (Trabajo sin editar, INGEMMET).
- COBBING, E.J.; PITCHER, W.S.; TAYLOR, W.P.** (1977): Segments and super-units in the Coastal Batholith of Peru (*Journal Geology, Bulletin*. n. 85. pp. 625-631).
- DUNIN-BORKOWSKI, ESTANISLAO** (1978): Los yacimientos de oxido de hierro en los dptos. de Cusco y Apurímac (*14ª Convención Ingenieros de Minas*. Trabajos Técnicos. Tomo 2. pp. 283-316).
- EINAUDI, M.; MEINERT, L.; NEWBERRY, R.** (1981): Skarn Deposits (*Economic Geology 75th Anniversary Volume*. pp. 317-391).
- GONZALES, S.; HENRIQUEZ, F.** (1991): Geología y geoquímica de las rocas del yacimiento de hierro El Algarrobo, región de Atacama, Chile. (*6^{to} Congreso Geológico Chileno*. Resúmenes Ampliados. p.403-405).
- HAWCKES, NICHOLAS; CLARK, ALAN; MOODY, TIMOTHY** (2002): Marcona and Pampa de Pongo: Giant Mesozoic Fe-(Cu,Au) deposits in the Peruvian Coastal Belt (EN: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & related deposits: a global perspective*. Vol.2.pp.115-130).
- INJOQUE ESPINOZA, JORGE** (1985): Geochemistry of the Cu-Fe-amphibole Skarn deposits of the peruvian central coast (Ph D. Thesis, Nottingham University, UK).
- INJOQUE ESPINOZA, JORGE** (1985): Sobre la presencia de Co, Ni , Ag y Au en los yacimientos de Cobre y hierro en la Costa Centro-Sur Peruana (*Minería*, n. 191. pp. 41-48).
- INJOQUE ESPINOZA, JORGE; ROMERO, LIDIA** (1986): Estromatolitos en la Formación San Juan, San Juan de Marcona – Evidencia de estructuras fósiles precámbricas en el Perú (*De Re Metallica*. 3 (11): pp. 4-5).

- INJOQUE ESPINOZA, JORGE; ATKIN, B.; HARVEY, P.; SNELLING, N.** (1988): Mineralogía, geoquímica y geocronología del Skarn geotermal de hierro de Marcona (*Boletín de la Sociedad geológica del Perú*. Vol. 78. pp. 65-80).
- INJOQUE ESPINOZA, J.; VIDAL COBIAN, C.; SIDDER, G.; MUKASA, S.** (1990): Amphibolite Cu-Fe Skarn seposits in the central coast of Perú (*Economic Geology*. Vol. 85. pp. 1447-1461).
- INJOQUE ESPINOZA, J.** (2001): Segmentación de los gabros y dioritas tempranos del Batolito de la Costa (Superunidades Patap y Pisco), la fase deformativa Mochica y mineralización asociadas, como parte de la segmentación cretácea de la costa peruana. (*Boletín de la Sociedad geológica del Perú*. Vol. 92. pp. 7-21).
- INJOQUE ESPINOZA, J.** (2002): Yacimientos de Oxido Fe-Cu-Au en el Perú, una visión integral (*XI Congreso Peruano de Geología*, Resumen por la Sociedad geológica del Perú. p. 91).
- MACKENZIE, W.S.; DONALDSON, C.H.; GUILFORD, C.** (1996): Atlas de rocas ígneas y sus texturas (Editorial Masson).
- MEINERT, LARRY** (1998): Skarns and skarn deposit (Paper of Washington University).
- NYSTROM, JAN; HENRIQUEZ, F.** (1994): Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry (*Economic Geology*. Vol. 89. pp. 820-839).
- PORRAS GRANADINO, CARLOS** (1974): Estudio mineralógico y propiedades de fábrica de la mena de hierro del distrito minero de Marcona (Tesis UNMSM).
- RAY, GERALD E.; WEBSTER, I.C.** (1991): An overview of Skarn Deposits (EN: *Ore Deposits, Tectonics and metallogeny in the Canadian Cordillera*. III Series: British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources Publication. n.4. pp. 213-252).
- RUEGG, WERNER** (1961): Hallazgo y posición estratigráfico-tectónica del Titoniano en la costa del sur del Perú (*Boletín de la Sociedad geológica del Perú*. Vol. 36. pp. 203-208).
- THOMPSON, A.J.B.; THOMPSON, J.H.F.** (1996): Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals (Geological Association of Canada Mineral Deposits Division).
- VICENTE, JEAN CLAUDE; ZULOAGA, ANDRES; HURE, FABIEN** (2002): Características de la Extensión Eo-Terciaria en el sector costero de Palpa (Provincia de Ica): Enseñanzas del Corte del Curso Inferior del Río Grande (Resumen Extendido. XI Congreso de Geología).
- VIVALLO, WALDO; ESPINOZA, SERGIO; HENRIQUEZ, FERNANDO** (1995): Metasomatismo y alteración hidrotermal en el distrito ferrífero Cerro Negro Norte, Copiapó, Chile (*Revista geológica de Chile*. Vol. 22, n. 1. pp. 75-88).
- YARDLEY, B.W.; MACKENZIE, W.S.; GUILFORD, C.** (1997): Atlas de rocas metamórficas y sus texturas (Editorial Masson).

APENDICE 1:

DESCRIPCIONES

SECCIONES DELGADAS Y PULIDAS

MUESTRA A



Procedencia: MARCONA – MINA 3 SUR
Denominación: - MONZOGRANITO

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: A

Procedencia: MARCONA – MINA 3 SUR

DENOMINACIÓN: DACITA (Campo) – MONZOGRANITO (Microscopia)

Roca Original Probable: MONZOGRANITO (¿Post-mineral?).

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca de textura porfirítica de fenos de grano medio con matriz gris verdusca (textura equigranular). Feldespatos ligeramente alterados a clay, con vetillas de magnetita y py, diseminación de hm, mgt y py muy finas.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, FLPs-K, Qz.

Accesorios: ANFs, Zircón, Apatito.

Secundarios hipógenos: Qz, calcita, (en venillas). Clorita y sericita. Opacos (mgt en vnlls), py.

Secundarios supérgenos: hm (en vnlls).

TEXTURAS:

* Porfirítica, Equigranular, Hipidiomórfica.

ALTERACIONES:

* SERICITIZACION: FLPs-K ----- Biotita, Sericita (Intensidad moderada).

Opacos en venillas (mgt)

* Venillas finas de Qz que corta a la roca.

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	35
FLPs-K	30
Qz	20-25
Bt – ANFs	5-10
Opacos	5
Otros	5

MUESTRA A



200 μ



Cristales euhedrales de ANFs (hornblenda)
Biotitización : ANFs \rightarrow Bt
(N. X_S)

Biotitización : ANFs \rightarrow Bt
Relleno de sílice en vetillas
(N. X_S)

MUESTRA B



Procedencia: MARCONA – MINA 3 NORTE
Denominación: DACITA Pre-Mineral

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: B

Procedencia: MARCONA – MINA 3 NORTE

DENOMINACIÓN: DACITA (Campo) – **DACITA** (Microscopia)

Roca Original Probable: DACITA (Pre-Mineral).

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca de textura porfiro-fanerítica de fenos de grano grueso con matriz de grano medio de color rosácea. Feldespatos alterados con minerales de mgt, hm.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, FLPs-K, Qz.

Accesorios: ANFs (actinolita, hornblenda), Zircón, Clorita, PXs.

Secundarios hipógenos: Qz rellenando intersticios. Clorita y sericita. Opacos (reellenos de oxs de Fe en intersticios).

Secundarios supérgenos: Hm (en vnlls).

TEXTURAS:

* Porfírica: Matriz de Feldespatos y Qz.

* Intersticial.

- Macla de Carlsbald: Cristales de Ortosa.

- Macla Polisintética: Cristales de Plagioclasa.

ALTERACIONES:

* SERICITACION : FLPs-K ----- Sericita.

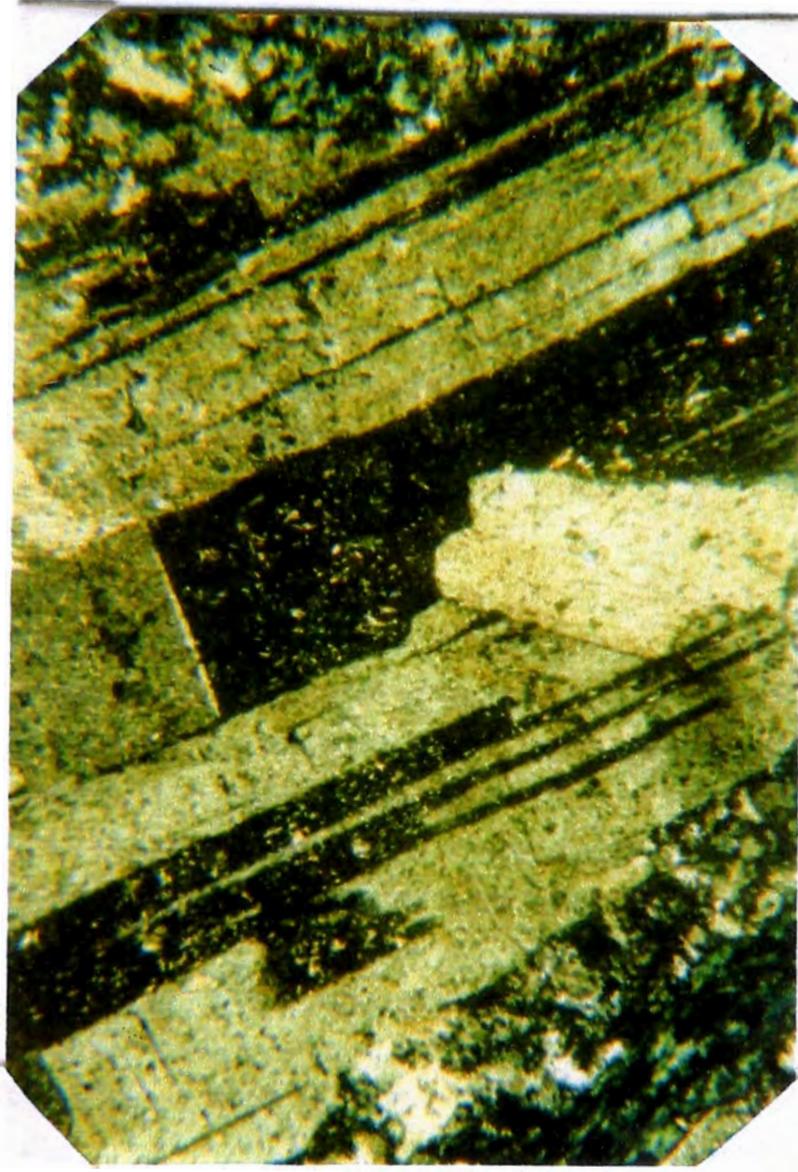
* CLORITIZACION: ANFs ----- Clorita

PXs ----- Clorita

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	40
Qz	20-25
FLPs-K	20-25
ANFs	5
Opacos	3
Otros	7

MUESTRA B



PLG maclada (del tipo polisintético)
Incipiente sericitización
(N.XS)

MUESTRA C



Procedencia: MARCONA – MINA 3 SUR
Denominación: GRANODIORITA Post-Mineral

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: C

Procedencia: MARCONA – MINA 5

DENOMINACIÓN: GRANODIORITA (Campo) – GRANODIORITA (Microscopia)

Roca Original Probable: **DIQUE GRANODIORITICO Post-Mineral**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca fanerítica de grano medio a fino con pasta rosácea. Presencia de hm y mgt. py finamente disseminada.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, Qz, FLPs-K.

Accesorios: ANFs, Pxs, Zircón, Biotita.

Secundarios hipógenos: Qz relleno intersticios. Clorita y sericita. Opacos (mgt).

Secundarios supérgenos: hm (en vnlls).

TEXTURAS:

- * Fanerítica.
- * Hipidiomórfica.
- * Equigranular.
- * Intersticial.

ALTERACIONES:

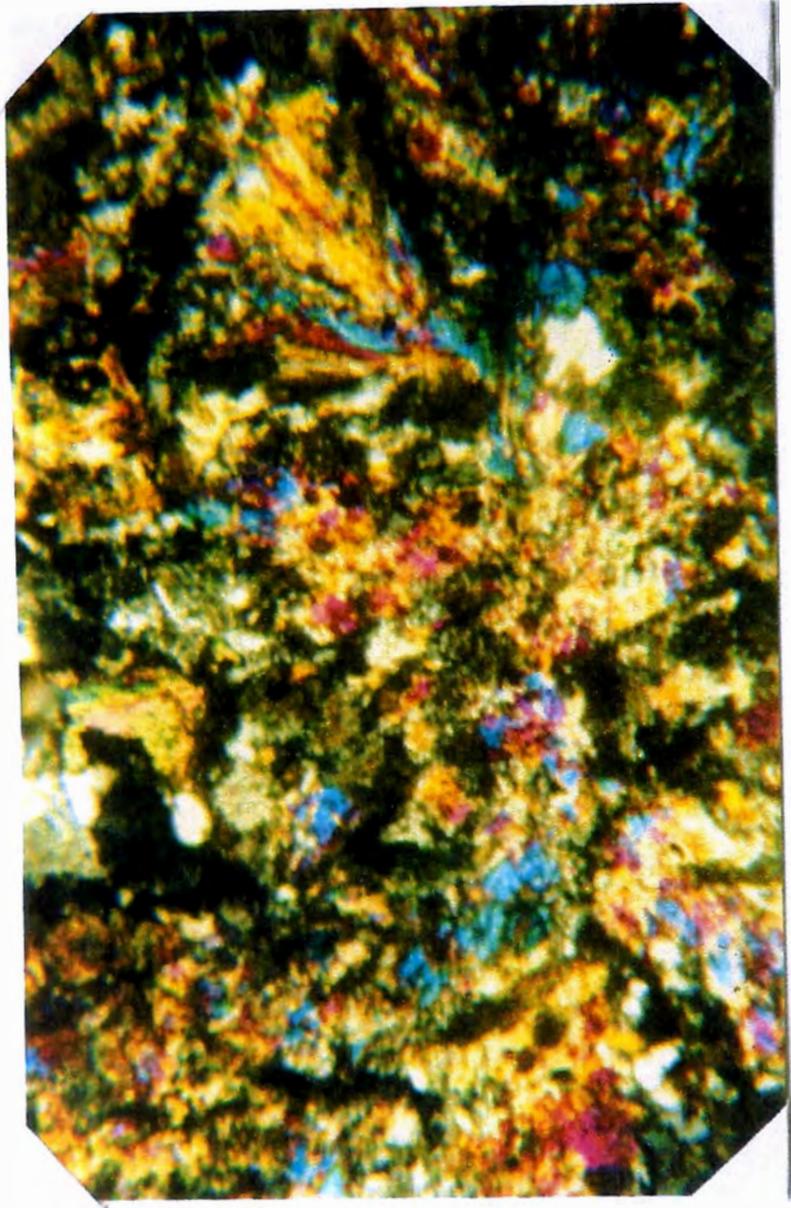
* SERICITACION : PLGs ----- Sericita.

* CLORITIZACION: ANFs ----- Clorita

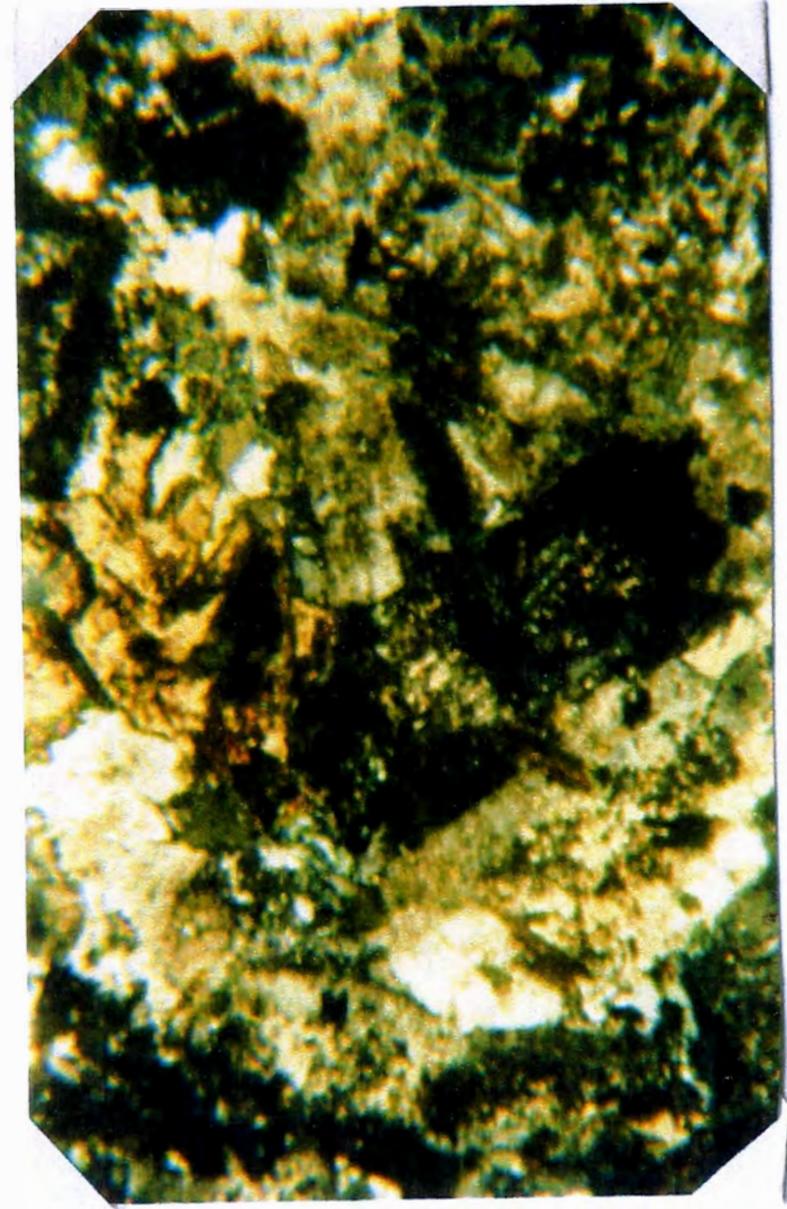
ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	40-45
Qz	15-20
FLPs-K	10
ANFs-Pxs	20
Opacos	5
Otros	5

MUESTRA C



200 μ



Sericitización $PLG_s \rightarrow$ Sericita
Cloritización: $ANF_s \rightarrow$ Clorita
(N. X_s)

Cristal hexagonal de hornblenda
Sericitización: $PLG_s \rightarrow$ Sericita
(N. X_s)

MUESTRA D



Procedencia: MARCONA – MINA 3 SUR
Denominación: OCOITA ANDESITICA

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: D

Procedencia: MARCONA – MINA 3 SUR

DENOMINACIÓN: ANDESITA (Campo) – PORFIRO ANDESITA (Microscopia)

Roca Original Probable: **OCOITA ANDESITICA.**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca de textura porfirítica con fenos de grano medio en matriz de feldspatos de pasta fina.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, FLPs-K.

Accesorios: ANFs.

Secundarios hipógenos: Sericita.

Secundarios supérgenos: -.

TEXTURAS:

* Porfirítica: Matriz de pasta microgranular.

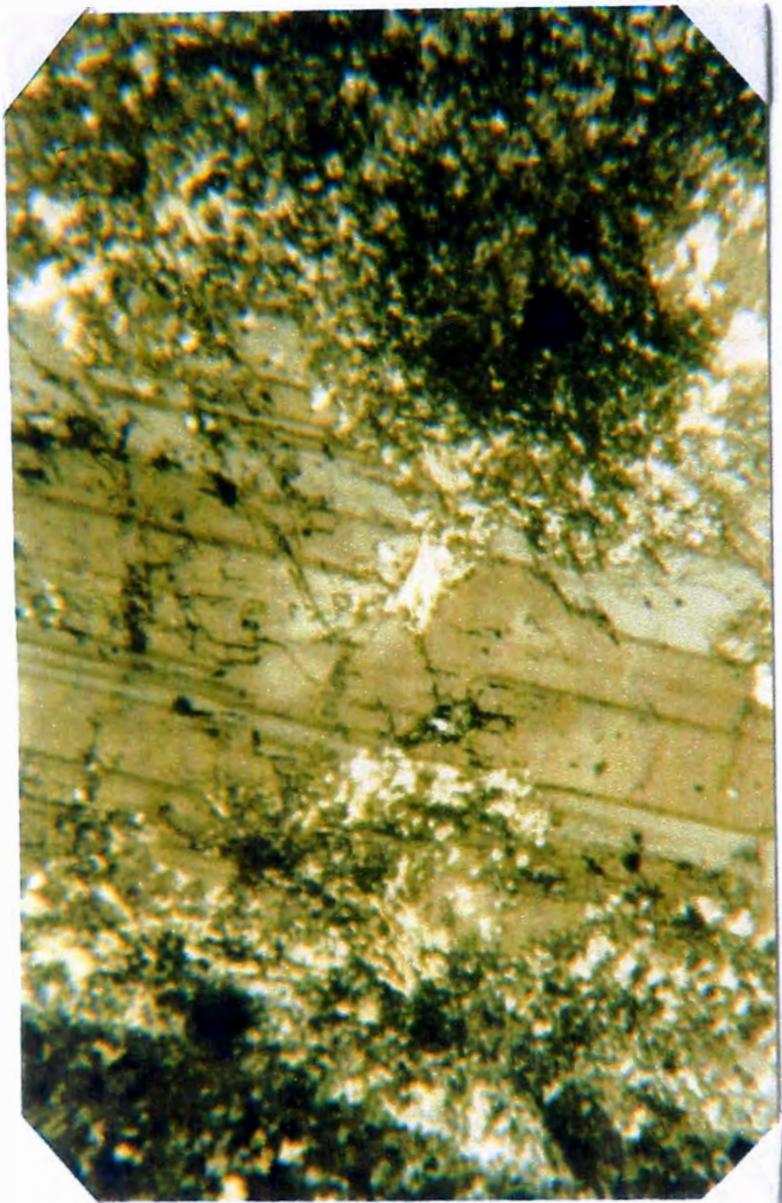
ALTERACIONES:

* SERICITIZACION: PLGs ----- Sericita.

ANÁLISIS MODAL:

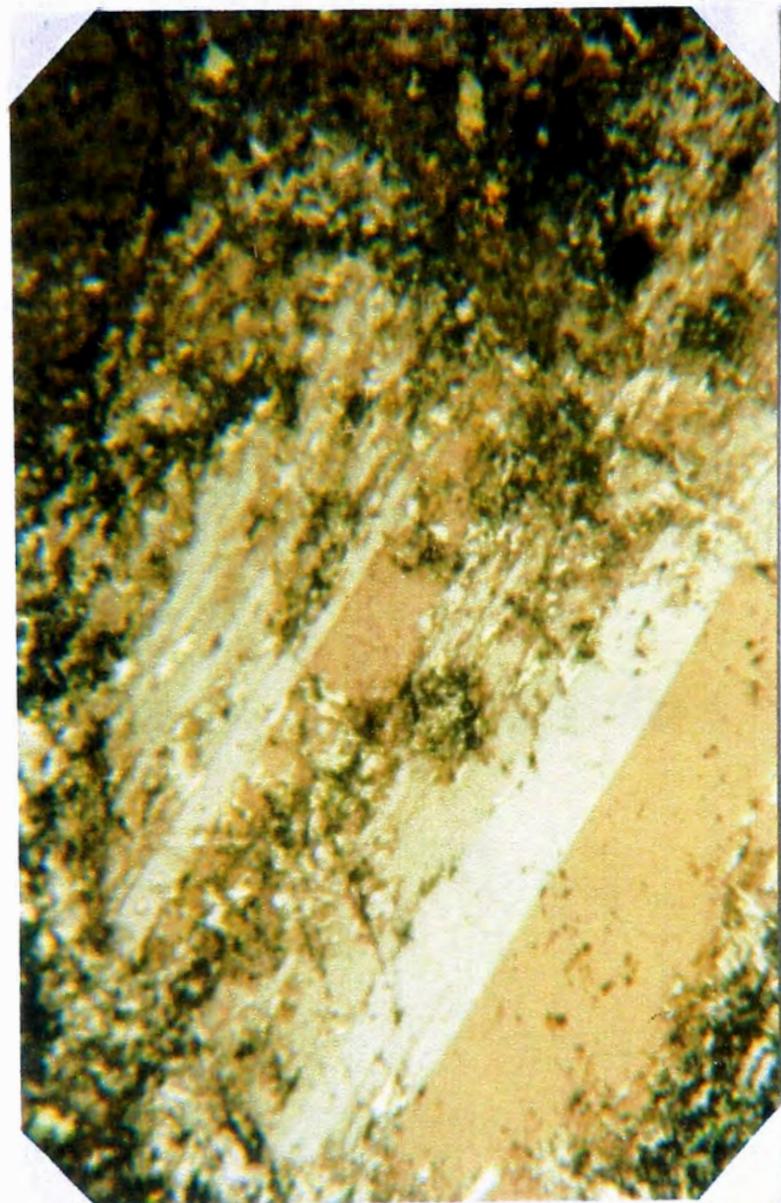
MINERALES	% V
PLGs	60-65
FLPs-K	5
ANFs	15-20
Sericita-Arcilla	5
Opacos	2-3

MUESTRA D



PLG_s en fenos: macla polisintética
Sericitización: PLG_s → Sericita
(N. X_s)

200 μ



PLG_s en macla polisintética
Sericitización: PLG_s → Sericita
(N. X_s)

MUESTRA E



Procedencia: MARCONA – MINA 5
Denominación: SHOSHONITA BASALTICA RIO GRANDE

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: E

Procedencia: MARCONA – MINA 5

DENOMINACIÓN: ROCA BASICA (Campo) –**BASALTO** (Microscopia)

Roca Original Probable: **SHOSHONITA RIO GRANDE.**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca de pasta afanítica de color verde oscura, localizada en el campo como un intrusivo concordante con los estratos (sill), con bastante porosidad. Presenta alteración moderada. py, cpy y mgt finamente diseminadas, bastante alteradas.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs.

Accesorios: ANFs.

Secundarios hipógenos: Sericita, clorita.

TEXTURAS:

* Ofítica: Exceso de cristales de ANFs y piroxenos intercrecidos entre listones alargados de PLGs.

* Intergranular: Los espacios disponibles entre los cristales prismáticos de plagioclasas están ocupadas por pequeños cristales de anfíboles.

ALTERACIONES:

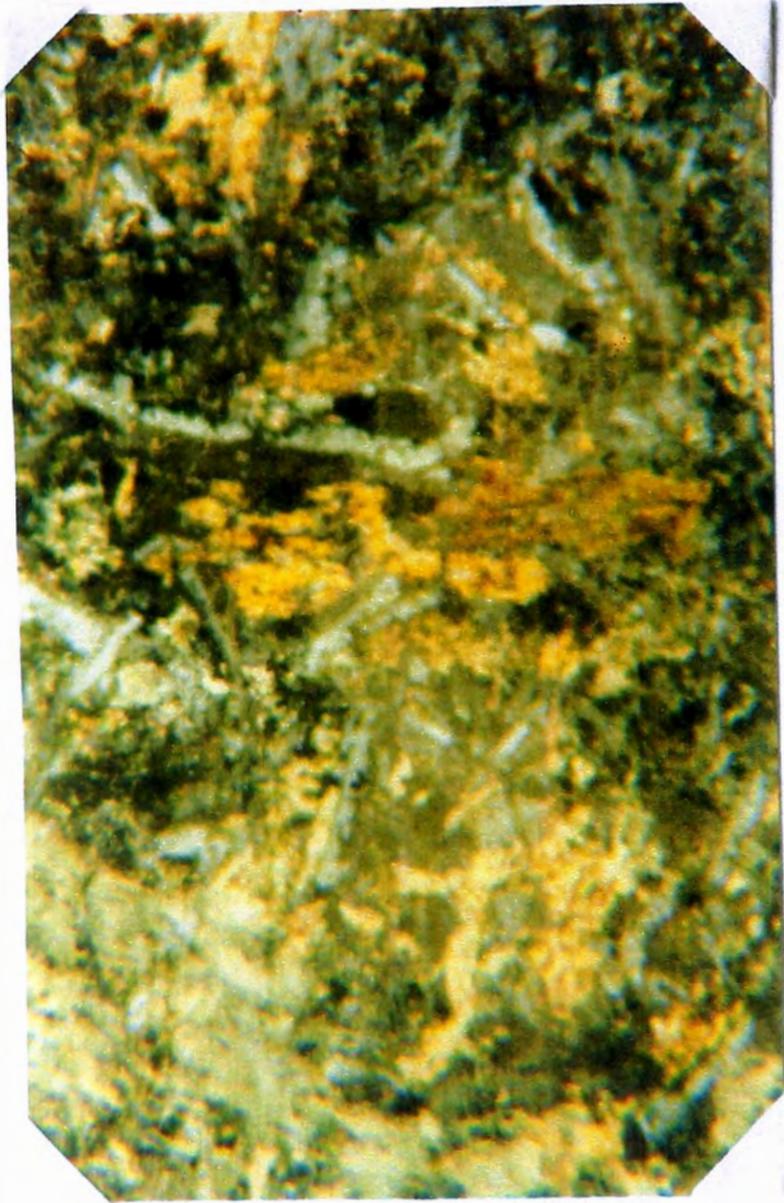
* SERICITIZACION: PLGs ----- Sericita.

* CLORITIZACION: PXs ----- Cloritas.

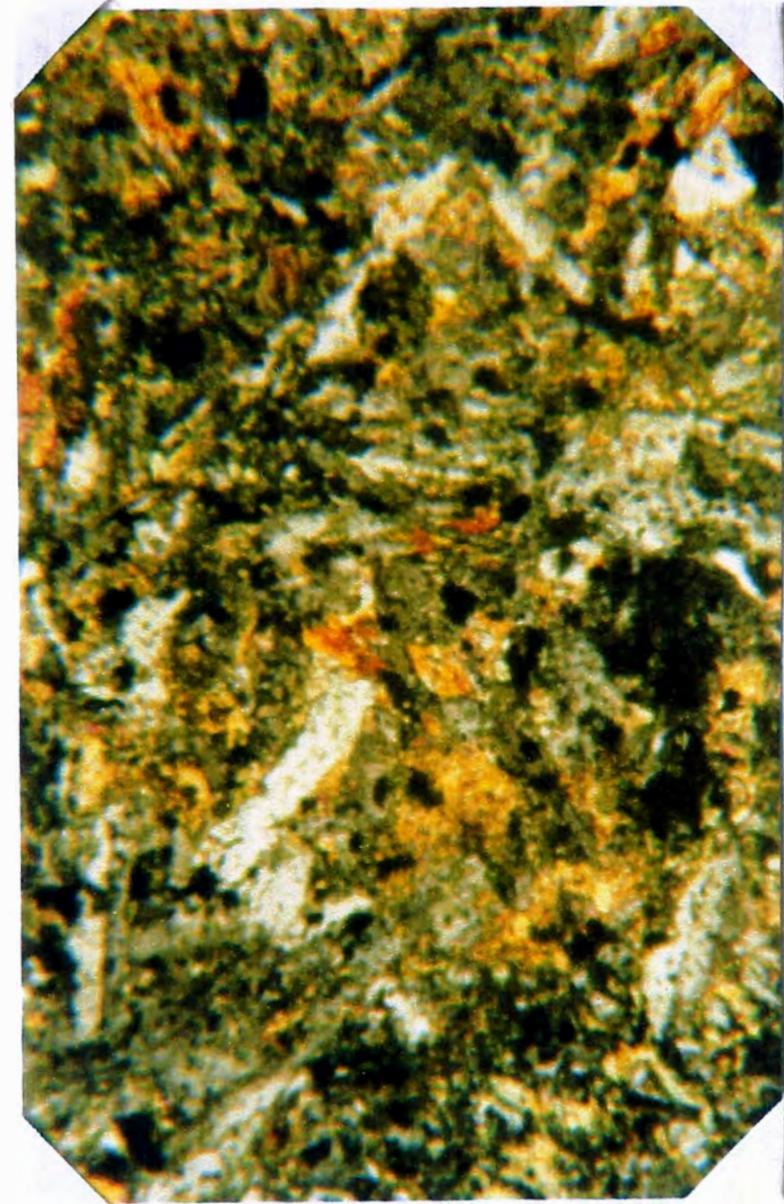
ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	65-70
ANFs	25
Clorita	3-5
Sericita	2-3

MUESTRA E



200 μ



Textura ofítica: augita cristalizada
englobando listones de PLG_s
(N. X_S)

Textura ofítica: cristales de PLG_s
circundados por augitas
(N. X_S)

MUESTRA F



Procedencia: MARCONA- MINA 6 E
Denominación: OCOITA ANDESITICA

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: F

Procedencia: MARCONA – MINA 6 E

DENOMINACIÓN: DIQUE ANDESITICO (Campo) – **ANDESITA** (Microscopia)

Roca Original Probable: **OCOITA ANDESITICA JAHUAY.**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca fanerítica con fenos gruesos inequigranulares en matriz gris verduzca con cristales bien desarrollados. py y mgt diseminada.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs.

Accesorios: ANF (hornblendas), PXs.

Secundarios hipógenos: Sericita, clorita. Opacos: py y mgt.

TEXTURAS:

* Fanerítica

* Inequigranular

ALTERACIONES:

* SERICITIZACION: PLGs ----- Sericita.

* CLORITIZACION: PXs ----- Cloritas.

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	60
FLPs-K	10-15
ANFs	10-15
Sericita	5-10
Clorita	1-2
Opacos	5

MUESTRA F



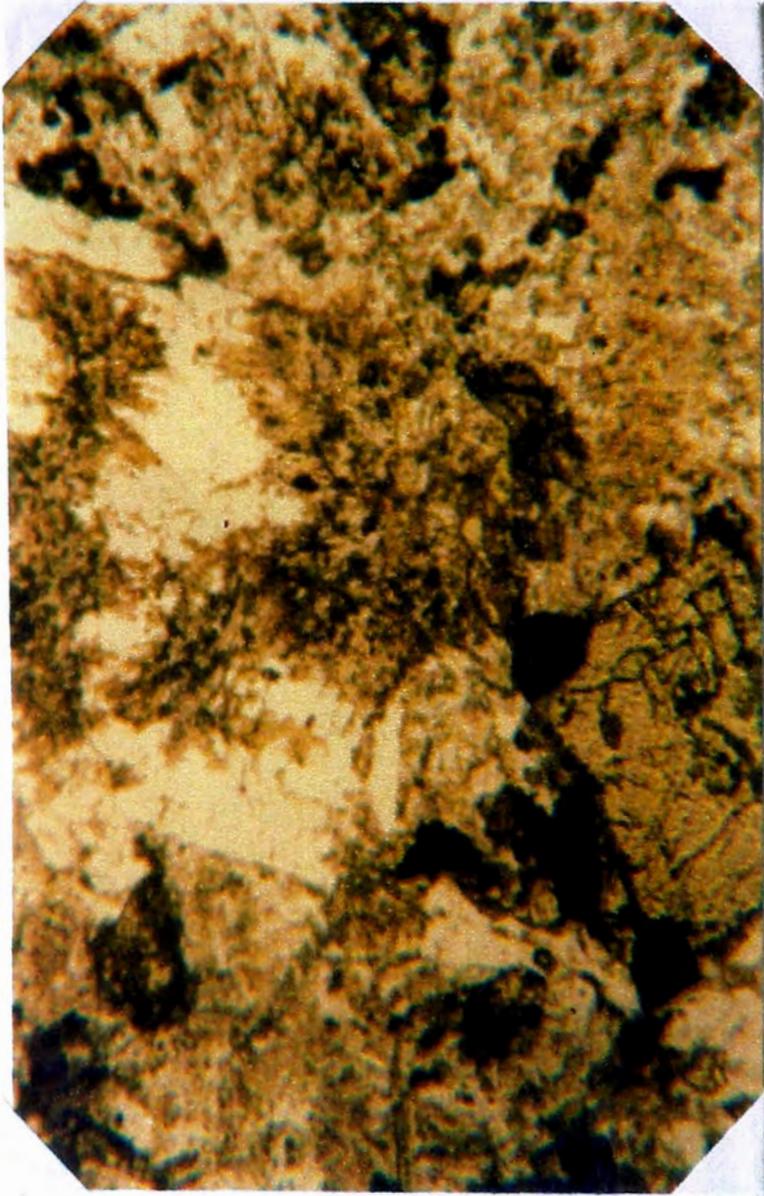
200 μ



Cristales de plagioclasas macladas
Sericitización: $PLG_s \rightarrow$ Sericita
(N. //s)

Cristales de plagioclasas macladas
Opacas (ζ mgt?) (N. X_s)

MUESTRA F



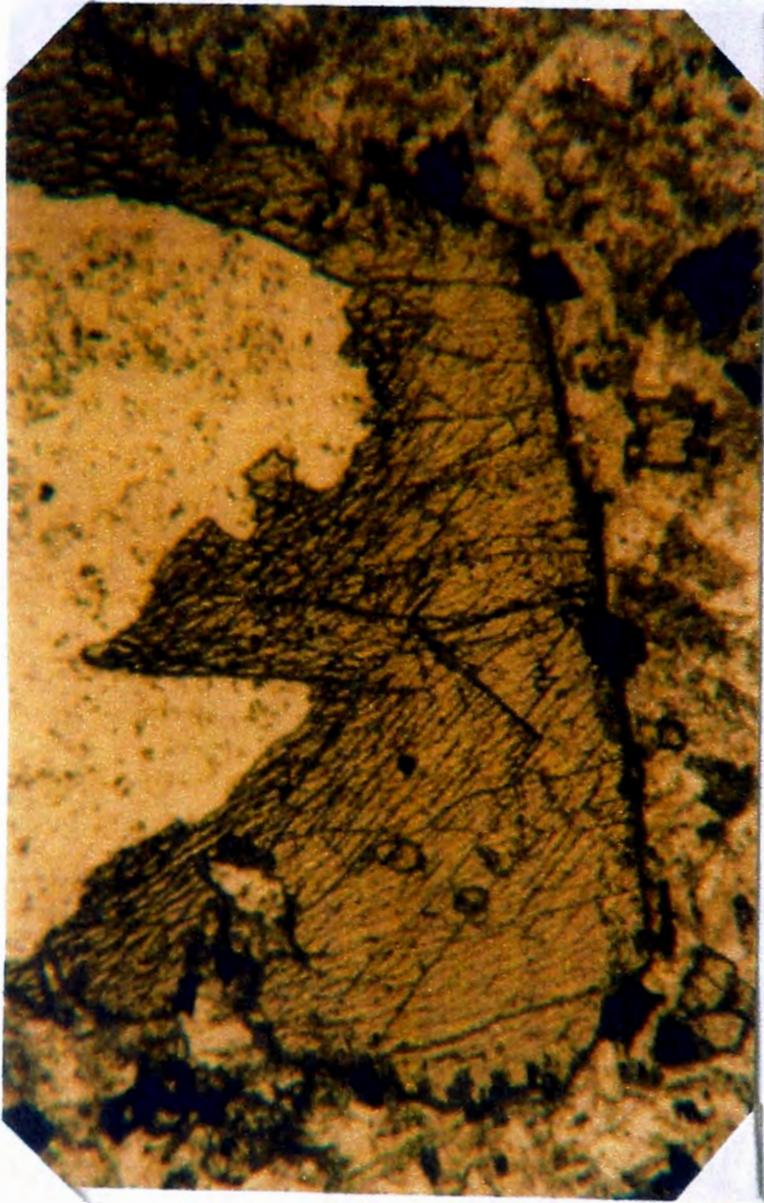
200 μ



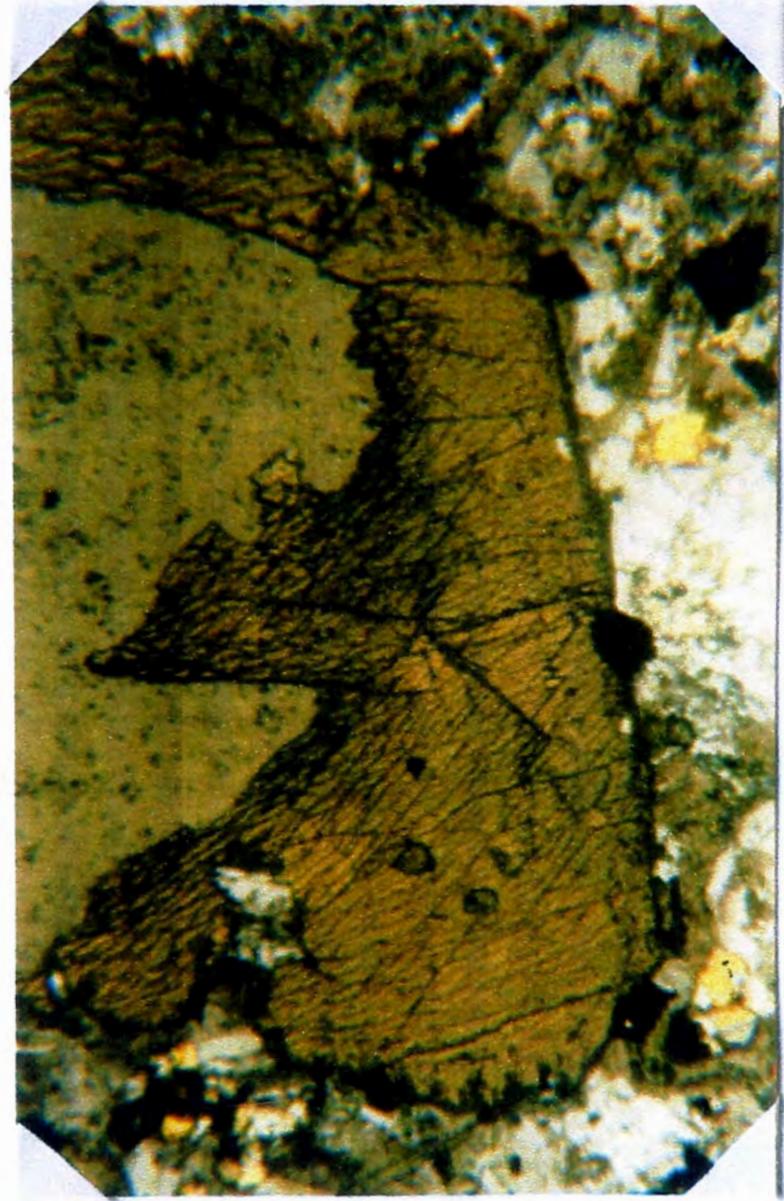
Cristal hexagonal de hornblenda
Buen clivaje en 2 direcciones
(N. //s)

Cristal hexagonal de hornblenda
Opacos (¿py? ¿mgt?)
(N. Xs)

MUESTRA F



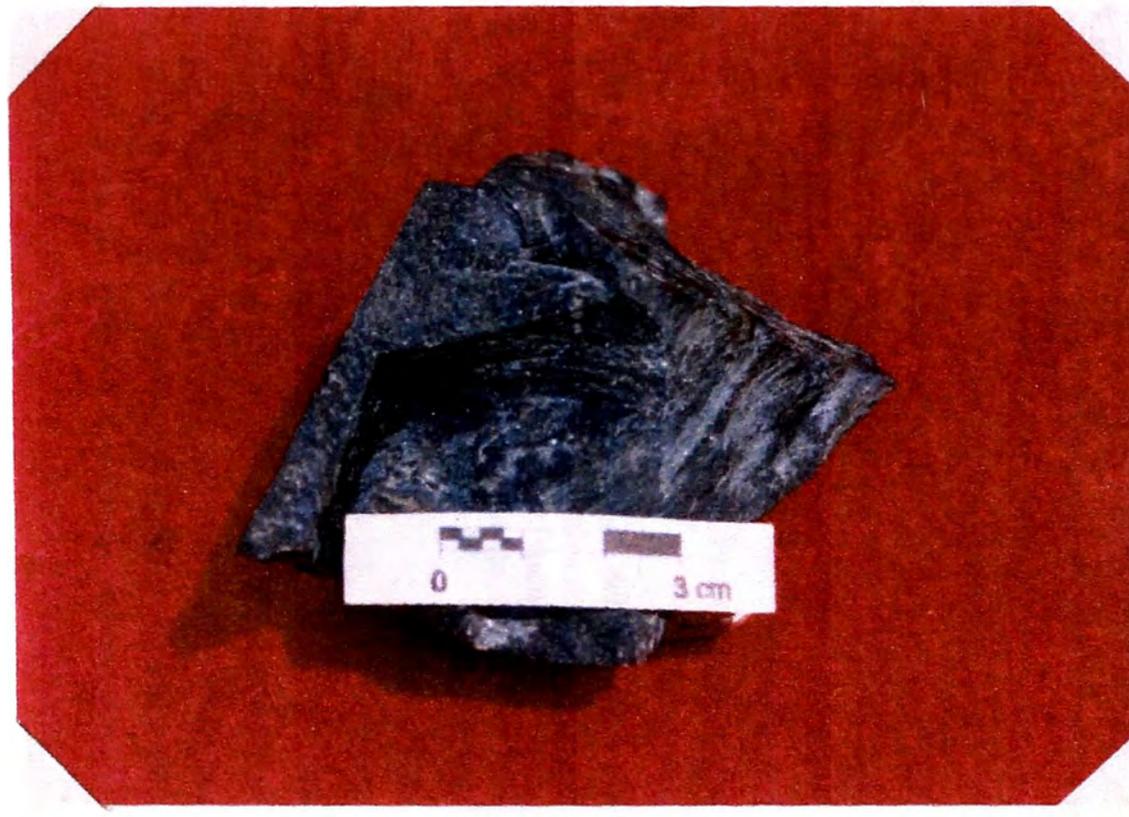
200 μ



PLG₃ bien cristalizadas
ANFS (homblenda) en cristales subhedrales;
Clivaje bueno en 2 direcciones ($<120^\circ$) (N. //s)

PLG₃ con macla polisintética. ANFS
alterándose a cloritas. Opacos (¿py?
 ¿mgt?)
Sericitización: PLG₃ \rightarrow Sericita. (N. X₃)

MUESTRA G



Procedencia: MARCONA -- MINA 7 NORTE
Denominación: PIZARRA MARCONA

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: G

Procedencia: MARCONA – MINA 7 NORTE

DENOMINACIÓN: HORNFELS FILITICO (Campo) – **PIZARRA** (Microscopia)

Roca Original Probable: **LIMOLITA-LUTITA MARCONA**.

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca metamórfica oscura de grano fino con notable foliación (clivaje o crucero pizarroso), y bastante corrugada. Presencia de mgt, cpy, py.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: Micas, Cloritas, Qzo.

Accesorios: Cordieritas, Andalucitas.

Secundarios: Biotitas. Opacos (¿Mt, Cpy, Py?).

TEXTURAS:

- * Porfidoblastica Moteada: Como resultado del metamorfismo incipiente se han formado motas o porfidoblastos embrionicos de minerales metasomáticos.
- * Esquistosidad: Intensificada por el crecimiento de pequeñas pero visibles láminas de micas.
- * Corrugada: Generado por el trenzado incipiente de los silicatos.

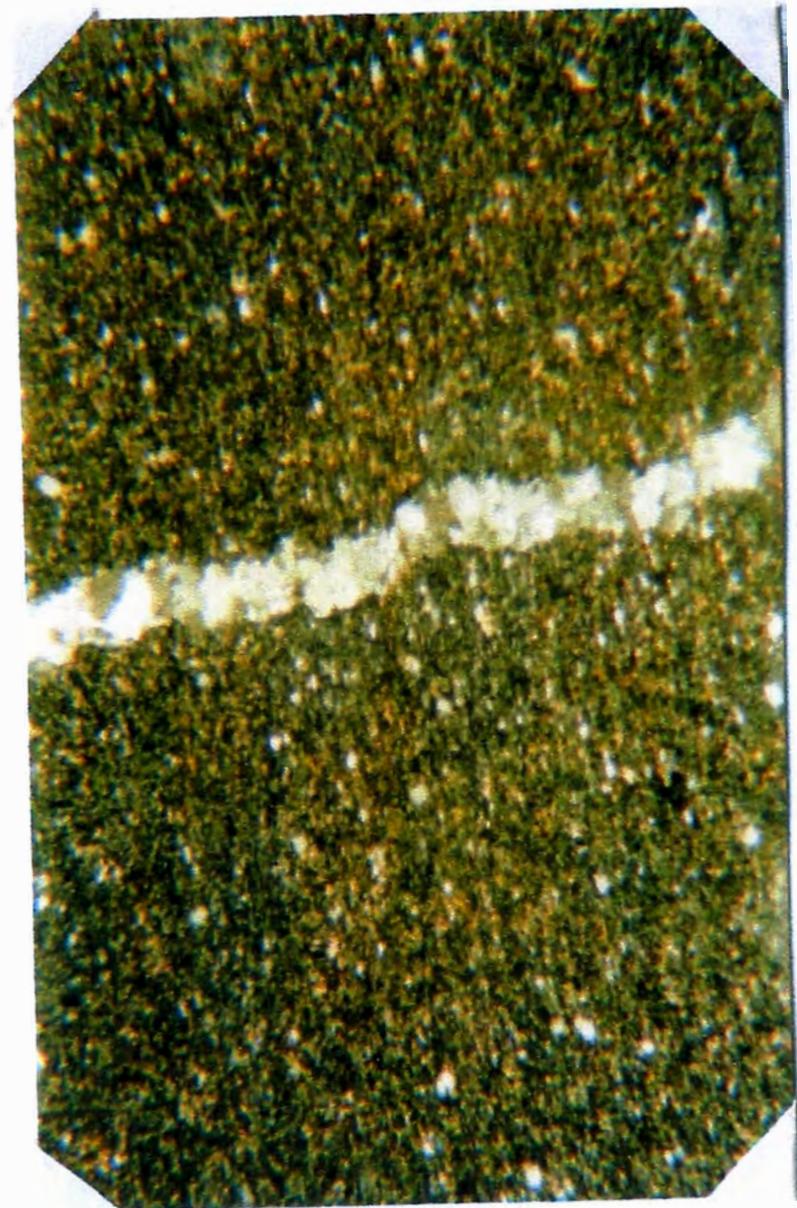
ALTERACIONES:

- * Relleno de Qzo (en vetillas).
- * Redondeo de motas. Los nódulos o motas están constituidos de andalucita y cordierita; en Nicols Paralelos los cristales de andalucita se distinguen por su mayor relieve respecto a la cordierita y por su carencia de inclusiones.
La presencia de andalucita y clorita muestra que esta roca corresponde a un grado de metamorfismo superior, debido a la cercanía de intrusivos.

MUESTRA G



200 μ



Relleno de sílice en homfels (N.//s)

Relleno de sílice en homfels
(N. Xs)

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: H

Procedencia: MARCONA – MINA 6

DENOMINACIÓN: DIQUE ANDESITICO (Campo) – **DIORITA** (Microscopia)

Roca Original Probable: **OCOITA ANDESITICA JAHUAY.**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca de textura fanerítica inequigranular de matriz gris verduzca con py finamente diseminada. Roca ligeramente alterada.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, FLPs-K.

Accesorios: ANF, Biotita.

Secundarios hipógenos: Sericita. Opacos: ¿py y mgt?.

TEXTURAS:

- * Fanerítica
- * Inequigranular
- * Macla Polisintética

ALTERACIONES:

* SERICITIZACION: PLGs ----- Sericita.

* CLORITIZACION: ANFs ----- Cloritas.

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	45-50
FLPs-K	10-15
ANFs	15-20
Sericita, Clorita	5-10
Opacos	3-5

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: I

Procedencia: MARCONA – MINA 6 W (Falla Repetición)

DENOMINACIÓN: ACTINOLITA (Campo) – **ACTINOLITA** (Microscopia)

Roca Original Probable: ¿**PIROXENITA?**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de mineral traslúcido ubicado en zona de plano de falla, que presenta una intensa alteración del material original.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: Actinolita.

Accesorios: ANFs (¿tremolita?¿homblenda?).

Secundarios hipógenos: Sericita. Clorita.

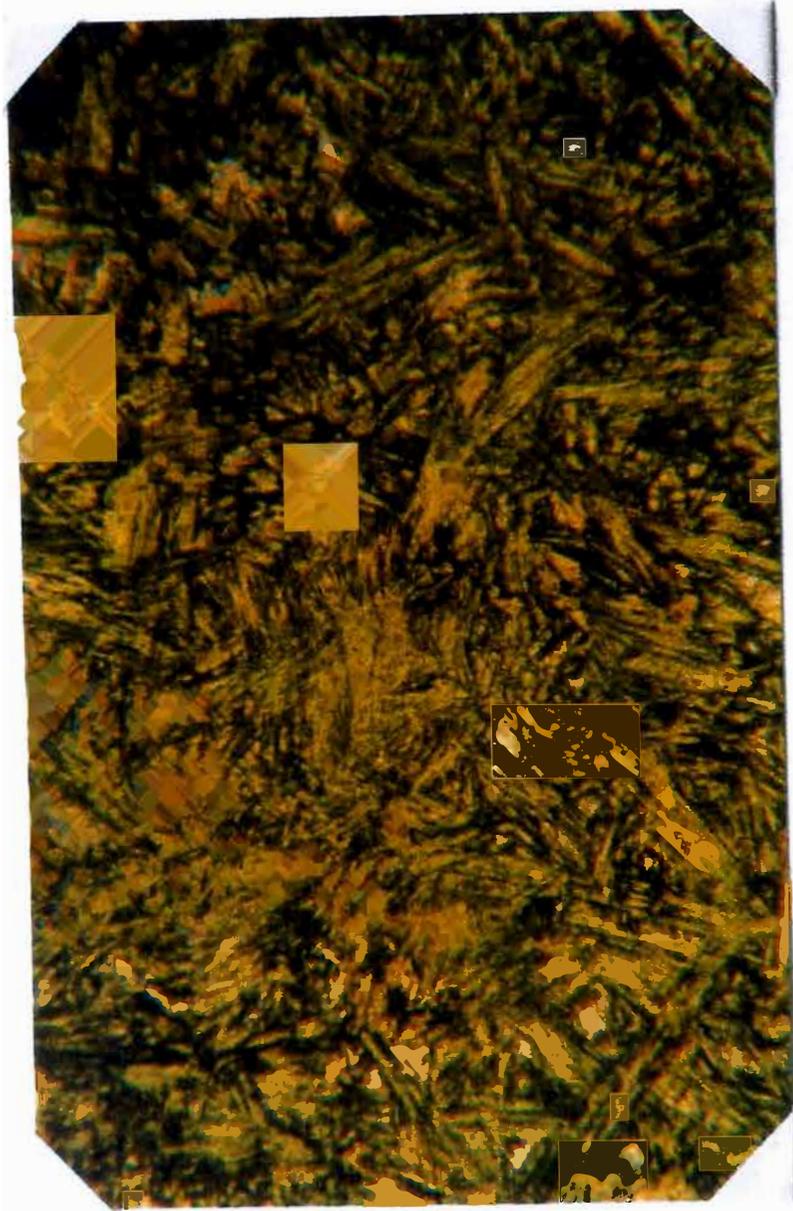
ALTERACIONES:

* ACTINOLITIZACION

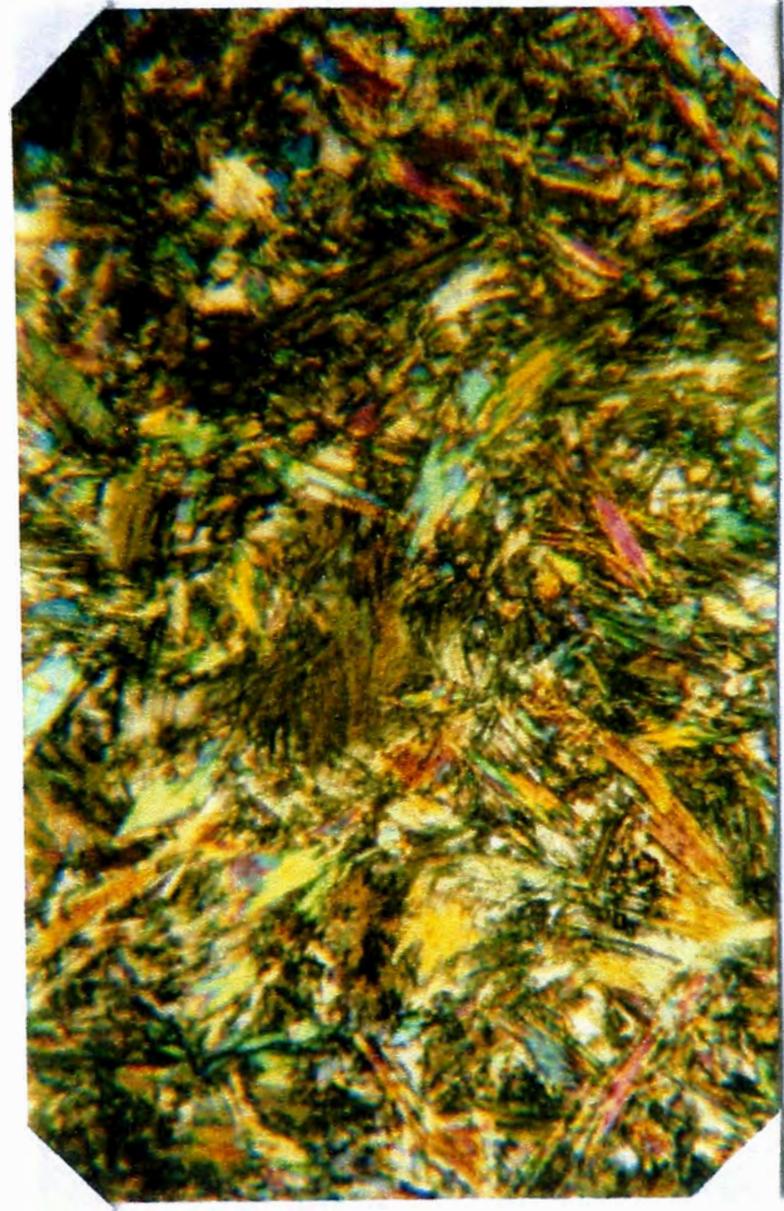
* SERICITIZACION: ANFs ----- Sericita.

* CLORITIZACION: ANFs ----- Cloritas.

MUESTRA I



200 μ



Actinolita en cristalización acircular
(N.//s)

Actinolita en cristalización acircular
(N. X_s)

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: J

Procedencia: MARCONA – MINA 6 E (Nivel 641).

DENOMINACIÓN: ACTINOLITA (Campo) – ACTINOLITA (Microscopia)

Roca Original Probable: ¿PIROXENITA?.

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de mineral traslúcido cristalizado en forma acicular, tomada de un lente anfibolítico concordante con el manto ferrífero (¿reemplazamiento selectivo?).

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: Actinolita.

Accesorios: ANFs (Hornblenda).

Secundarios hipógenos: Sericita. Clorita, Qzo (venillas), Calcita. Opacos.

ALTERACIONES:

* ACTINOLITIZACION

* SERICITIZACION: ANFs ----- Sericita.

* CLORITIZACION: ANFs ----- Cloritas.

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
Actinolita	80
Qzo	5
Sericita, Clorita	5
Hornblenda	3-5
PXs	2-3
Opacos	3

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: K

Procedencia: MARCONA – MINA 7 E

DENOMINACIÓN: DIQUE PORFIRO ANDESITICO (Campo) – PORFIRO ANDESITA (Microscopia)

Roca Original Probable: **OCOITA ANDESITICA.**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de roca de textura porfirítica inequigranular con matriz oscura de grano grueso. Cristales bien desarrollados.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, FLPs-K.

Accesorios: ANFs (Horblenda).

Secundarios hipógenos: Sericita. Opacos.

TEXTURAS:

- * Porfirítica.
- * Hipidiomórfica
- * Inequigranular.

ALTERACIONES:

- * SERICITIZACION: ANFs ----- Sericita.
- * CLORITIZACION: ANFs ----- Cloritas.

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	55-60
FLPs-K	10-15
ANFs	10-15
PXs	5
Sericita	5
Clorita	5
Opacos	2-3

ESTUDIO PETROMINERALOGICO

MUESTRA: L

Procedencia: MARCONA – MINA 3 SUR

DENOMINACIÓN: DIQUE ANDESITICO (Campo) - ANDESITA(Microscopia)

Roca Original Probable: **OCOITA ANDESITICA JAHUAY.**

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:

Muestra de Roca de textura fanerítica con matriz rosácea gris. Vetillas de Qzo. Roca bastante alterada.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MINERALOGÍA:

Esenciales: PLGs, FLPs-K.

Accesorios: Hornblenda.

Secundarios hipógenos: Qzo (venilllas). Sericita. Opacos.

TEXTURAS:

* Fanerítica.

* Equigranular.

ALTERACIONES:

* SERICITIZACION: FLPs ----- Sericita.

ANÁLISIS MODAL:

MINERALES	% V
PLGs	40-45
FLPs-K	15-20
Sericita	20
Hornblenda	5
Qzo	2-3
Opacos	2-3



DIRECCION DE LABORATORIOS
LABORATORIO DE PETROMINERALOGIA
ESTUDIO MINERAGRAFICO

SECCION PULIDA N°: 6
SOLICITANTE : Sr. Carlos Salazar
LOCALIDAD: OT N° 105-2002
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA USADA POR EL
SOLICITANTE:

A.- DESCRIPCION MACROSCOPICA:

B.- SECUENCIA DE FORMACION: Probable.

Magnetita
Pirita
Hematita I
Hematita II
Goethita
Limonitas

C.- TEXTURA:

Masiva, de relleno, reemplazamiento.

D.- OBSERVACIONES:

-Hematita I parece ser pseudomórfica de pirita.
-Ocurre goethita en cavidades.

EXPLICACION

- * (1) LA LETRA O NUMERO que aparece en el casillero horizontal de un mineral indica que la descripción del casillero vertical corresponde a ese mineral, El número a la izquierda de cada mineral lo representa en los casilleros.
 - * (2) EL PORCENTAJE es del área OBSERVADA
 - * (3) EL TAMAÑO se refiere a la mayor longitud del grano o mineral más grande observado
- P= Predominante, a= abundante, r=regular, p=poco, e=escaso, T= Trazas,
x= letra para indicar, O= diámetro

ESTUDIO HECHO POR :

INGENIERO: Ing. Rosa E. Andrade Tallego

FIRMA:

Rosa E. Andrade Tallego
ROSA E. ANDRADE TALLEGO
Geóloga Mineralogista

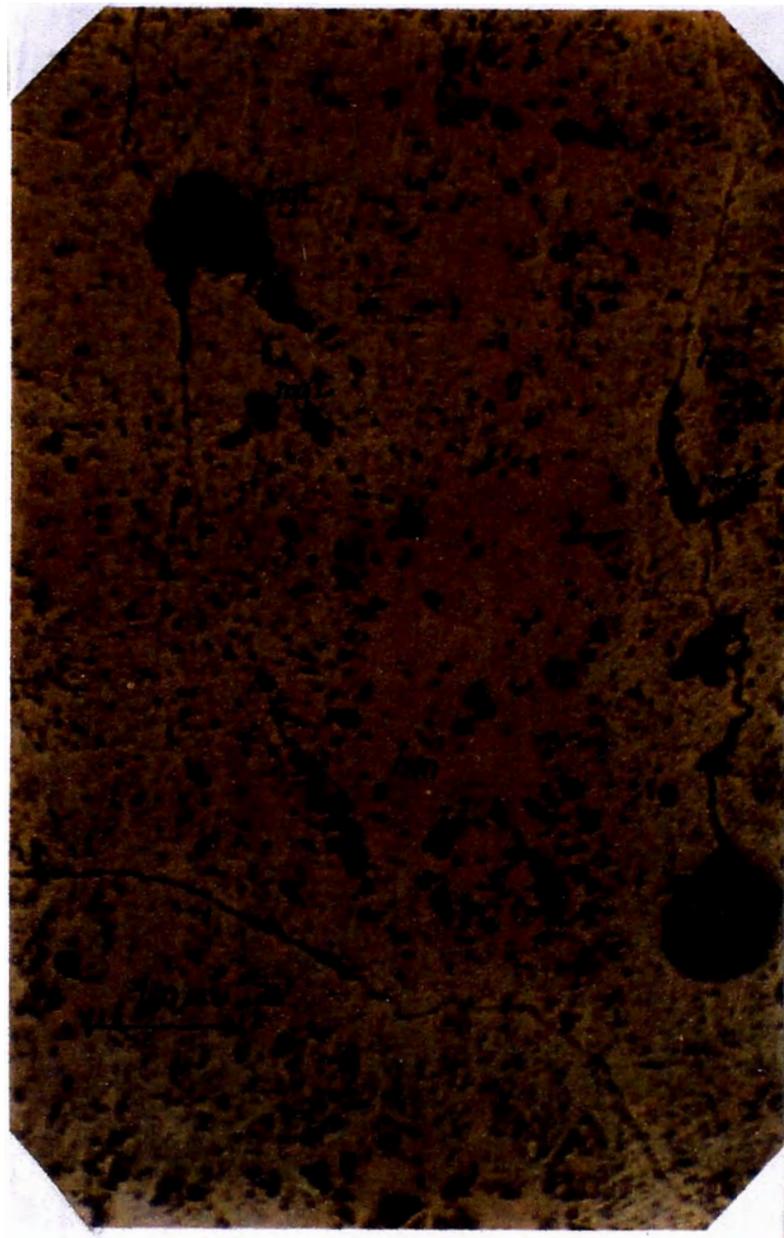
LUGAR Y FECHA: Lima, 03 de julio del 2002

MUESTRA N°6



Mina 13
(Transicional)

Cavidades rellenas por Goethita. (N.//s)



Martitización: Relicto de magnetita
reemplazada por hematita (generación
I).
N. //s



DIRECCION DE LABORATORIOS LABORATORIO DE PETROMINERALOGIA ESTUDIO MINERAGRAFICO

SECCION PULIDA N°:	(O.T.N° 123-2002)
SOLICITANTE :	Sr. Carlos Salazar
LOCALIDAD:	MARCONA
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA USADA POR EL SOLICITANTE:	10

A.- DESCRIPCION MACROSCOPICA:

--

B.- SECUENCIA DE FORMACION: Probable

Magnetita Pirita Pirrotita Esfalerita Calcopirita Covelita Hematita Limonitas
--

C.- TEXTURA:

De relleno, reemplazamiento.

D.- OBSERVACIONES:

--

EXPLICACION

* (1) LA LETRA O NUMERO que aparece en el casillero horizontal de un mineral indica que la descripción del casillero vertical corresponde a ese mineral, El número a la izquierda de cada mineral lo representa en los casilleros.

* (2) EL PORCENTAJE es del área OBSERVADA

* (3) EL TAMAÑO se refiere a la mayor longitud del grano o mineral más grande observado.

P= Predominante, a= abundante, r=regular, p=poco, e=escaso, T= Trazas, x= letra para indicar, O= diámetro.

ESTUDIO HECHO POR

INGENIERO: Rosa E. Andrade Talamo

FIRMA: ROSA E. ANDRADE Talamo

Geóloga Mineralogista

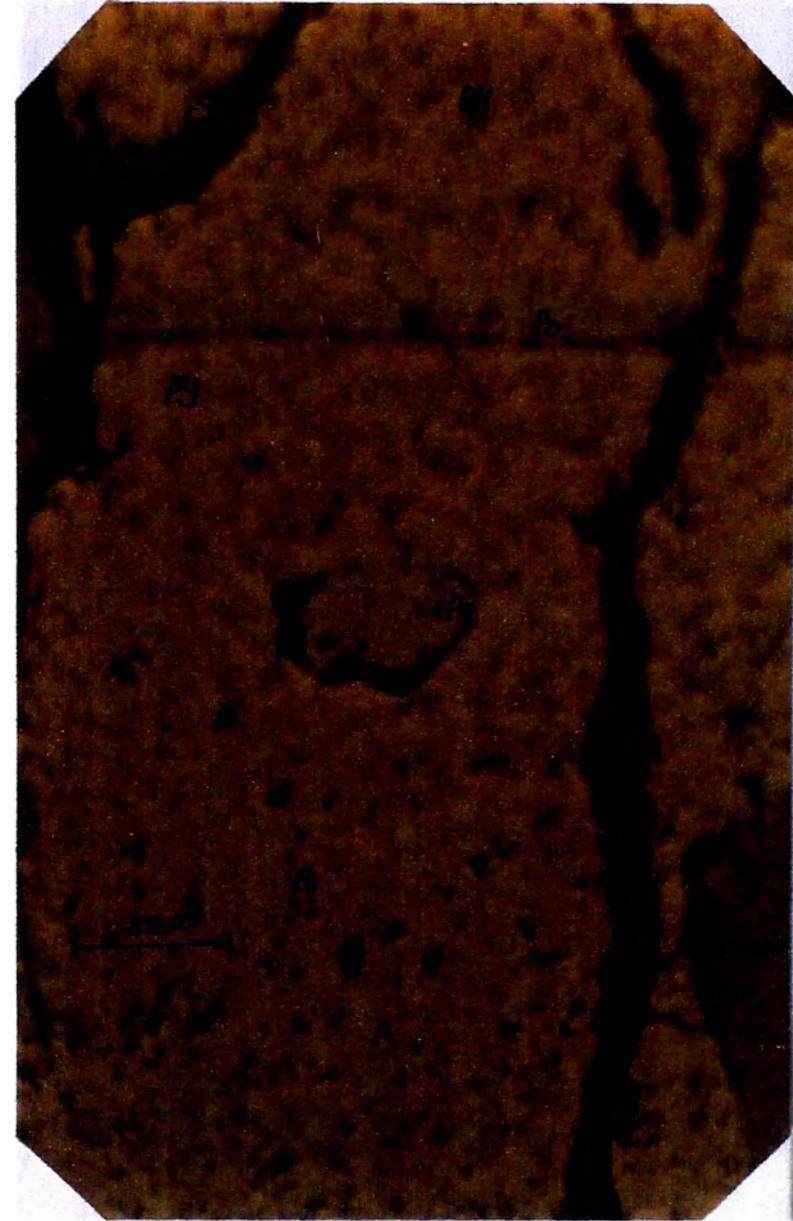
LUGAR Y FECHA Lima 06 de agosto del 2002



MUESTRA N°10



Mina 3 Sur
Primario - CG



Pirritas mostrando porosidades rellenas por calcopirita y covelita. Se observa magnetita en sus bordes N.//s

Pyrrhotita en porosidades de la pirita . Se observa covelita en las fracturas N. //s



DIRECCION DE LABORATORIOS

LABORATORIO DE PETROMINERALOGIA

ESTUDIO MINERAGRAFICO

SECCION PULIDA N°:	(O.T.N° 123-2002)
SOLICITANTE :	Sr. Carlos Salazar
LOCALIDAD:	MARCONA
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA USADA POR EL SOLICITANTE:	11

A.- DESCRIPCION MACROSCOPICA:

--

B.- SECUENCIA DE FORMACION: Probable

Magnetita Pirita Esfalerita Calcopirita Covelita Hematita
--

C.- TEXTURA:

Masivo, de relleno, reemplazamiento.

D.- OBSERVACIONES:

--

EXPLICACION

* (1) LA LETRA O NUMERO que aparece en el casillero horizontal de un mineral indica que la descripción del casillero vertical corresponde a ese mineral, El número a la izquierda de cada mineral lo representa en los casilleros

* (2) EL PORCENTAJE es del área OBSERVADA

* (3) EL TAMAÑO se refiere a la mayor longitud del grano o mineral más grande observado.

Predominante, a= abundante, r=regular, p=poco, e=escaso, T= Trazas, x= para indicar, O= diámetro

ESTUDIO HECHO POR

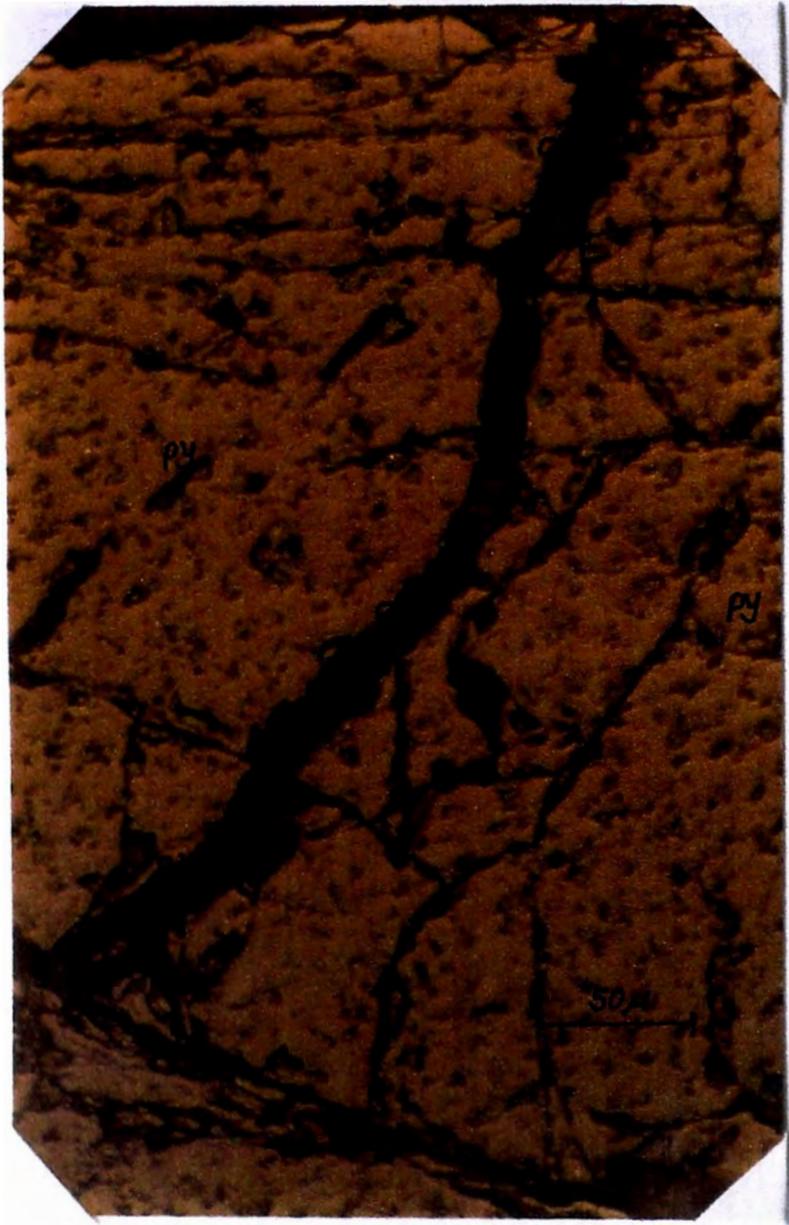
INGENIERO Ing. Rosa E. Andrade Talledo

FIRMA ROSA E. ANDRADE TALLEDO
Geóloga Mineralogista

LUGAR Y FECHA Lima 06 de agosto del 2002

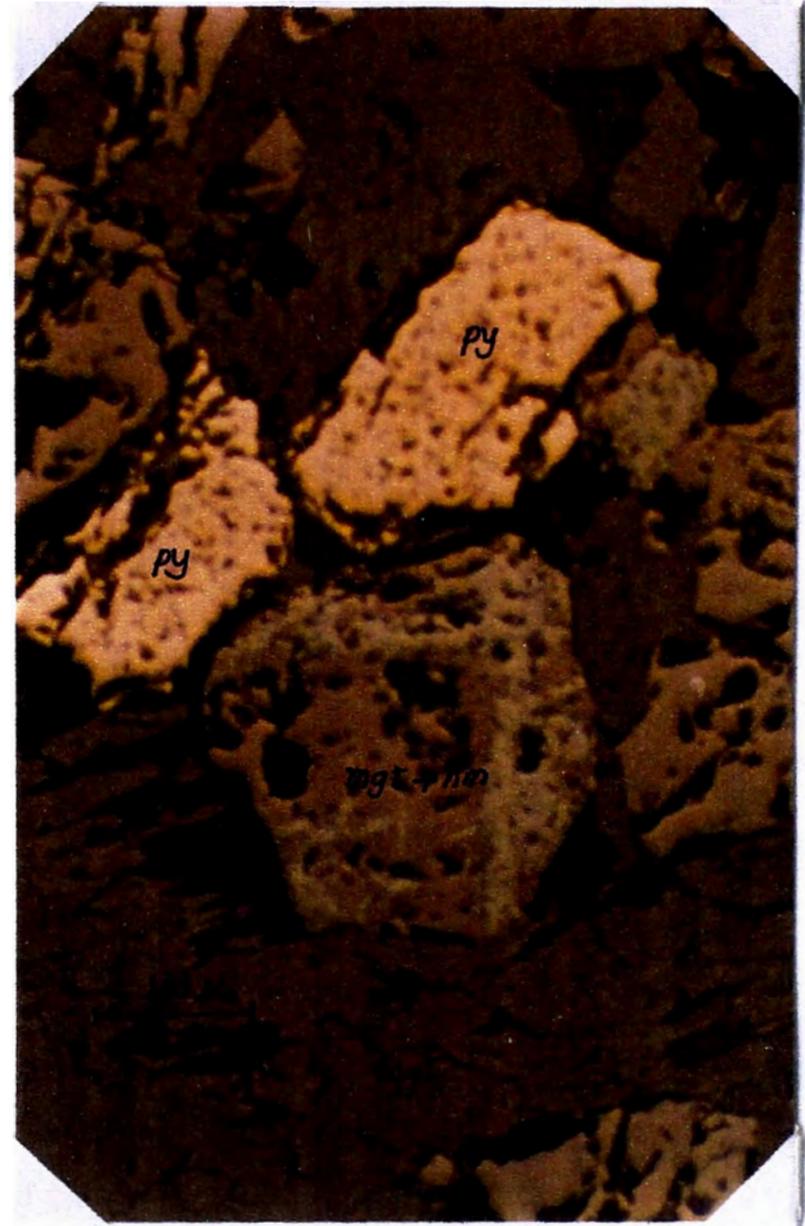


MUESTRA N°11



Covelita en fracturas de pirita
N.//s

Mina 6 W
Primario - CG



Se observa cristales de pirita; magnetita
que esta siendo reemplazado por
hematita (Martitización) N. //c



DIRECCION DE LABORATORIOS
LABORATORIO DE PETROMINERALOGIA
ESTUDIO MINERAGRAFICO

SECCION PULIDA N°: 13
SOLICITANTE : Sr. Carlos Salazar
LOCALIDAD: OT N° 105-2002
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA USADA POR EL
SOLICITANTE:

A.- DESCRIPCION MACROSCOPICA:

B.- SECUENCIA DE FORMACION: Probable.

Magnetita
Arsenopirita
Pirita
Pirrotita
Marcasita
Esfalerita - Calcopirita I
Calcopirita II
Melnicovita
Galena
Covelita
Hematita - Limonitas

C.- TEXTURA:

De relleno, reemplazamiento.

D.- OBSERVACIONES:

EXPLICACION

** (1) LA LETRA O NUMERO que aparece en el casillero horizontal de un mineral indica que la descripción del casillero vertical corresponde a ese mineral, El número a la izquierda de cada mineral lo representa en los casilleros.

* (2) EL PORCENTAJE es del área OBSERVADA

* (3) EL TAMAÑO se refiere a la mayor longitud del grano o mineral más grande observado

P= Predominante, a= abundante, r=regular, p=poco, e=escaso, T= Trazas,
x= letra para indicar, O= diámetro

ESTUDIO HECHO POR :

INGENIERO Ing. Rosa E. Andrade Talledo
FIRMA *Rosa E. Andrade Talledo*
ROSA E. ANDRADE TALLEDO
Geóloga Mineralogista

LUGAR Y FECHA Lima, 04 de julio de 2002

MUESTRA N°13

Mina 7 Primario FG.

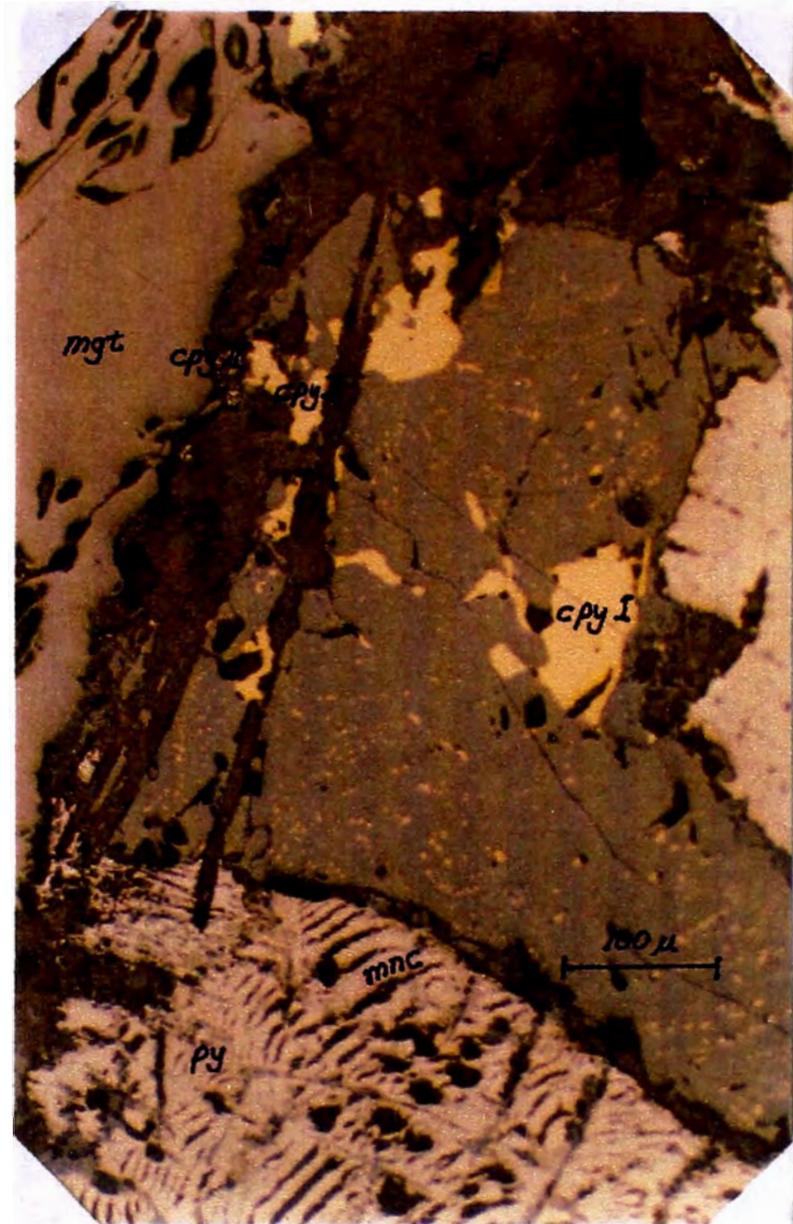


Melnicovita en porosidades de la magnetita:
mnc es una pirita coloidal, que indica una fase tardía de menor temperatura

MUESTRA N°13



Mina 7
Primario - FG



Esfalerita con inclusiones de arsenopirita,
Calcopirita y melnicovita en intersticios de magnetita
N.//s

Calcopirita I en exsolución con esfalerita.
Calcopirita II reemplazándola
N //s



DIRECCION DE LABORATORIOS

LABORATORIO DE PETROMINERALOGIA

ESTUDIO MINERAGRAFICO

SECCION PULIDA N°: (O.T.N° 169 - 2002)
SOLICITANTE: Sr. Carlos Salazar Acosta
LOCALIDAD: MARCONA
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA USADA POR EL
SOLICITANTE: N° 14

A.- DESCRIPCION MACROSCOPICA:

B.- SECUENCIA DE FORMACION: Probable

Magnetita
Pirita
Pirrotita
Esfalerita
Calcopirita

C.- TEXTURA:

Masiva, de relleno.

D.- OBSERVACIONES:

EXPLICACION

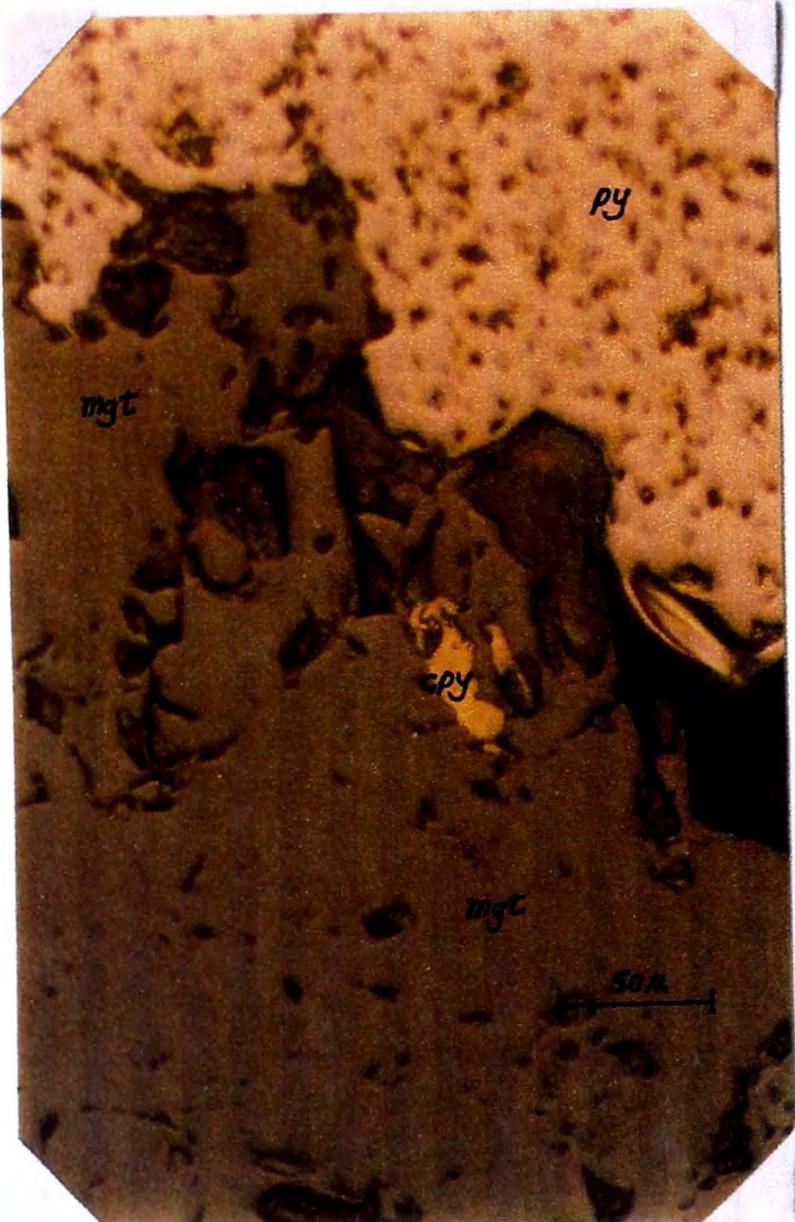
- * (1) LA LETRA O NUMERO que aparece en el casillero horizontal de un mineral indica que la descripción del casillero vertical corresponde a ese mineral, El número a la izquierda de cada mineral lo representa en los casilleros.
 - * (2) EL PORCENTAJE es del área OBSERVADA
 - * (3) EL TAMAÑO se refiere a la mayor longitud del grano o mineral más grande observado
- P= Predominante, a= abundante, r=regular, p=poco, e=escaso, T= Trazas,
O = letra para indicar, O = diámetro

ESTUDIO HECHO POR

INGENIERO: Rosa E. Andrade Talledo
FIRMA
LUGAR Y FECHA: Lima 09 de setiembre del 2002

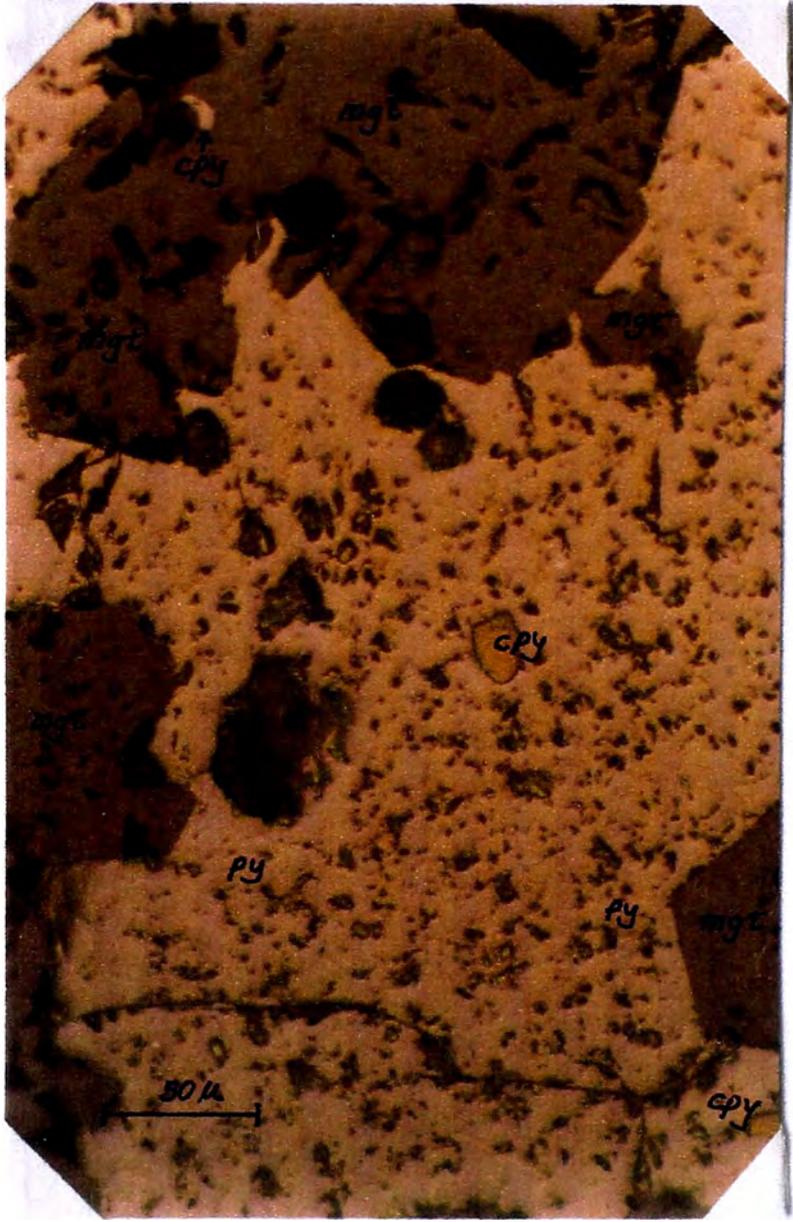


MUESTRA N°14



Calcopirita en porosidades de pirita
N.//s

Mina 3N
Primario - FG



Calcopirita en porosidades de magnetita
y pirita .
Magnetitas en cristales euhedrales.



DIRECCION DE LABORATORIOS

LABORATORIO DE PETROMINERALOGIA

ESTUDIO MINERAGRAFICO

SECCION PULIDA N°:	(O.T. N° 123-2002)
SOLICITANTE :	Sr. Carlos Salazar
LOCALIDAD:	MARCONA
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA USADA POR EL SOLICITANTE:	15

A.- DESCRIPCION MACROSCOPICA:

--

B.- SECUENCIA DE FORMACION: Probable.

Magnetita
Pirita
Pirrotita
Esfalerita
Calcopirita
Covelita

C.- TEXTURA:

Masiva, de relleno, reemplazamiento.

D.- OBSERVACIONES:

--

EXPLICACION

- * (1) LA LETRA O NUMERO que aparece en el casillero horizontal de un mineral indica que la descripción del casillero vertical corresponde a ese mineral, El número a la izquierda de cada mineral lo representa en los casilleros.
 - * (2) EL PORCENTAJE es del área OBSERVADA
 - * (3) EL TAMAÑO se refiere a la mayor longitud del grano o mineral más grande observado
- P= Predominante, a= abundante, r=regular, p=poco, e=escaso, T= Trazas, letra para indicar, O= diámetro

ESTUDIO HECHO POR

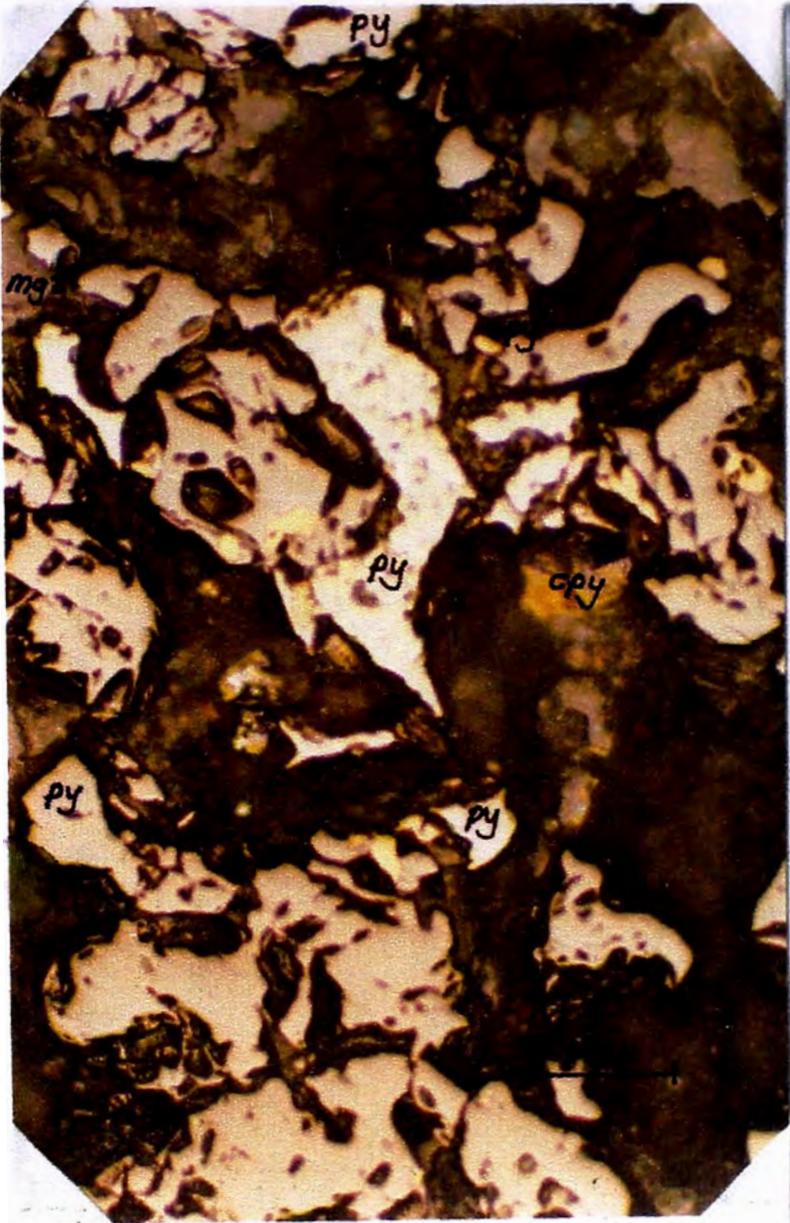
INGENIERO: Ing. Rosa E. Andrade Talleo
Rosa E. Andrade Talleo
FIRMA: ROSA E. ANDRADE TALLEO
Geóloga Mineralogista
LUGAR Y FECHA: Lima 06 de agosto del 2002



MUESTRA N°15



Mina 3 N
Primario - FG



Calcopirita en microfracturas de pirita
N//s.

Calcopirita en porosidades de magnetita
N//s

APÉNDICE 2: RELACION DE PLANOS ADJUNTOS

- FIG 1.1 Plano de localización del distrito minero de Marcona (E: 1/100,000).
- FIG 1.2 Columna geológica generalizada del área del Cuadrángulo de San Juan.
- FIG 1.3 Plano geológico regional: área costera Paracas a Chala (E:1/500,000).
- FIG 1.4 Mapa geológico del área de Pequeños Mineros (E: 1/5,000).
- FIG 1.5 Logueo perforación aire-reversa Río Tinto Zinc - área Pequeños Mineros (E: 1/3,000).
- FIG 1.6 Plano de geología regional - área del denuncia (E: 1/100,000).
- FIG 1.7 Columna geológica generalizada del área del distrito minero de Marcona.
- FIG 1.8 Plano geológico distrito minero de Marcona (E: 1/20,000).
- FIG 1.9 Mapa estructural del distrito minero de Marcona (E: 1/40,000).
- FIG 1.10 Diagrama del sistema de Fallas.
- FIG 1.11 Plano de ubicación de las áreas con reserva BFO (E: 1/20,000).
- FIG 1.12 Plano de ubicación de muestras (E: 1/10,000).
- FIG 1.13 Plano de alteraciones (E: 1/10,000).
- FIG 1.14 Plano de ubicación depósitos calcáreos (E: 1/100,000).
- FIG 1.15 Interpretación de Perforaciones en Pequeños Mineros (E: 1/5000).
-