

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA.
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



“EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA POR Cu y Ag EN EL PROSPECTO SAN FIDEL – TORNAMESA - HUAROCHIRÍ – LIMA”

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEOLOGO

PRESENTADO POR: CIRILO ABREGU TOVAR

LIMA-PERU

2012

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a mi Alma Mater la Universidad Nacional de Ingeniería a mis profesores de todas las especialidades, en especial al MSc. Atilio Mendoza A., al Dr. Rolando Carrascal M. al MSc. David Rojas C. a mis compañeros de estudios Graciela Gonzales, Pilar Rodríguez, y demás geólogos que fueron 18 unidos de nuestra escuela

Dedicatoria

A la memoria de mis padres mis hijos y su madre, mis familiares que fueron el soporte de mi formación y a mi sacrificio propio en esta lucha de vida estudiantil.

INDICE

Agradecimiento

Dedicatoria

RESUMEN

ABSTRAC

Capítulo I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION	-----	12
1.2.- UBICACIÓN Y ACCESO	-----	13
1.3.- OBJETIVOS	-----	14
1.4.- METODOLOGIA DE TRABAJO	-----	15
1.5.- PROPIEDAD DEL ÁREA	-----	15
1.6.- CLIMA Y VEGETACIÓN	-----	16

CAPÍTULO II GEOLOGÍA

2.0.- GEOMORFOLÓGIA	-----	18
2.1.- SISTEMA HIDROLÓGICO	-----	21
2.2.- GEOLOGIA REGIONAL.	-----	22
2.2.1.- ESTRATIGRAFIA	-----	23
- MESOZOICO	-----	30
- CENOZOICO	-----	35

- DEPOSITOS CUATERNARIOS	35
2.2.2.- ROCAS ÍGNEAS.	38
2.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.	43
2.3.1.- TECTÓNICA REGIONAL.....	43
2.3.1.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN EL BORDE OCCIDENTAL ANDINO----	45
2.3.1.2.- MARCO TECTÓNICA REGIONAL.....	48
2.4. - GEOLOGÍA HISTÓRICA	49
2.5.- GEOLOGÍA LOCAL	54
2.6.- PETROLOGÍA Y PETROGRAFÍA	59
2.6.1.- ESTUDIO DE SECCIONES DELGADAS	64
CAPITULO III GEOLOGÍA ECONOMICA	
3.1.- MINERALOGÍA	72
3.2.- ALTERACIONES	75
3.2.3.1.-SILICIFICACIÓN.....	75
3.2.3.2.- OXIDACIÓN.....	76
3.2.3.3.- PROPILITIZACIÓN.....	76
3.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA MINERALIZADA	77
3.3.1.- CONTROLES ESTRUCTURALES.....	75
3.3.2.- ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL SECTOR DE ESTUDIO----	75

3.3.3.- PLEGAMIENTOS-----	76
3.3.4.- FALLAMIENTOS-----	77
3.4.- TIPO DE YACIMIENTO EN SAN FIDEL -----	80
3.5.- METALOGÉNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO -----	81
3.5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN METALOGÉNICA DE YACIMIENTOS VECINOS AL REA DE ESTUDIO -----	84
3.6.- GEOLOGÍA ECONÓMICA EN LA ZONA CENTRAL ESTE DE LIMA -----	85
3.6.1.- MINERÍA NO METÁLICA-----	85
3.6.2.- MINERÍA METÁLICA -----	86
3.6.3.- DESCRIPCIÓN DE YACIMIENTOS VECINOS -----	87
3.6.4.- TIPO DE YACIMIENTOS EN EL ÁREA DE SAN FIDEL ----	92
3.6.5 MODELO GEOLÓGICO DEL ÁREA DEL PROSPECTO SAN FIDEL----	93
3.6.6.- RESUMEN CARACTERIZACIÓN METALOGÉNICA DE YACIMIENTOS VECINOS AL ÁREA DE ESTUDIO -----	95

CAPITULO IV PROSPECCIÓN GEOQUIMICA

41.- GEOQUIMICA DEL COBRE -----	97
41.2.- BIOGEOQUIMICA DEL COBRE -----	103
4.2.- GEOQUIMICA DE LA PLATA -----	104

4.2.1.- FORMA DE PRESENTACION DE LA PLTA EN LA LITOSFERA SUPERIOR	105
4.2.2.- CICLO DE LA PLATA Y EL ORO	109
4.2.3.- FORMA DE PRESENTACION DE LA PLATA EN LA BISOFERA--	111
4.3. - GEOQUIMICA SUPERFICIAL DELA REA DE ESTUDIO-----	111
4.3.1.-MUESTREO GEOQUÍMICO	112
4.3.2.- CODIFICACIÓN Y METODOLOGÍA EN LA TOMA DE MUESTRAS-----	112
4.4.- TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS	113
4.4.1.- HISTOGRAMAS	113
4.4.2..- ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DE LA PLATA-COBRE	115
4.5.- PARÁMETROS GEOQUÍMICOS	117
4.6.- MAPAS GEOQUIMICOS-----	118
CAPITULO V INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA	
5.1..- INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA DEL COBRE	120
5.2..- INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA DE LA PLATA-----	120
5.3.- APLICACIONES	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	121
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	122

ANEXOS -----	123
FOTOGRAFÍAS -----	124
BIBLIOGRAFÍA -----	127
ANEXO PLANOS -----	129

RESUMEN

El área de estudio está comprendida en la zona que corresponde a la hoja de la Carta Nacional: Chosica 24j, la misma que abarca una parte de la costa central hasta el borde Occidental de los Andes Peruanos.

El desarrollo morfológico ha sido generado a través de diversos episodios tectónicos, los mismos que han dado lugar a los rasgos geomorfológicos actuales caracterizado por amplios desniveles de altitud emplazado en la margen derecha del río Rímac.

En el área se observa una secuencia estratigráfica que comprende unidades litológicas con edades que van desde el Jurásico hasta el Reciente, con manifestaciones de flujos hidrotermales.

Pudiendo describirse las características litológicas y sus relaciones estratigráficas, así tenemos como unidades más antiguas, la Formación Arahua del lado Este (borde occidental andino) conteniendo calizas intercaladas con volcánicos; además volcánicos piroclásticos, lavas andesíticas y secuencias arcillosas, en el sector costanero estas rocas fueron cubiertas durante el Cretáceo inferior.

La roca encajonante en el área sería el volcánico del grupo Rímac y la Fm Arahua; para efectos del proyecto geoquímico es importante el desarrollo estructural iniciado en el Cretáceo superior, que ha continuado en el Terciario inferior con una fase compresiva, que genera fallamiento y fracturamiento transversal, afectando al batolito y plegando a las unidades estratigráficas mesozoicas del borde occidental andino. Aquí se producen el sistema de fallamiento así como las estructuras circulares determinadas en el área que permitirían llegar a determinar el potencial

prospectivo del área de estudio corroborado por el muestreo geoquímico cuyos resultados nos evidencian la existencia de hasta dos estructuras geológicas que pueden justificar una ampliación del proyecto de exploración.

Debemos acotar que los sistemas estructurales nos indican el predominio de hasta dos sistemas de fallamiento entre los que destaca mayormente el de rumbo NE-SW componente tensional del rumbo andino general cuyas condiciones son más favorables para el desarrollo de yacimientos filoneanos

Adicionalmente se han definido dos estructuras regionales circulares que pueden ayudar a resaltar el control estructural de la zona para desarrollar métodos de exploración directa (perforación diamantina) y con métodos indirectos como los geofísicos que los modernos con apoyo de software pueden dar interpretación de las anomalías por mineralización

Finalmente podemos indicar que el mapeo geológico sistemático, el muestreo y la caracterización del área de estudio permiten definir tres zonas de alteración entre las cuales destacan la silicificación y la propilitización, que por su extensión coinciden con el área de las anomalías de Cu y Ag induciendo un potencial de recursos en la zona.

ABSTRAC

The study area falls within the zone corresponding to the sheet of the National Charter: Chosica 24J, it covers a part of the central coast to the western edge of the Peruvian Andes

The morphological development has been generated through various tectonic episodes, the same that have led to the current geomorphological features characterized by broad altitude slopes located on the right bank of the Rimac River In the area there is a stratigraphic sequence comprising lithologic units ranging in age from Jurassic to Recent, with manifestations of hydrothermal flows

Being able to describe the lithology and stratigraphic relationships, and we as older units, training Arahua East Side (Andean western edge) containing limestone interbedded with volcanic, plus volcanic pyroclastic andesitic and clay sequences in the coastal area these rocks were covered during the Early Cretaceous.

The host rock or metatect in the area would be the volcanic group Fm Arahua Rimac and, for purposes of the project is important geochemical structural development started in the Cretaceous, which has continued in the lower Tertiary compressive phase, which generates faulting and transverse fracture, affecting the folding batholith and Mesozoic stratigraphic units at the western edge of the Andes

Here are produced the faulting system and certain circular structures in the area that would be able to determine the prospective potential of the study area corroborated by geochemical sampling and the results we show the existence of up to two geological structures that may justify extending the exploration project

We need to note that the structural systems indicate the predominance of up to two systems of faults among which mainly the NE-SW tensional component of the overall Andean direction where conditions are more favorable for the development of deposits filoneanos.

Furthermore, we have defined two circular regional structures that can help highlight the structural control of the area to develop methods of direct examination (diamond drilling) and indirect methods such as geophysical support modern software can give interpretation of the anomalies by mineralization.

Finally we show that the systematic geological mapping, sampling and characterization of the study area to define three zones of alteration among which the silicification and propylitization, that its length matches the area of cooper and silver anomalies inducing resource potential in the area.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Como consecuencia del estudio litológico-estructural por imágenes satélite y el contexto metalogenético de la zona se han desarrollado trabajos de exploración geoquímica en el área del denuncia minero San Fidel, asimismo con una fase de gabinete inicial que permitió en una primera etapa fundamentar la importancia de la exploración geoquímica en la zona a fin de ubicar yacimientos en lugares como el que abordamos en este estudio que se orienta a demostrar que el área ubicada en la margen derecha del río Rímac, y ubicado geográficamente en Cocachacra (Tornamesa) el cual se halla a poca distancia de una otrora floreciente depósito de volcánicos con sulfuros masivos (VSM) de PERUBAR se ha recurrido a todos los medios accesibles para reinterpretar el área que en esencia tiene una fisiografía abrupta aparte de ser zona árida donde el recurso agua está restringido al río Rímac y en las partes altas no hay fuentes aflorantes.

Entre las actividades realizadas podemos resumirlas en la siguiente metodología.

Actividades de campo:

- Cartografiado geológico (litología, geología estructural)
- Desarrollo de una malla geoquímica de muestreo

Reconocimiento de zonas de alteración Actividades de gabinete:

- Interpretación de resultados geoquímicos
- Análisis estructural del área de estudio
- Planteo de sondajes diamantinos
- Recomendación de líneas de prospección geofísica.

1.2.- UBICACIÓN Y ACCESO

El prospecto está ubicado a 60 Km al Este de la ciudad de Lima. Políticamente en el distrito de Cocachacra, provincia de Huarochiri, departamento de Lima emplazada en la Hoja Nacional de Chosica (24-J) a una altura de 2300 msnm. El acceso desde la ciudad de Lima por la carretera Central de Lima – Oroya, con un desvío en el poblado de Tornamesa (km 55) en un tiempo promedio de 2 horas

La zona de estudio se halla ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 11° 30' a 12° 30' Latitud Sur

76° 30' a 77° 30' Longitud Oeste

1.3.- OBJETIVOS

- Investigar el potencial prospectivo mediante métodos geoquímicos de exploración del área de San Fidel ubicada en la franja metalogénica de VSM y caracterizar el tipo de yacimiento que potencialmente puede ser determinado en el área.
- El otro objetivo del presente estudio, es presentarlo como Tesis de Investigación, para optar el título de INGENIERO GEOLOGO en la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima

1.4.- METODOLOGIA DE TRABAJO

El método de trabajo que se ha empleado para la realización del presente estudio, es el reconocimiento de las unidades litoestratigráficas, y estructuras mineralizadas ubicadas en la zona del proyecto, mediante el replanteo y ubicación de los diferentes tipos de rocas y los datos de campo en los mismos que se ha chequeado las alteraciones así como su marco estructural

El presente estudio ha sido realizado en dos etapas;

- La primera se la ha realizado en el campo, mediante la observación directa de las estructuras y tipos de rocas presentes y estructuras mineralizadas existentes, determinando sus características litoestructurales y sus rasgos geomorfológicos.
- La segunda se ha efectuado en el gabinete en la elaboración del informe y recopilando datos existentes en el INGEMMET, el IGN y bibliotecas y la interpretación final de los resultados obtenidos en laboratorio.

1.5.- PROPIEDAD DEL ÁREA.

En la fase de gabinete se reviso el tema de la propiedad del área accediendo a la base de datos oficial de registros públicos de minería encontrándose que gran porcentaje de la zona está con denuncias vigentes de tal forma que iniciar un proyecto de exploración debe contarse con todos los documentos que avalen la ejecución de dicho programa de exploración.

Acotando a lo arriba mencionando se presenta un plano catastral del área resaltando el petitorio de San Fidel, cuyo código es 010044599.

1.6.- CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima es variado debido a las diferencias de alturas, correspondiendo a la faja costanera un clima desértico templado y húmedo, con lloviznas bajas entre Abril y Diciembre, y sol intenso entre Enero y Marzo con mayor insolación en las pampas y tablazos. La temperatura anual promedio es de 18° a 19° C. Según Tosi, la clasificación ecológica corresponde a desierto subtropical.

En esta zona con alturas de más de 1,000 m. el clima es frío y seco, con abundantes precipitaciones en la época de verano, aumentando de intensidad en las partes altas. En los valles durante el día se tienen climas cálidos y en las noches climas fríos. En los últimos años los climas están variando haciendo más intensas las precipitaciones. Es importante la acción de los vientos que avanzan de SO a NE, haciéndose más intensos por las tardes.

En las regiones altas como es la zona andina crece un pasto natural como ichu, tola y otros que sirven de alimento a la ganadería.

Las márgenes occidentales de la Cordillera Andina donde se emplaza el batolito tienen terrenos áridos, sin vegetación; sin embargo en las quebradas laterales del valle de Lurín existen ruinas (necrópolis) con vestigios de reservorios, lo que indica que en estas zonas ha existido crianza de ganado gracias a la vegetación que entonces existía.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA

2.0.- GEOMORFOLOGIA.

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio son el resultado del proceso tectónico y plutónico, sobreimpuesto por los procesos de geodinámica, que han modelado el rasgo morfoestructural.

Entre las formas producidas por la erosión se tiene la incisión por el drenaje (principalmente los ríos Rímac y Lurín)

•Lomas y Cerros Testigos

Dentro de esta unidad geomorfológica se han considerado a las colinas que bordean las estribaciones de la cordillera occidental las cuales quedan como cerros testigos.

Donde las rocas que constituyen estas lomas y cerros testigos son calizas y cuarcitas o rocas intrusivas, el relieve es abrupto. En rocas volcánicas tanto en piroclásticos como en derrames, estos cerros testigos presentan diferente resistencia al intemperismo por lo que sus rasgos topográficos son de pendientes empinadas y a veces de relieves regularmente suaves.

•Valles y Quebradas

Esta unidad geomorfológica comprende a los valles del Rímac, Lurín; así como a las quebradas afluentes las que permanecen secas la mayor parte del año, discurriendo agua sólo en épocas de fuertes precipitaciones en el sector andino. Debido a ello presentan un clima seco con un piso cubierto por depósitos coluviales y materiales de poco transporte, provenientes de las estribaciones de la Cordillera Occidental, siendo a su vez éstos cubiertos por arena eólica.

•Estribaciones de la Cordillera Occidental

Esta unidad geomorfológica corresponde a las laderas y crestas marginales de la Cordillera Andina de topografía abrupta formada por plutones y stocks del Batolito Costanero, emplazado con rumbo NO-SE, el mismo que ha sido disectado por los ríos y quebradas que se abren camino hacia la costa, formando valles profundos con flancos de fuerte inclinación, en donde las crestas más elevadas se estiman entre los 900 y 3,600 m. reflejando la fuerte erosión de los ríos durante el Pleistoceno-reciente.

Las estribaciones de la cordillera occidental terminan hacia el Oeste en la zona de lomas con pendientes menos abruptas y menores de 30°.

•Zona Andina

Se extiende en el sector Este del área estudiada, comprendiendo a una serie de mesetas y altiplanicies que se continúan al Este en los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí. El relieve presenta superficies suaves onduladas con contornos irregulares y cotas hasta de 2,800 m. de altura donde sobresalen los picos o cumbres formados en volcánicos piroclásticos que se elevan hasta los 3,500 metros.

Estas planicies labradas en tobas o ignimbritas terciarias presentan una ligera inclinación al Oeste reflejando una superficie de erosión labrada en el batolito, sobre la cual se han depositado. En estas mesetas tienen su nacimiento numerosas quebradas que bajan a la costa o que discurren a los valles Lurín y Rímac.

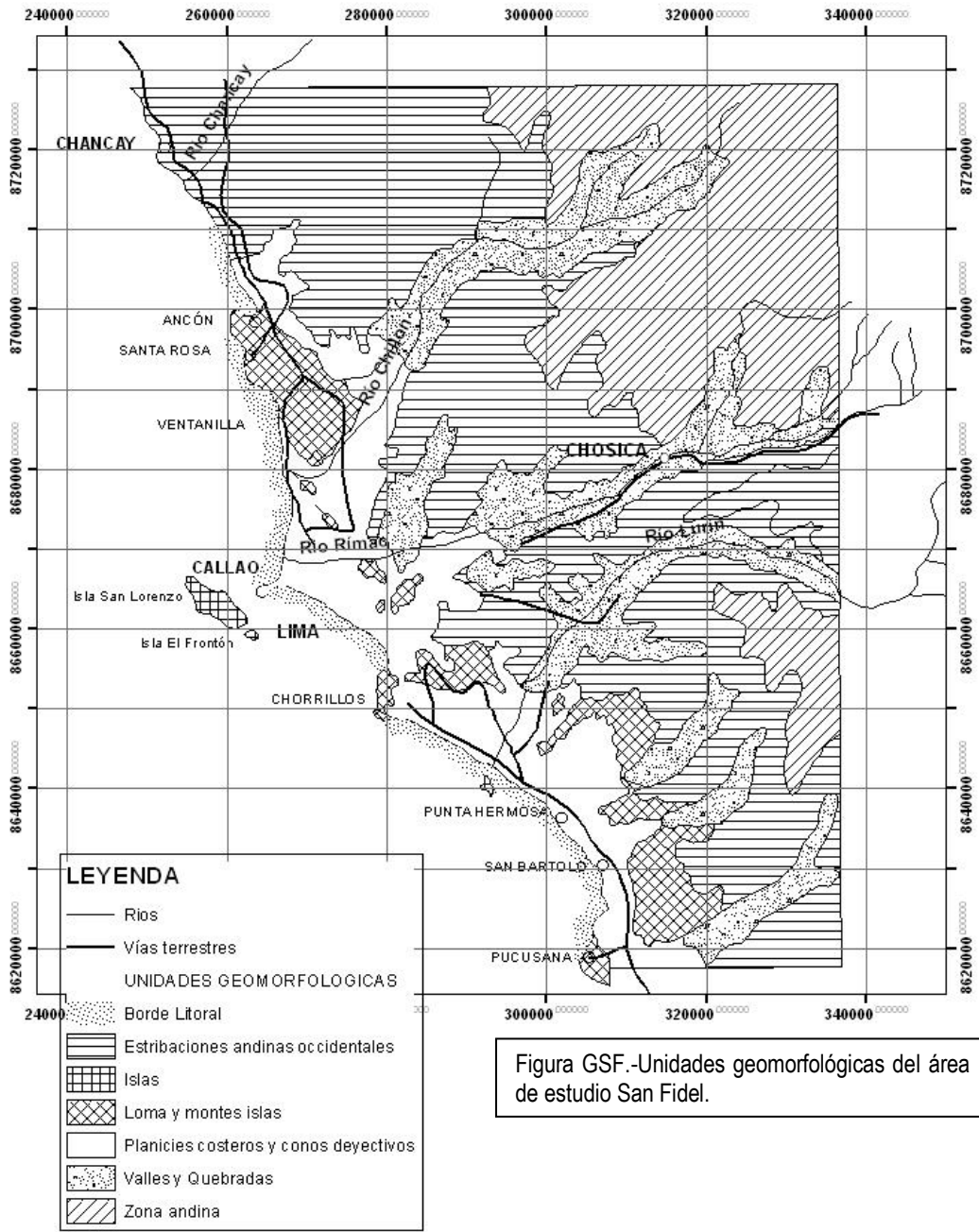


Figura GSF.-Unidades geomorfológicas del área de estudio San Fidel.

2.1.- SISTEMA HIDROLÓGICO.

La zona está cortada por ríos de naturaleza joven, torrentosos, característicos de la faja occidental de la Cordillera de los Andes.

Las principal cuenca colectora de las aguas que precipitan en la zona andina son los valles del Rímac y Canchacaylla.

El río Rímac nace en las alturas de Ticlio, presentando un valle encañonado y teniendo como principales afluentes al río Canchacaylla y quebrada de Jicamarca por la margen derecha y al río Blanco por la margen izquierda. Este río es el de mayor caudal entre los que drenan la zona, y su poder erosivo es tan fuerte que en épocas de intensas precipitaciones erosiona y socava los taludes del valle, arrasando chacras, carreteras y viviendas. Así mismo de las quebradas laterales se originan fuertes avalanchas de lodo y rocas que se conocen como huaycos y que han ocasionado pérdidas materiales y humanas.

2.2.- GEOLOGIA REGIONAL.

En la costa central del Perú sedimentos de origen marino y estratos volcánicos predominantemente del Cretáceo inferior fueron intruidos durante el Cretáceo superior al paleoceno por la costa batolítica presentando estadios principales de emplazamiento batolítico la región estuvo levantándose, peniplanicies y cubiertos por secuencias gruesas subaereas de rocas volcánicas conocidas como el grupo Calipuy. La deposición de sedimento marino y rocas volcánicas tomaron lugar dentro de la zona del eugeosinclinal al oeste del Perú, lo cual han sido

recientemente interpretado como una cuenca marginal ensialica donde importantes unidades tecto-estratigráficas han sido reconocidas en la secuencia posterior: El grupo Morro Solar, las formaciones pamplona y Atocongo y el grupo Casma. Un resumen histórico de esta secuencia estratigráfica es presentado a continuación:

2.2.1.- ESTRATIGRAFIA

El estudio estratigráfico del área que comprende el presente estudio se enmarca en la cuenca de Lima, la cual se ubica en el sector occidental y central del Perú. En ella se distinguen cuatro ciclos sedimentarios, que van probablemente desde el Jurásico hasta el Cretácico superior. (Plano GRSF-01)

La cronología está determinada por la información paleontológica, las relaciones estratigráficas y las dataciones radiométricas en las rocas del Batolito realizadas principalmente por Cobbing, E. J. y Pitcher, W. S.

Es de destacar que coetáneamente con la sedimentación se desarrolló una intensa actividad volcánica, la misma que en el sector costanero, tanto de Norte a Sur como de Oeste a Este, se interdigita con la secuencia sedimentaria para hacerse predominantemente volcánica a lo largo de la faja del borde occidental andino, coincidiendo aproximadamente con la zona de emplazamiento del Batolito de la Costa.

El ciclo sedimentario más antiguo evidenciado en el sector Norte-Este de Lima, corresponde a una facies volcánico-sedimentaria de edad Jurásico Cretácica, dentro de la cual se puede reconocer hacia el Este la Formación Arahua, y hacia el Oeste el Grupo Puente Piedra con volcanismo predominante cuyos focos magmáticos estuvieron hacia el Occidente y de edad ubicada entre fines del Jurásico y comienzos del Cretáceo. Le sigue un ciclo eminentemente sedimentario clástico de edad Neocomiano inferior y hacia la parte oriental una facies eminentemente clástico de edad Neocomiano inferior y hacia la parte oriental una facies eminentemente volcánica denominada como Formación Yangas, luego deviene en el Neocomiano superior un tercer ciclo con facies arcillo-calcárea representado por las Formaciones Pamplona y Atocongo, las mismas que constituyen una edad sedimentaria continua. Finalmente en el Albiano deviene nuevamente un ciclo sedimentario-volcánico con un volcanismo continuo hasta probablemente el Cenomaniano, se presenta controlado por la presencia de diferentes focos de emisión magmática ubicados en el sector oriental del área. El ciclo está representado por el Grupo Casma el mismo que, tanto al norte como al sur de Lima ha sido diferenciado en varias formaciones, caracterizadas por secuencias litológicas diferenciables y cartografiables, constituyendo unidades lito-estratigráficas, pero que en gran parte se componen de una acumulación volcánica monótona sin fósiles y pobremente estratificadas, lo que dificulta su correlación con las formaciones sedimentarias que tienen límites de base y tope reconocidos.

La sedimentación mesozoica al Este, tiene encima discordante a la serie continental Terciario representada por una gruesa acumulación predominantemente volcánica que ocupa el sector Este y Nor-este del área de estudio.

El Batolito de la Costa ha intruido al paquete sedimentario y volcánico causando un metamorfismo térmico notable, silicificando las rocas pre-existentes y/o dando lugar a pizarras, cuarcitas y mármoles. Así mismo es importante anotar para toda el área, el emplazamiento de numerosos diques andesíticos, vinculados al magmatismo de Casma o manifestaciones tardías del Batolito.

En la zona andina alta sobre las rocas volcánicas terciarias, se encuentran depósitos testigos de una actividad en forma de fluvio glaciares y en la faja costanera sobre la secuencia marina mesozoica se asientan los depósitos cuaternarios aluviales y fluvio aluviales, teniendo importancia económica los primeros, como materiales de construcción.

A continuación se describen las unidades estratigráficas, tanto de la zona costanera como de la zona del borde occidental andino hacia el Este.

•Grupo Morro Solar.

La formación Puente piedra está conformado por 2000 m. de lavas pillow basálticos y brechas intercaladas con margas fosilíferas lutitas y lentes de limonita de edad Berriasiano, forma la parte mas baja del grupo Morro Solar.

Hay un adelgazamiento de flujos de lava hacia el este señala que sus alimentadores sitúan al oeste del afloramiento principal de estas unidades yacen en la cuenca Chillón a lo largo de la costa al norte de Lima; secuencias correlacionables son presentados desde la latitud del río Lurín y de las aéreas de Pucusana y Mala.

Concordantemente sobreyacen a la formación Puente Piedra son las areniscas y lutitas de la formación Salto del Fraile, Herradura, y formación Marcavilca.

Más de 500m. de alternancia de estratos clásticos fluvialicos y deltaicos de la base predominante pizarrosa al tope cuarcítico de esta formación Wilson concluyo que estos estratos clásticos fueron depositados dentro de una cuenca cerrada aislada del océano por tierras positivas al oeste del cual los sedimentos fueron largamente derivados.

•**Formación Pamplona y Atocongo**

Constituida por lechos delgados de margas fosilíferas y lechos de limonita los cuales llegaron progresivamente gruesos en la secuencia 1200m. de gruesos secuencia litológica de la formación pamplona y Atocongo. El contacto basal con la secuencia cuarcítica es transicional y consiste de lechos de arena limosa.

Estas formaciones representan una secuencia transgresiva de estratos carbonosos subyaciendo las rocas volcánicas del grupo Casma. Sus ensambles fosilíferos son carentes de fósiles guías.

Pero los clásticos del Morro Solar y los carbonatos Pamplona y Atocongo son caracterizados por fauna provisional del Valanginiano y Aptiano. La fauna peculiar es una indicación adicional de lo aislado de la cuenca.

Cuadro 1.- Cronoestratigrafía de la Cordillera Occidental del Perú central.

Tomado de INGEMMET (1996)

EDAD		UNIDAD ESTRATIGRAF.	POT. mt.	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUAT.	r.	Aluviales	*** **	Conglomerado, arenas, limos y arcillas (mezcla heterogénea).	
		pl.	Dep. Glaciar	*** **		
	Terciario		Fm. Huarochiri	900	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ = = = = =	Tobas riolíticas a riolíticas.. Ignimbrita riolítica color rosado.
			Volc. Millotingo	500	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽	Andesitas verde-violáceo y traqui- andesita, intemperizadas a color rojo.
			Fm. Colqui	600	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ----- ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽	Andesitas intercaladas con lodolitas y areniscas, brechas tobáceas, lavas porfíricas.
			Grupo Rímac	1200	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽	Tobas dacíticas y andesíticas, intercaladas con areniscas, muestran color rojizo violáceo por intemperismo.
	Volc. Quilmaná	700	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽	Andesitas en parte silificadas, color gris verdoso y metavolcánicas.		
MESOZOICO	Cretáceo		Fm. Huarangal	1000	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ----- ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ----- ▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽	Aglomerados, andesitas porfíricas y brechas, intercaladas con andesitas y calizas arcillosas con chert; areniscas, piroclásticos, lavas dacíticas.
			Fm. Atocongo	400	----- ----- ----- ----- -----	Caliza bituminosa, lutitas y margas con caliza chertica.
			Fm. Pamplona	500	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ----- ----- -----	Tobas blanquecinas, lutitas, margas y areniscas, volcánicas calizas carbonosas y chert.
			Fm. Yangas	700	▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽ ----- ----- -----	Andesitas masivas, lodolitas, margas silificadas con chert.
			Fm. Arahua	+ de 1000	----- ----- ----- ----- -----	Metavolcánicas andesíticas con lodolitas calcáreas, calizas bituminosas, andesitas, hornfels.

Grupo Casma

En una escala regional el grupo Casma es originalmente propuesto por Myers y abarca de 6000 a 9000 m. de roca volcánico - submarino y rocas sedimentarias. Que localmente ha estado subdividido en varias formaciones. En la región central costera del Perú amonites del Albiano han sido encontrados en la base de la secuencia y fósiles Cenomaniano han sido identificados desde la parte de arriba de la secuencia de cuencas individuales han sido delineados a lo largo de 1000 km. de longitud del cinturón volcánico; estos son las cuenca Huarmey y Rio Cañete los cuales tuvieron sus periodos principales de subsidencia durante el Albiano y Neocomiano al Albiano respectivamente. La región entre los valles del rio Lurín y Rímac es asumido a representar el área de interconexión entre las dos cuencas.

Facies característicos bien definidos del oeste al este se encuentran en el grupo Casma en la costa central del Perú. Las facies occidentales consisten de lavas basálticas a andesitas, brechas, y brechas hialoclastitas intercalaciones esporádicas sedimentarias con espesores medidos en el orden de 2500m. Las facies orientales están expuestas en varios valles al este del batolito esta caracterizado por una sucesión de lava dacítico y andesítica, brechas e intercalaciones de areniscas

volcanoclásticas, con lentes calcáreos oscuro, lutitas y limolitas impuras. Las rocas volcánicas del grupo Casma son coetáneas con las secuencia de limonita (**Shell**) que aflora al este del área presentada, esta polaridad litológica ha sido interpretado como un par representativo clásico de un eugeosinclinal y miogeosinclinal.

•Volcánico Quilmaná

Estos volcánicos descansan directamente sobre la Formación Atocongo y en valle del Rímac se les encuentra como techos colgantes afectados por el Batolito, pasando por la quebrada de Jicamarca al valle del Chillón.

A lo largo del Batolito han sido metamorfizados constituyendo una meta-andesita de color oscuro, dura y en partes silicificada; tal como se puede ver en la localidad de Santa Clara, Km. 21 de la Carretera Central.

Litológicamente está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados, de textura porfirítica, destacando los fenos de plagioclasa de una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa y en menor proporción doleritas y diabasas.

El espesor total en el valle de Chilca se estima entre 600 y 700 m. disminuyendo su grosor en el valle de Chillón donde alcanza grosores variables que van de 100 a 300 m.

Edad y correlación.- La edad de los volcánicos Quilmaná aunque no determina con pruebas paleontológicas es evidente que puede estar entre el Albiano o tal vez el Cenomaniano Inferior en la base, sin fijarse con precisión al techo, el mismo que pudiera estar en el Cenomaniano superior o Turoniano pero sin llegar al límite superior del Cretáceo, pues en partes se encuentra instruido por rocas del batolito (Superunidad Patap) datados con 95 y 102 m. a (PITCHER W. 1978).

MESOZOICO

•Formación Arahuay

Se propone esta denominación para una enorme secuencia de ftanitas, asociadas con niveles volcánicos, calizas y lodolitas que se encuentran mejor representadas en los alrededores del pueblo de Arahuay, con exposiciones a lo largo del valle del mismo nombre (afluente del Chillón), la sección superior se halla truncada por la adamelita Santa Rosa de Quives y no se conoce su base. Su posición inferior termina fallada contra el Grupo Colqui del Terciario inferior a medio, en las proximidades de Carhua y Lachaqui.

La intrusión batolítica y la cubierta terciaria hacen que sus afloramientos se prolonguen irregularmente, tanto hacia el Noreste, pasando al cuadrángulo de Canta, como al sureste de

los valles de Canchacaylla (proximidades de Huinco y San Pedro de Casta) y Rímac (entre la quebrada Buenos Aires y San Bartolomé).

Litológicamente la porción inferior se compone de derrames andesíticos, mayormente afaníticos y microporfiríticos, con estratificaciones poco definidas y recristalizadas a hornfels con tonalidades que varían entre el gris mesócrata a verde-azulino por efecto de cloritización pasando hacia arriba a una enorme secuencia de ftanitas afaníticas (cherts) en capas tabulares de 10 a 20 cm. o bancos masivos con pigmentaciones bandeadas blanquecino-rosadas, gris oscuras a verdosas, los mismos que se intercalan con capas de calizas micríticas a veces en forma de nódulos dentro de las ftanitas. La porción intermedia se compone de una alternancia de bancos moderados de calizas bituminosas con paquetes de limolitas o lodolitas ftaníticas. La sección superior se compone de metavolcánicos en capas moderadas con ftanitas oscuras o lodolitas calcáreas negras y calizas grises, intemperizadas en algunos horizontes a tonalidades rojizas. El grosor aproximado de esta formación es de 4,000 m.

Edad y correlación.- Por el momento, no es posible precisar la edad de la Formación Arahua, al no haberse encontrado evidencias paleontológicas. Por ello es necesario realizar una búsqueda de fósiles en la Quebrada Chocalla donde tiene su

mejor exposición, si es posible recurriendo a estudios palinológicos o de microfósiles. Según la interpretación estructural del área, en el que se considera a este sector como el flanco oriental de un sinclinal, aparentemente la secuencia decrece estratigráficamente de Suroeste a Este, y siendo así, la Formación Arahua parece encontrarse debajo de la Formación Yangas, es decir, sería cronoestratigráficamente equivalente al Grupo Puente.

•Grupo Rímac

Esta unidad se encuentra distribuida ampliamente en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental Andina (Huarochirí), llegando a la parte oriental de Lurín y Chosica con un rumbo general NW-SE, habiéndose depositado en discordancia angular ya sea sobre el Grupo Casma o sobre una superficie de erosión labrada en el batolito.

En Matucana y Huarochirí, SALAZAR H. (1974) ha reconocido en la parte inferior una secuencia volcánico-sedimentaria, seguida de otra sedimentaria tobácea, luego otra tobácea y en la parte superior otra volcánico-sedimentaria.

En Chosica el Grupo Rímac se manifiesta igualmente con una interposición de rocas volcánicas mayormente piroclásticas y

sedimentarias que alteran a una coloración rojizo-violáceo muy característica.

Al Noroeste de Lurín, descansando sobre el Volcánico Quilmaná (Grupo Casma) aflora una gruesa secuencia del Grupo Rímac, la misma que se va engrosando hacia el Este. Allí se tiene brechas andesíticas de color gris azulino a verdoso con sedimentos como lutitas y calizas margosas pardo amarillentas. Hacia la parte media se tienen tobas de composición andesítica y derrames andesíticos porfiroides a veces afaníticos de color gris verdoso pasando a coloraciones violáceas por intemperismo. En la parte superior tobas de composición ácida de grano fino y algunas intercalaciones de tobas lapillíticas. En este sector parece ser que la secuencia inferior del Grupo Rímac se encuentra afectado por intrusivos tonalítico-dioríticos de la superunidad Santa Rosa.

En el valle del Rímac y en la parte alta del valle de Canchacaylla así como en el valle del Chillón se encuentran las mejores exposiciones de este grupo siendo su relación clara con respecto al Batolito y al Grupo Casma que los cubre discordantemente. Más al norte se le encuentra fallado contra la Formación Arahua. Litológicamente está constituido de una gruesa secuencia masiva de volcánicos tobáceos y sedimentos clásticos que se pierden lenticularmente.

La columna litológica entre Lachaqui y Canta muestra en la parte inferior tobas en bancos masivos, de color blanco-grisáceo brechas tobáceas con abundantes fragmentos piroclásticos, seguidos en la parte media de una intercalación de limolitas, lodolitas calcáreas, areniscas tobáceas y algunos niveles de calizas gris oscuras a negras con lavas andesíticas moradas a marrones a veces porfiroides.

En la parte superior se tienen conglomerados con material volcánico, piroclásticos, areniscas conglomerádicas y limolitas rojas. En el techo se observan lavas fluidales con grandes plagioclasas tabulares, luego lavas porfiríticas gris verdosas así como tobas blanco-rosadas masivas.

Edad y correlación.- Por su posición estratigráfica enmarcada dentro de una discordancia post-mesozoica y pre-terciaria superior se le puede asignar una edad de Terciario inferior a medio. Esto se ve corroborado con la datación de 40.7 m.a. en tufos riolíticos tomados por MEGARD F. (1979) cerca de Santo Domingo de Los Olleros (160 km al Este de Lima); los mismos que descansan sobre una superficie de erosión que recorta al Batolito; por lo que el límite inferior de su edad estaría en el Eoceno-Oligoceno.

Se le correlaciona con los volcánicos Carlos Francisco del sector Este de Matucana y con el grupo Sacsaquero de la zona de

Huancavelica y Castrovirreyna; así como con los Grupos Calipuy y Puno del Norte y Sur respectivamente.

CENOZOICO

El Terciario Continental que se expone al Este del área relevada descansa discordantemente sobre una superficie de erosión que afecta al Batolito Costanero y a la columna volcánico-sedimentaria del Mesozoico; siendo la unidad más baja en nuestra área el Grupo Rímac, le sigue en la parte superior la Formación Colqui, cerrándose así un episodio volcánico sedimentario que va del Terciario inferior al Terciario medio. Discordantemente sobre esta columna volcánico-sedimentaria yace el Volcánico Millotingo del Terciario medio a superior y el volcánico Huarochirí del Terciario superior.

DEPOSITOS CUATERNARIOS

•Depósitos aluviales

Estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por los ríos que bajan de la vertiente occidental andina cortando a las rocas terciarias, mesozoicas y Batolito Costanero, tapizando el piso de los valles, habiéndose depositado una parte en el trayecto y gran parte a lo largo y ancho de sus abanicos aluviales, dentro de ellos tenemos: aluviales pleistocénicos (más antiguos) y aluviales recientes.

•Depósitos aluviales pleistocénicos

En el área éstos se encuentran formando los conos de deyección de los ríos Rímac y Lurín ostentando espesores del orden de decenas de metros, sobre los que se asientan los centros urbanos y la agricultura por lo que adquieren una significativa importancia para la región; ya que ellos contienen acuíferos notables que dan vida a numerosas poblaciones y gran parte de la agricultura.

El principal depósito aluvial pleistocénico lo constituye el antiguo cono aluvial del río Rímac, donde se asienta la ciudad de Lima, teniendo su separación interfluvial con el río Lurín debajo de las arenas eólicas entre el cerro Lomo de Corvina y playa Conchán y con el río Chillón en la playa de Márquez.

También se ha incluido dentro de estos depósitos las acumulaciones aluviales desérticas provenientes de quebradas y ríos afluentes ahora secos y desérticos como Río Seco y las quebradas: Huarangal, La Molina, Canto Grande, Pucará, Malanche, Cruz de Hueso, Chamaure, Honda, etc. En muchas de ellas cuando las lluvias han sido abundantes en los contrafuertes andinos se han producido corrientes lodosas y huaycos. En Qda. Honda (km. 50 Panamericana Sur), estos

depósitos de conos aluviales desérticos llegan hasta la bahía de Naplo.

La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos vistos a través de terrazas, cortes y perforaciones comprende conglomerados, conteniendo cantos de diferentes tipos y rocas especialmente intrusivas y volcánicas, gravas subangulosas cuando se trata de depósitos de conos aluviales desérticos debido al poco transporte, arenas con diferentes granulometría y en menor proporción limos y arcillas.

•**Depósitos aluviales recientes**

Estos depósitos están restringidos a franjas estrechas a ambos márgenes de los ríos, en los valles Rímac, Lurín y Chilca.

Los depósitos más jóvenes incluidos dentro de estos aluviales recientes son materiales que se encuentran en el lecho actual de los ríos, los que en áreas planas y bajas de los valles pueden alcanzar amplitud como la que se observa en la desembocadura del río Rímac (playa Márquez), y el río Lurín.

Los materiales constituyentes son principalmente cantos y gravas subredondeadas con buena selección en algunos casos de matriz arenosa; se los puede considerar como depósitos fluvioaluviales; generalmente ofrecen condiciones desfavorables para la agricultura por ser muy pedregosos.

•**Depósitos Cuaternarios**

Están constituidos por materiales llevados en suspensión por las masas glaciares que en aquellos tiempos bajaban hasta esta zona desde las alturas de Millo y Marcapomacocha. Se trata de limos y arcillas conteniendo elementos heterogéneos subangulosos a subredondeados que forman restos de morrenas laterales de fondo y retroceso, los mismos que se les encuentra a alturas superiores a los 2,700 msnm.

2.2.2.- ROCAS ÍGNEAS.

Las rocas intrusivas relevadas en el área corresponden a cuerpos subvolcánicos de intrusiones tempranas, y a cuerpos plutónicos que constituyen el batolito de la costa; así como algunas intrusiones subvolcánicas menores de emplazamiento posterior.

•**Intrusiones subvolcánicas**

Se trata de cuerpos hipabisales, emplazados cerca a la superficie en forma de diques, sills o stocks, los mismos que cortan a la columna sedimentaria de Lima desde el Grupo Puente Piedra hasta el Grupo Casma.

Se manifiestan a lo largo de toda la Costa habiendo sido también reconocidos en los relevamientos de la costa Sur

(Chala, Chaparra, OLCHAUSKY, 1980 y San Juan, Acarí y Yauca, CALDAS J. 1978).

Se caracterizan por su composición mayormente andesítica, de coloración verdosa, con pasta microgranular, en algunos casos porfiroides como ocurren en muchos sills entre Atocongo y Lurín. Los stocks son cuerpos de regular dimensión que se extienden marginales al Batolito y que intruyen a las Formaciones Chilca y Quilmaná en el Sur y a la Formación Atocongo, Formación Huarangal y Formación Quilmaná en el valle de Lurín. Se trata también de rocas andesíticas, las que en estudio macroscópico tienen como característica física su color verde, con fenos de plagioclasas tabulares, dentro de una pasta afanítica microlítica y algunos cristales de tremolita-actinolita. Como minerales accesorios se ven hornblendas, clinopiroxenos, cuarzo y como minerales secundarios calcita, hematita, sericita y limonita.

Edad.- Si tenemos en cuenta que intruye a la Formación Atocongo y al Grupo Casma y que a su vez son intruidos por el Batolito se infiere su edad como Cretáceo superior.

•El Batolito de la Costa

Las rocas intrusivas plutónicas han sido relevadas por COBBING; habiéndose adaptado la clasificación y nomenclatura establecida por PITCHER W. (1978) en unidades

que tienen idénticas relaciones, la misma variación modal y de alguna manera la misma fábrica y textura, y han sido denominadas super familias o superunidades. El orden cronológico, de lo más antiguo a lo más joven es el siguiente:

•**Superunidad Paraíso**

Aflora en el sector Noreste de Chosica, extendiéndose hacia la esquina Noreste de Chancay, continuando por el Norte en Huaral y Canta (quebradas: Orcón y Paraíso).

Al microscopio destacan plagioclasas, cuarzo como agregados, hornblendas poikilíticas y biotitas, llegando a clasificarse en algunos casos tonalitas variando a dioritas. Cuando la roca es más ácida las plagioclasas se presentan más desarrolladas y zonadas y de forma euhedrales; se podría inferir que pueden ser coetáneos, es decir que su edad podría estar entre 95 y 100 millones de años.

•**Superunidad Patap**

Esta superfamilia está constituida por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del Batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con intervalos que pueden variar entre 84 y 102 m.a. (PITCHER W. 1985).

Gabros y Gabrodioritas .- La textura de la roca varía de grano medio a grueso conteniendo plagioclasas en un 30% y

ferromagnesianos en un 60% lo que le da un peso específico alto, destacando hornblenda y biotitas. Al centro este cuerpo presenta un típico color oscuro de gabro y un brillo vítreo.

Es de resaltar un proceso de epidotización cerca al contacto con las adamelitas, así como una contaminación con cuarzo, convirtiéndola en una diorita, cuarzo piroxénica. Además contiene ortopiroxeno (Enstatita) en granos que muestran la estructura de "Schiller". En las rocas alteradas (gabrodioritas y dioritas cuarcíferas) la hornblenda es el mineral máfico esencial, se presenta en cristales poikilíticos o idiomórficos de color verde pálido a verde azulado oscuro, los piroxenos son menos comunes y en algunos casos no existen y con frecuencia las plagioclasas están zonadas.

Intruyen a las rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico a las que metamorfizan, dando lugar a contactos externos por lo general verticales.

Parece ser que los gabros se emplazaron contemporánea o ligeramente posterior a la fase compresiva que se asume ocurrió en el Cretáceo terminal. Para PITCHER W.S., estos cuerpos se emplazaron traslapando en el tiempo a la fase compresiva intracretácea (Albiano) sugiriendo un emplazamiento a presión, pero que sin embargo muchas intrusiones gabroides son post-tectónicas. En muchos casos

los gabros cortan a los estratos albianos y deben por tanto ser más jóvenes que 107 m.a., Pitcher et al. (1985). De todos modos parece cierto que estos cuerpos son Cretáceos. STEWART et. al. (1974) ha datado una muestra de gabrodiorita extraída de Machay, habiendo obtenido, por el método K/AR 89 + -2 m.a. sobre biotita y 74 + -12 m. a. Sobre hornblenda; es decir que su edad se ubica en el Cretáceo superior.

Dioritas (comunes).- Presentan texturas holocristalinas, resaltando las plagioclasas en una proporción que llega de 80% a 85%, así como hornblendas entre 5% y 10%; así mismo muestran adiciones de cuarzo en los contactos con las tonalitas de la Superunidad Santa Rosa, así como calcita allí donde intruye a las secuencias calcáreas, produciendo la alteración de las hornblendas o del material carbonatado.

Diorita xenolítica.- Las rocas relevadas bajo esta denominación son dioritas oscuras que muestran enclaves también oscuros, a manera de xenolitos, los que según PITCHER W. (1979) pueden deberse a un proceso de refusión en profundidad, o a procesos normales de diferenciación cristalina.

Los xenolitos presentan un peso específico mayor que la diorita misma. Esta característica xenolítica en el Batolito también se presenta en las granodioritas y tonalitas del segmento Lima.

COBBING J. y PITCHER W. (1973) señalan xenolitos microdioríticos en la Unidad Puscao de la quebrada del mismo nombre.

La diorita xenolítica han sido clasificadas como metadioritas porfiríticas, observándose al microscopio plagioclasas mayormente como relictos y asimismo vestigios de biotita y hornblenda descompuesta a minerales opacos, originando, como resultado de las intrusiones tonalíticas o granodioríticas posteriores, productos secundarios por alteración hidrotermal, presentando en partes procesos de uralitización.

La edad asignada por PITCHER W. et. el. (1985) para los gabros jóvenes del Segmento Lima puede variar entre 75 ± 3 y 92 ± 2 M.a., con datación K/Ar.

2.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.3.1.- TECTONICA REGIONAL

La paleontología y sedimentología de la secuencia inferior del cretáceo muestran que las cuencas fueron desarrolladas dentro de un mar interior apartado a lo largo de las áreas continentales. Las áreas de procedencia de rocas sedimentarias de aguas pocas profundas y rocas volcánicas estuvieron localizadas en su mayoría hacia el oeste.

Indicado de que el Precambriano hasta el macizo paleozoico Arequipa tiende una extensión hacia el norte que fue relativamente elevada durante este tiempo.

En contraste, durante el Albiano al Cenomaniano el volcánico Casma fue extruido rápidamente en cuencas sedimentarias

El volcanismo consistió de erupciones fisura de basalto en la cuenca occidental; hacia el Este, el volcánico Casma se entierra progresivamente aumentando las cantidades de rocas sedimentarias.

Centros volcánicos en forma de domos de lava félsica y de brechas tobácea han sido reconocidos ambos en las facies occidentales y orientales. El escenario marco es una de una cuenca marginal, en el cual un cinturón de corteza nueva estuvo generado por el volcanismo basáltico submarino probablemente durante un período de extensión crustal y los valores bajos extendiendo mensaje confirmatorio para esta tectónica, El régimen de los estudios de metamorfismo profundo, el cual indica la presencia de gradientes geotermales altas además, los contornos gravitacionales y sísmicos presentados por Jones (1981).

Este arco semejante como la anomalía cortical desaparece al norte de la cuenca Huarmey y el sur de la cuenca del río Cañete, esto es interpretado para conformar rocas máficas en forma de corteza oceánica o las cuencas complejos intruidas; la interpretación posterior está favorecido considerando la abundancia de gabro a lo largo del

cinturón entero los cuáles son particularmente coetáneas con los gabros del volcánico Casma y posteriormente las rocas graníticas del batolito costero son indicativos procedentes de un manto con contaminación por precámbrico sólo al sur río Lurín

2.3.1.1.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN EL BORDE OCCIDENTAL ANDINO

En el sector Noreste del área, la cobertura terciaria descansa discordantemente sobre una superficie de erosión que afecta al Batolito costanero y a las formaciones volcánico-sedimentarias del Mesozoico. Dicha cobertura se encuentra plegada y fallada como consecuencia de las tectónica andina que ha actuado en diferentes fases, evidenciadas por discordancias angulares, las mismas que separan ciclos de deposición volcánicos y volcánico-sedimentarios.

La cronología de la tectónica andina que afecta a este sector es la que se describe a continuación:

•Fase del Cretáceo superior

Esta fase tectónica, primera de la tectónica andina en la Cordillera Occidental fue definida por STEINMANN G. con el nombre de “**Fase Peruana**”. En el sector parece, en parte, traslaparse con el emplazamiento del Batolito Andino.

Esta fase caracterizada regionalmente por un cambio brusco en la sedimentación marina y reemplazada por otra continental molásica

muestra acontecimientos tectónicos como plegamientos cuyos ejes tienen un rumbo NO-SE.

En el área de estudio esta tectónica afecta a la columna sedimentaria-volcánica mesozoica incluyendo a los volcánicos Quilmaná del Grupo Casma, Grupo Rímac con un plegamiento abierto.

En la parte oriental se tiene el Grupo Casma que puede llegar al Coniaciano discordante debajo del grupo Rímac datado como Eoceno-Oligoceno, sin observarse sedimentación intermedia, la discordancia que los separa puede corresponder a un plegamiento de la Fase **Peruana ó Fase Incaica**. De todos modos parece lógico suponer que ambas fases han actuado, pero que siendo esta última la más intensa en el sector occidental andino se postula que fue la Fase Peruana la que dio lugar a plegamientos abiertos en el valle del Rímac, Canchacaylla y Chillón, y que después sus estructuras fueron apretadas y replegadas por la fase incaica.

Fase del Terciario inferior

Esta fase tectónica es evidenciada a todo lo largo de la Cordillera Occidental Andina como una de las más fuertes, manifestándose en el borde Oeste con un intenso disturbamiento que produce plegamiento apretado y que muestra esquistocidad axial de rumbo NO-SE, afectando a las rocas sedimentarias y volcánicas mesozoicas, replegándolas.

En Cocachacra rocas sedimentarias y volcánicas atribuidas a la Formación Arahua y Grupo Casma, limitadas ambas por un fallamiento andino, presentan pliegues concéntricos e isopacos que bien pueden haber sido causados por la Fase Peruana, pero más al Norte en el sector de Huinco, rocas calizas y cherts de la Formación Arahua muestran un replegamiento muy apretado con pliegues en chevrón, relacionados a pliegues mayores de primer orden que permiten interpretar al SO un sinclinal regional.

La edad de esta fase tectónica está limitada por las rocas volcánicas del Grupo Rímac, que sepultan sus estructuras y por las Capas Rojas Casapalca a las cuales pliega. Habiendo datado MEGARD F. (1979) el piso del Grupo Rímac cerca de Sto. Domingo de los Olleros en 40 M.a. La Fase Incaica sería ligeramente más antigua y por lo tanto según MEGARD D. probablemente sea contemporánea con el cambio de dirección de la Placa Oceánica ocurrida hace aproximadamente 43 M.a.

Fases del Terciario superior (Mioceno-plioceno)

Se trata de una serie de subfases compresivas, aunque de menor intensidad que la Incaica, que se exponen a través de pegamentos y fallamientos que afectan al Grupo Rímac y Colqui y a los volcánicos Millotingo y Huarochirí.

Los pliegues son amplios cilíndricos con una dirección axial que va desde N 45° hasta N-S, lo cual determina fuerzas de compresión NE-SO hasta E-O.

El fallamiento podría estar vinculado en muchos casos a fracturas preestablecidas. Según MEGARD F. (1979) la Subfase Porche sería de edad Mioceno inferior y pliega al Grupo Rímac y a la Formación Colqui, mientras la Subfase Eoquichuana correspondería al Mioceno superior y pliega al Volcánico Millotingo y Mioceno terminal. Finalmente la Subfase Tardiquichuana sería del Plioceno y pliega al Volcánico Huarochirí.

El plegamiento en los Volcánicos Millotingo y Huarochirí causado por las subfases 2 y 3 del Mioceno superior y Mioceno terminal – Plioceno respectivamente es más abierto, con flancos poco inclinados.

2.3.1.2.- MARCO GEOTECTONICO REGIONAL

Esta zona del área de Lima ha sido estudiada con detalle con ayuda de estaciones microtectónicas desde el año 1981 (INGEMMET boletín 43). En el sector que corresponde al borde occidental andino las rocas que son de edad mesozoica han sido afectadas por la tectónica andina (plano GE-01) cuya manifestación podemos observar distinguiendo dos sistemas de fallamiento:

- Sistema de fallamiento de rumbo NO-SE (Rumbo andino)
- Sistema de fallamiento de rumbo NE-SO (Tensional).

El primer sistema corresponde al lineamiento general para esta zona del continente en Perú (Lima) y el segundo sistema sería el componente tensional, esto último desde el punto de vista de la metalogénia este segundo sistema serían los más favorables ya que en estos sistemas de falla se emplazan los principales yacimientos (Graciela, Lionela, PERUBAR).

2.4.- Geología Histórica.

La historia geológica del área que comprende el área de Lima, Lurín y Chosica está vinculada al geosinclinal andino.

Dentro de este geosinclinal, la cuenca de Lima se ubica en el margen occidental con características de Eugeosinclinal pasando hacia el Este a miogeosinclinal. Su borde Oeste estaría en la Cordillera de la Costa y su borde este se hace difícil dejarlo dado que el batolito irrumpe, rompiendo las relaciones entre las facies occidentales y la facies oriental (Miogeosinclinal).

Sin embargo es evidente que el mar mesozoico a lo ancho de la cuenca andina se extendía hasta las inmediaciones de la Cordillera Oriental.

Las rocas más antiguas corresponden, en el Noreste del área, a sedimentos clásticos y calcáreos concomitantes con una actividad volcánica que proviene del Jurásico medio a superior (Fm. Arahuay); mientras que hacia el Oeste y Norte de Lima (sector Puente Piedra-Ancón) el vulcanismo era intenso con un foco que emitía materiales

como lavas, brechas y cenizas que se van adelgazando hacia el Sur y hacia el Este. Otro foco volcánico se ubicaría al Sur del río Chillón entre los cerros Milla y Mullería de donde los derrames y piroclásticos que se asentaban en un medio marino se adelgazan lateralmente para interdigitarse con los sedimentos arcillosos reconocidos como Formaciones Puente Inga y La Pamilla (Estudio Geológico-Tectónico del Área de Lima, INGEMMET, 1981).

Estos cambios de facies que se dan durante la sedimentación y vulcanismo Jurásico, tanto de Norte a Sur, como de Oeste a Este, han sido cubiertos en el área de Lima por una sedimentación clástica durante el Neocomiano (Grupo Morro Solar); mientras que al Noreste los focos volcánicos continuaban su eyección intermitente dando lugar a una unidad cronológicamente equivalente al grupo Morro Solar (Formación Yangas).

Estos cambios litológicos se observan con mayor claridad en la Formación Pamplona, la misma que en su localidad típica presenta facies arcillo-calcáreas (lutitas, margas, calizas) que se mantienen hasta Lurín, para cambiar al Sur entre Santa María, Pucusana y Chilca, donde su litología es clástico-volcánica: conglomerados, areniscas volcánicas, grawacas, derrames piroclásticos y en menor proporción calizas. Esto nos sugiere hechos como que, durante este época, hubo una sedimentación relativamente tranquila al Norte de Lurín con aporte de materiales del Oeste; mientras al Sur probables

movimientos tafrogénicos daban lugar a una erosión y sedimentación rápidas y concomitantes a la actividad volcánica.

Durante el Aptiano-Albiano la transgresión que se inició en el Valanginiano fue general a nivel del país, dando lugar a la deposición de calizas (Formación Atocongo y parte inferior de la Formación Chilca), para retirarse prontamente en algunos sectores y quedar en otros (al sur y noreste del área), donde la inmersión se prolongó hasta después del Albiano a la vez que se incrementaba la actividad volcánica (Grupo Casma).

La fauna del Albiano que podría llegar al Cenomaniano se habría encontrado en la parte noreste de Chosica y Noreste de Chancay (VELA CH., inédito).

Al retirarse los mares se produce la primera fase de compresión que levanta y pliega la columna sedimentaria de Lima incluyendo a los volcánicos del Grupo Casma.

Coetáneamente a esta primera fase tectónica o ligeramente posterior se emplazan los cuerpos más básicos y occidentales del batolito, habiendo tenido como manifestaciones precursoras la ascensión de magmas, de similar composición que llegan hasta cerca de la superficie como cuerpos subvolcánicos intrusivos. Ello quizá como prolongación del magmatismo Casma.

Esta primera fase intracretácea está presente sólo en la costa, hacia el sector andino la Fase Peruana recién se hace presente a fines del

Cretáceo produciéndose después una erosión que da lugar a la acumulación de molasas (Capas Rojas).

El batolito costanero continuó su emplazamiento a manera de pulsaciones, conformando un complejo de plutones individuales cuya acidez se hace más acentuada tardíamente (Superunidades Santa Rosa y Tiabaya).

Durante el Terciario inferior y en un área ya completamente emergida se produce una segunda fase de compresión que se manifiesta en la costa como de ruptura, observable en las unidades intrusivas del batolito y que hacia el sector andino repliega a la secuencia mesozoica y pliega a las Capas Rojas (Fase Incaica).

Luego como resultado de esta tectónica de compresión se inicia un período de distensión que da lugar a un vulcanismo continental de tipo piroclástico, el mismo que se intercala con sedimentos de facies lagunar (Grupo Rímac y Colqui). Después de lo cual se produce una tercera fase de plegamiento (Fase Quichuana) con más intensidad al Este de los cuadrángulos de Lurín y Chosica, la misma que según SALAZAR H. (1984) y MEGARD F. (1979), se da en tres subfases, con dos periodos intermedios de vulcanismo (Volcánicos Millotingo y Huarochirí).

La primera de estas subfases y la más conspicua, que pliega al Grupo Rímac y Colqui, habría ocurrido en el Mioceno inferior; la segunda, que pliega a los volcánicos Millotingo, en el Mioceno superior; y la

tercera, que pliega moderadamente a los volcánicos Huarochirí; en el Mioceno-Plioceno.

Estas características pueden estar explicadas en términos de sedimentación, volcanismo, y plegado, ambos durante la fase intermedia Cretácea Paleocena Incaica y, controlándose por una línea efectivamente, la región andina y las fallas andinas normales al Este del batolito costero fueron probablemente generadas a lo largo de una estructura del basamento profundo tendiendo fallas dextrales nordeste del sudoeste son conocidos desde la sección este de los valles del Rímac y Omas.

Una reactivación vertical importante de edad terciaria ha estado registrada en la falla Agua Salada en el valle del Rímac al este de falla la disconformidad de Casma-Calipuy un mínimo de 800m hacia el Este.

El batolito costero es un múltiplo y un cinturón compuesto de plutones con una tendencia global de gabro y diorita a tonalita y granodiorita

Finalmente a fines del Terciario y comienzos del Cuaternario se inicia otro proceso erosivo intenso el mismo que se prolonga hasta la actualidad, profundizando valles, denudando y acarreando materiales hacia las llanuras costeras formando los abanicos aluviales que se extienden entre Chancay, Lima y Lurín y que alcanzan una potente secuencia de arena, cascajo y material conglomerádico que forma el soporte de la ciudad capital. Durante el Cuaternario antiguo parece ser

que las lluvias fueron intensas lo que ocasionó un acarreo fuerte con el consiguiente relleno de los conos aluviales en las quebradas laterales.

2.5.- GEOLOGÍA LOCAL.

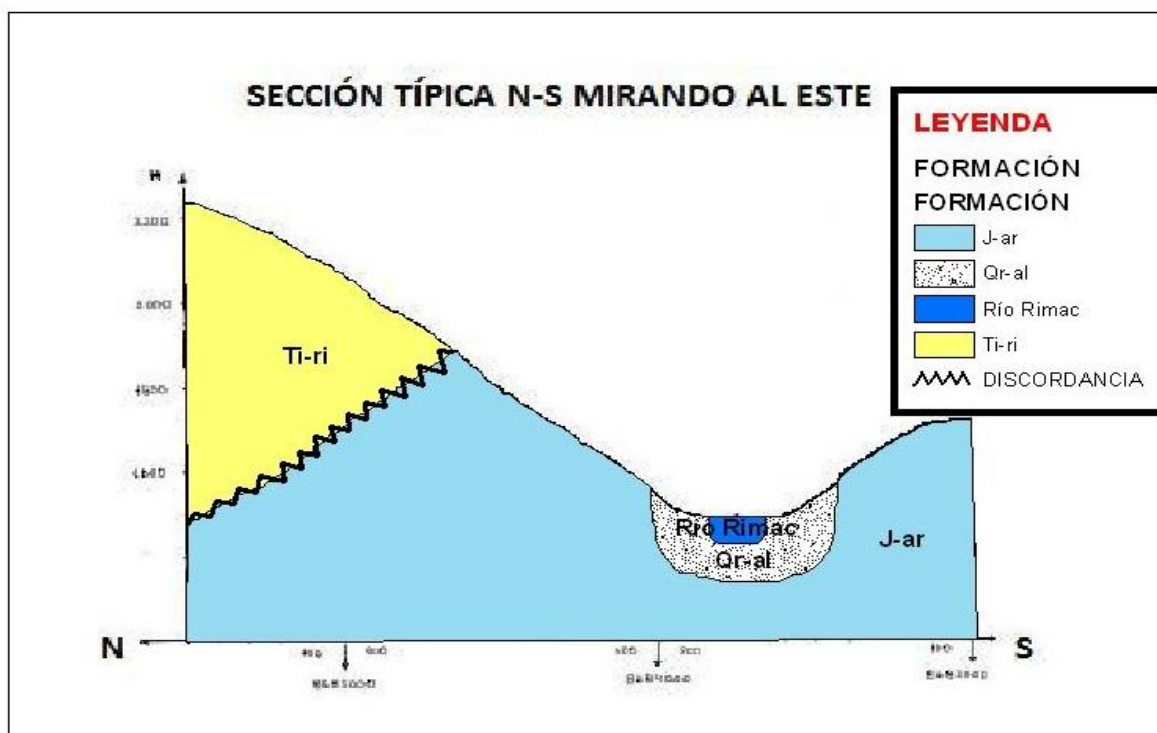
Gran Parte del área estudiada se encuentra enmarcada dentro de los volcánicos del grupo Rimac y la Formación Arahua.

Litológicamente la roca en el área de estudio se compone de derrames andesíticos, microporfiríticos, con estratificaciones poco definidas y recristalizadas a hornfels con tonalidades que varían entre el gris mesócrata a verde-azulino por efecto de cloritización en capas tabulares de 10 a 20 cm. o bancos masivos con pigmentaciones bandeadas blanquecino-rosadas, gris oscuras a verdosas, los mismos que se intercalan con capas de calizas micríticas a veces en forma de nódulos dentro de las ftanitas. El grosor aproximado de esta formación es de 4,000 m.

•Grupo Rímac (Ti-ri)

Esta unidad se encuentra distribuida ampliamente en el área de estudio Andina (Huarochirí), llegando a la parte oriental de Lurín y Chosica con un rumbo general NW-SE, habiéndose depositado en discordancia angular ya sea sobre el Grupo Casma o sobre una superficie de erosión labrada en el batolito (Plano GLSF-02), en esta área este grupo sobreyace a la formación Arahua localmente y la alteración afecto a

las dos unidades donde definimos las anomalías que hacen del proyecto un prospecto con posibilidades positivas.



En el muestreo geoquímico un porcentaje de las muestras fueron tomados en esta unidad (Grupo Rímac) que se manifiesta igualmente con una interposición de rocas volcánicas mayormente piroclásticas y sedimentarias que alteran a una coloración rojizo-violáceo muy característica.

Debemos mencionar que en este sector parece ser que la secuencia inferior del Grupo Rímac se **encuentra afectada por intrusivos tonalítico-dioríticos de la superunidad Santa Rosa.**

En el valle del Rímac y en la parte alta del valle de Canchacaylla se encuentran las mejores exposiciones de este grupo siendo su relación clara con respecto al Batolito y al Grupo Casma que los cubre

discordantemente. Más al norte se le encuentra fallado contra la Formación Arahuay.

Litológicamente está constituido de una gruesa secuencia masiva de volcánicos tobáceos y sedimentos clásticos que se pierden lenticularmente.

En la parte superior se tienen conglomerados con material volcánico, piroclásticos, areniscas conglomerádicas y limolitas rojas. En el techo se observan lavas fluidales con grandes plagioclasas tabulares, luego lavas porfiríticas gris verdosas así como tobas blanco-rosadas masivas.

En la secuencia volcánica se observa mantos silicificados con trazas de calcita, barita, pirita y zinc, estos mantos parecen ser tener poca continuidad lateral (de 200 a máximo de Zn es de 1114 ppm y plata de 1.5 ppm. Por las características antes mencionadas y de acuerdo a lo que conocemos de PERUBAR; **San Fidel representaría la parte periférica de la parte Oeste podría tener mineralización económica por su cercanía con la ventana exhalativa mineralizadora ya que en la parte Este, el sistema estaría finalizando.** Por otro lado la mineralización epigenética esta representada por vetas que afloran en forma discontinua a cotas mas bajas de rumbo N20⁰ 40E de buzamiento subvertical con longitudes en afloramientos que alcanzan los 300 ms. con potencia de (0.40 m a 1.0 m.)



Fotografía N° 1.- Vista del flanco derecho del valle de río Rímac donde se emplaza el prospecto San Fidel. Resaltan sistema de fallamiento.



Fotografía N° 2.- Vista panorámica cubriendo el flanco derecho del valle de río Rímac donde se emplaza el prospecto San Fidel.



Fotografía N° 3.- Vista parcial de la parte superior del flanco derecho del valle de río Rímac donde se emplaza el prospecto San Fidel. Resaltan sistema de fallamiento.

SEDIMENTOS RECIENTES EN EL AREA DE ESTUDIO

La cobertura cuaternaria en el área cubre una importante porción de las rocas aflorantes en la que se han distinguido hasta dos tipos de sedimentos recientes:

MATERIAL COLUVIAL RECIENTE.- Estos sedimentos han sido producto de la alteración superficial de las rocas aflorantes y que por efecto de los agentes meteóricos externos ambientales han afectado en forma considerable a las rocas generando partículas de roca que se acumulan al pie de las elevaciones cuya cinética se debe a la atracción de la gravedad de la tierra que actúa en forma permanente sobre esos materiales

MATERIAL ALUVIAL RECIENTE.- Estos sedimentos han sido producto de la alteración superficial de las rocas en la cabecera del río Rímac y que por efecto del transporte se ha acumulado conformando el lecho actual del río Rímac cuyo espesor se estima que deba llegar a más de 20 m, compuesto por gravas y arena cuarzosa como matriz la acumulación se debe a la fuerza de arrastre del río Rímac .

2.6.- PETROLOGÍA Y PETROGRAFIA.

En el muestreo geoquímico se tomaron muestras que sirvieron para definir la petrología de las unidades como el Grupo Rímac que son mayormente de rocas volcánicas piroclásticas y sedimentarias que presentan alteración a una coloración rojizo-violáceo muy característica, gradando a verdoso por la alteración propilítica debido a que se **encuentra afectada por intrusivos tonalítico-dioríticos de la superunidad Santa Rosa.**

En las fotografías N° 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 se puede observar en vista panorámica los volcánicos del Grupo Rímac de donde se obtuvo las muestras que se utilizaron para hacer las respectivas secciones delgadas, aparte de corroborar la naturaleza de esta unidad, en la parte de la base margen derecha del río estaría la Formación Arahuay fuertemente alterada oxidada y silicificada.



Fotografía N° 4.- Vista del flanco derecho del valle de río Rímac mirando hacia el este donde se emplaza el inicio del prospecto San Fidel.



Fotografía N° 5.- Miembro inferior de la zona de muestreo con intenso diaclasamiento.



Fotografía N° 6.- Vista del flanco derecho del valle de río Rímac donde se puede observar el intenso diaclasamiento en el entorno de la falla en el prospecto San Fidel.



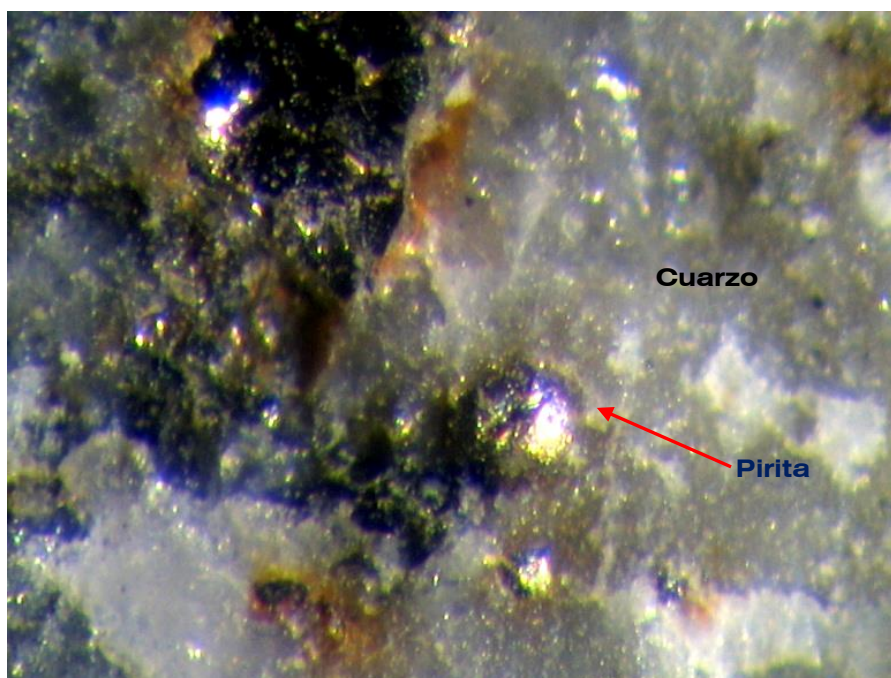
Fotografía N° 7.- Pleno proceso de toma de muestra para la sección delgada de la unidad inferior



Fotografía N° 8.- Pleno proceso de toma de muestra chip de roca y observación de campo



Fotografía N° 9.- Roca pórfido de andesita fuertemente alterado (Silicificación) y diseminación de sulfuros.



Fotografía N° 10.- vista microscópica de sección delgada de roca andesita fuertemente alteración (Silicificación) con diseminación de sulfuros en una masa silicificada



Fotografía N° 11.- Roca de zona de fallamiento del área de estudio fuertemente alterado y fracturado (A2)



Fotografía N° 12.- Roca andesita fuertemente alterada tomada de la zona de alteración propilítica

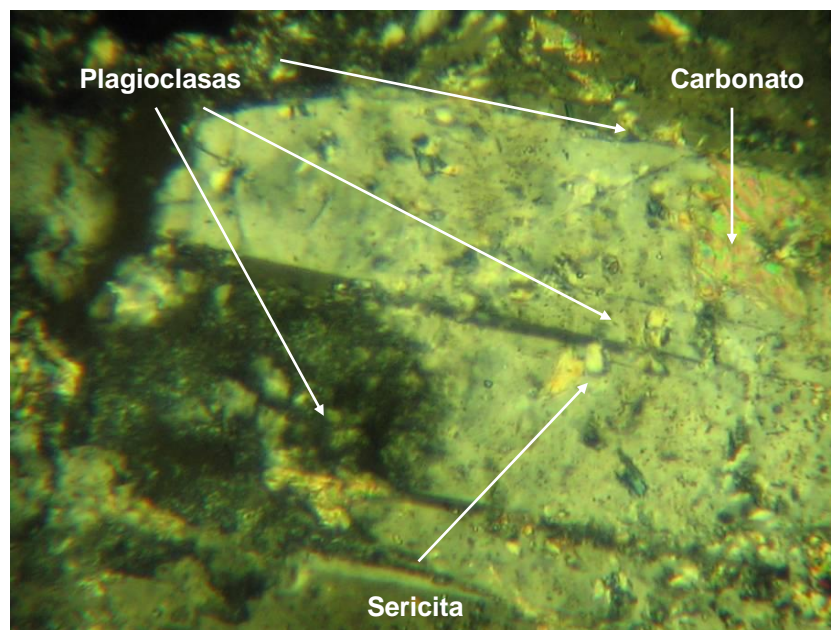
2.6.1.- ESTUDIO DE SECCIONES DELGADAS

Del estudio de las secciones delgadas se ha obtenido el detalle del grado de alteración que ha afectado a las unidades litológicas estudiadas en el proyecto y en las fotomicrografías 13, 14, 15, 16 de las secciones delgadas se observan los minerales como sericita, cuarzo, plagioclasa y opacos que han sido producto del proceso de alteración al ser intruida la roca de la formación perteneciente al Grupo Rímac.

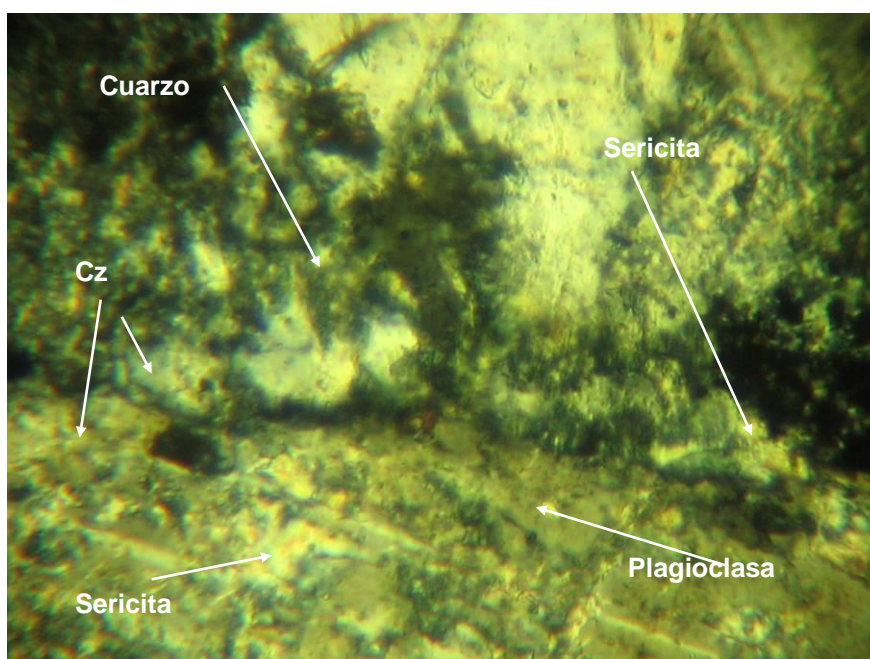
Las muestras tomadas en la parte inferior del área de estudio pertenecen a la formación Arahuay en su horizonte volcánico andesítico que ha sido afectado por la fuerte alteración de sílice (silicificación) y con ocurrencia de sulfuros visibles en la sección delgada que se puede apreciar en las fotomicrografías N° 10, 18, 19. Las secciones delgadas de la zona de óxidos y de intenso fracturamiento se aprecia en la fotomicrografías N° 17,

20, 22 donde las plagioclasas se encuentran fracturados y hay evidencias de intensa oxidación.

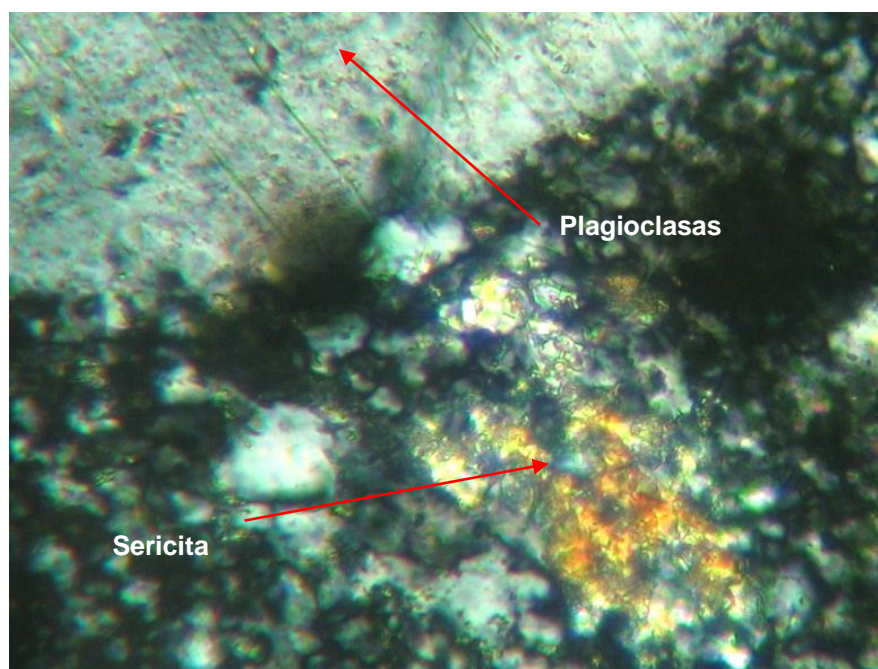
MUESTRA 1



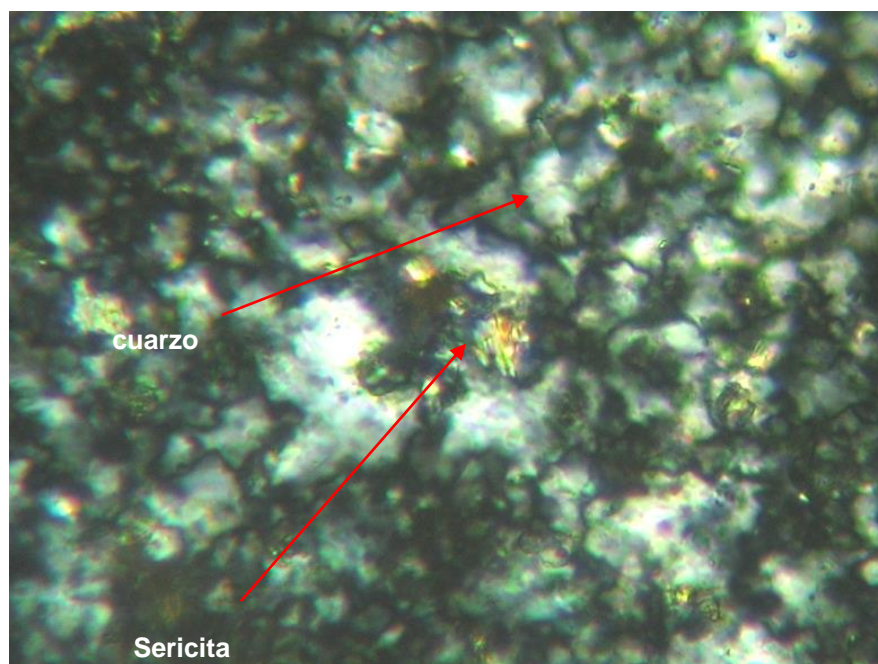
Fotomicrografía N° 13.- Cristal tabular, maclado de albita con alteración sericítica y Carbonatación.



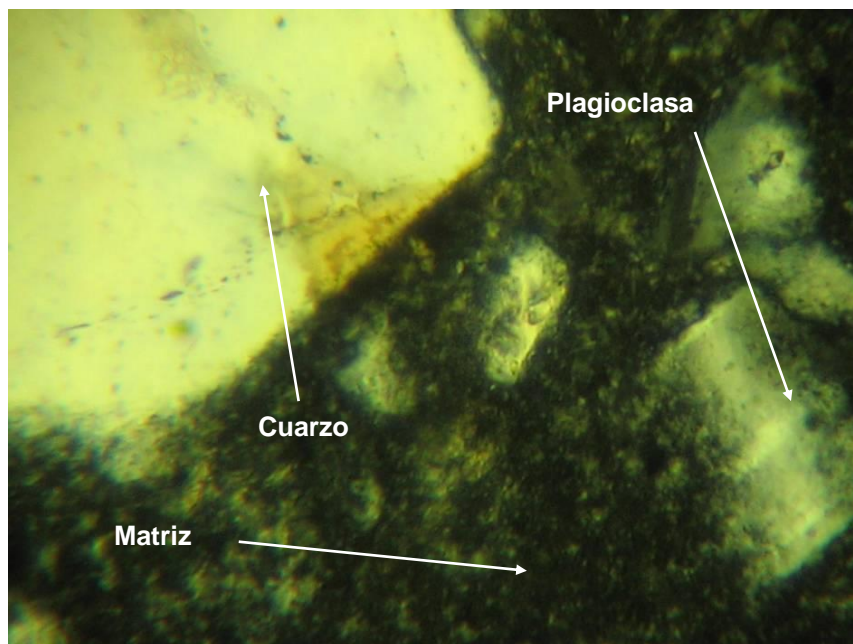
Fotomicrografía N° 14.- Cristales angulosos de plagioclasa alterada y cuarzo.



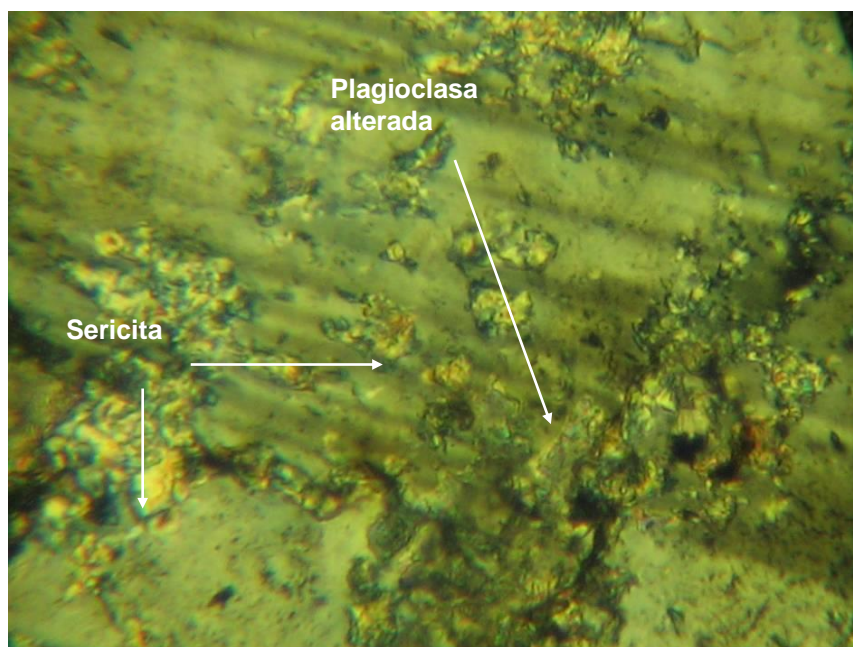
Fotografía N° 15.- Sección delgada A-1.1, vista microscópica de roca alterada con fuerte silicificación alteración de las plagioclasas parcialmente están siendo afectadas por la alteración.



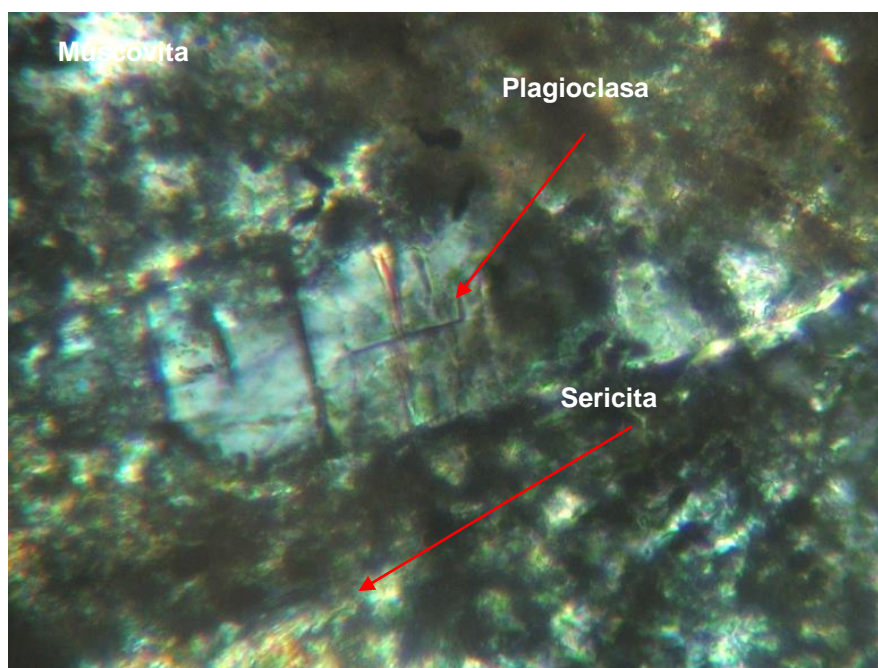
Fotografía N° 16.- Sección A-1.2., vista microscópica de roca con fuerte alteración física por fracturamiento de los cristales.

MUESTRA 2

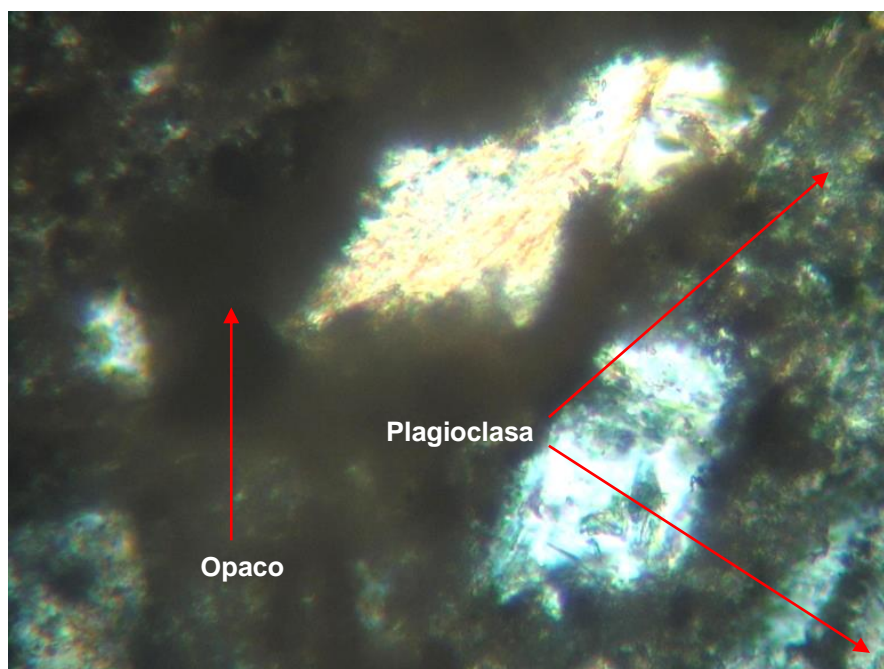
Fotomicrografía N° 17.- Cristales de cuarzo, plagioclasa en una matriz alterada.



Fotomicrografía N° 18.- Plagioclasas y feldespatos alterados a sericita.

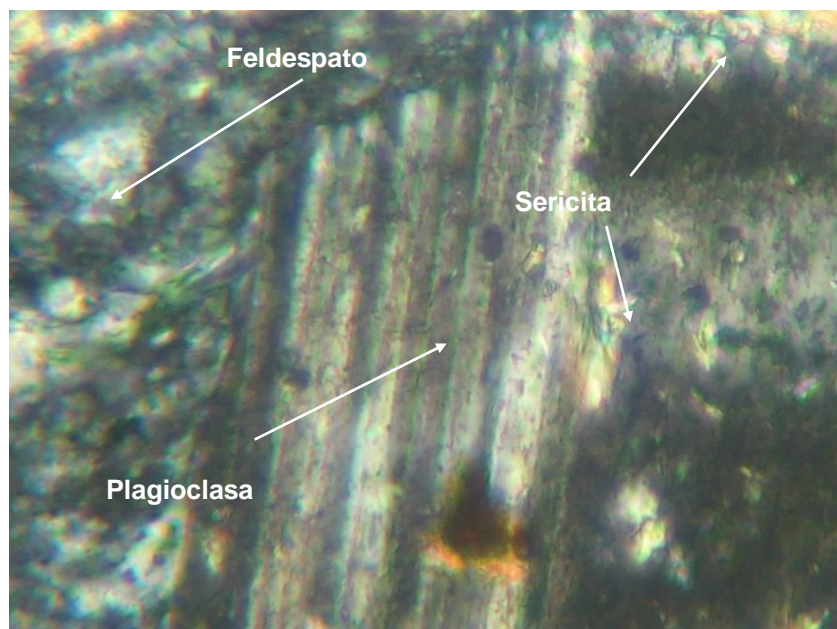


Fotografía N° 19.- Sección A-2.1.- Vista microscópica de roca con fuerte alteración mecánica fracturamiento de la roca por oxidación y alteración de las plagioclasas

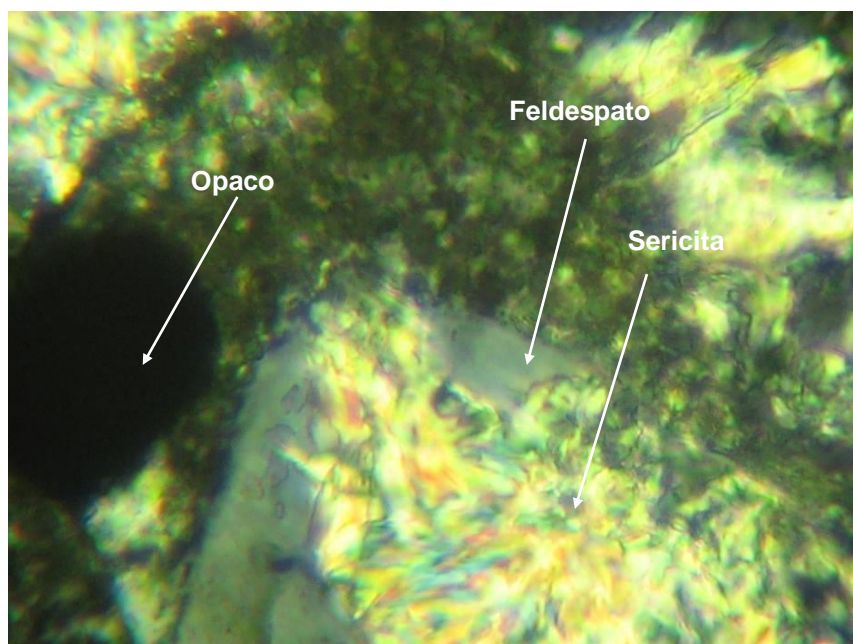


Fotografía N° 20.- Sección A-2.2.- Vista microscópica de roca con fuerte alteración mecánica fracturamiento de los cristales y alteración de las plagioclasas

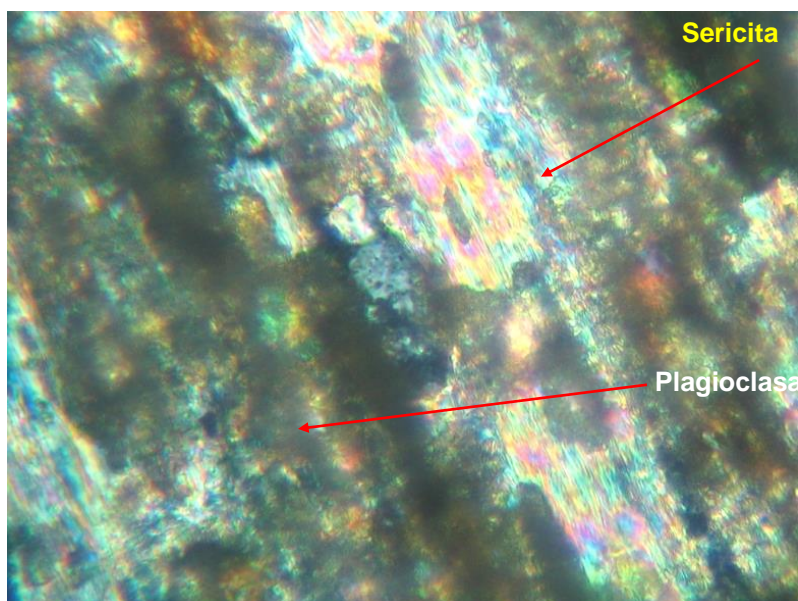
MUESTRA 3



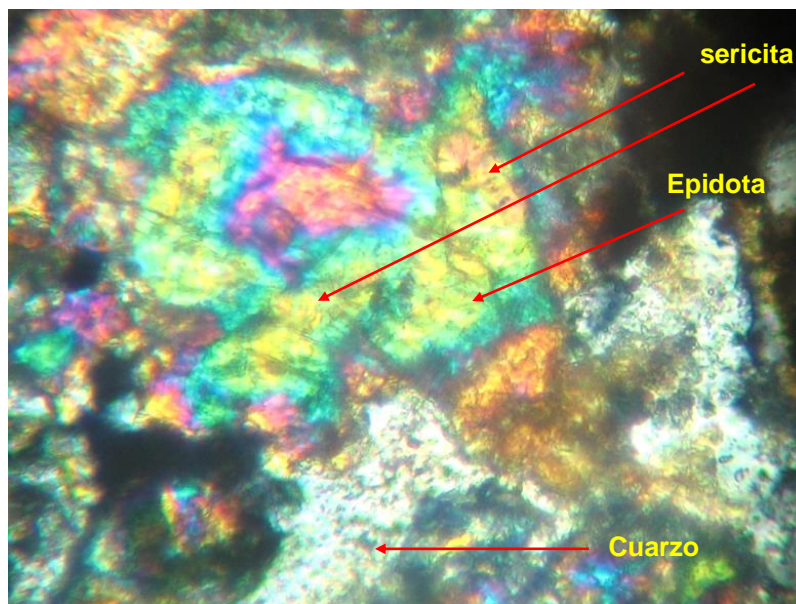
Fotomicrografía N° 21.- Cristal de plagioclasa con sericita, en una matriz compuesto por cuarzo-feldespato y plagioclasa.



Fotomicrografía N° 22.- Cristales de feldespatos alterados a sericita.



Fotografía N° 23.- Sección A-3.1, vista microscópica de sección con fuerte alteración propilítica de las micas (Sericitización)



Fotografía N° 24.- Sección A-3.2, vista microscópica de sección con fuerte alteración propilítica de las epidotas y plagioclasas

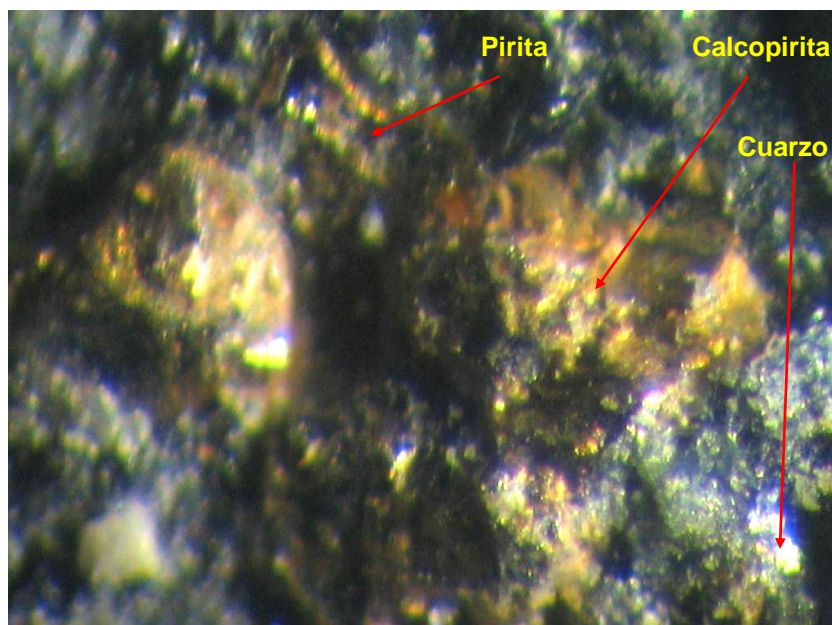
CAPITULO III

GEOLOGÍA ECONÓMICA

3.1.- MINERALOGÍA.

La mineralogía está asociado principalmente a sulfuros primarios como calcopirita, arsenopirita y pirita; de manera secundaria se presenta en la parte superficial de la zona propilitizada hay presencia de minerales secundarios de crisocola, óxidos, etc.

Los minerales se presentan como diseminados y en venillas conspicuas. Con referencia a la correlación debemos afirmar que la calcopirita presenta buena correlación con la plata (0.7- 0.92). Los minerales tienen una tendencia a presentarse como diseminados en la masa de la roca como también en vetillas de magnetita (Ver detalle fotografías 25, 26)



Fotografía N° 25.- Vista de mineralogía de una muestra de Arahua con minerales de cp, py y cuarzo



Fotografía N° 26.- Vista de roca andesita de la Fm Arahua con minerales de calcopirita y pirita
La alteración propilítica (Grupo Rímac) tiene altos valores de Cu-Ag (valores anómalos.)

De la mineralogía microscópica y secciones delgadas se ha podido reconocer hasta dos eventos de mineralización asociados a cada fase intrusiva.

▪**Primer evento:**

Está relacionado a los intrusivos tonalíticos-dioríticos de la superunidad Santa Rosa que intruyen a las formaciones volcánicas sedimentarias del Grupo Rímac

Esta etapa se genera la fuerte alteración que produce una silicificación intensa y una alteración clorítica moderada, con venillas de magnetita; y calcopirita, pirita y arsenopirita diseminados.

▪Segundo evento:

Consiste en el efecto de las zonas superficiales por agentes meteóricos y por el fracturamiento debido al intenso tectonismo de las fases compresivas, y la posterior percolación de las aguas superficiales que dieron origen a una mineralización secundaria del cobre y donde se obtienen también altos valores de plata.

3.2.- ALTERACIONES

Como resultado de la naturaleza de la geología local y las observaciones petrológicas realizadas tanto en el campo como en gabinete se puede definir que en cuanto a extensión, la alteración hipógina más extendida es la propilítica que ha afectado a las secuencias litológicas volcánicas del grupo Rímac.

3.2.1.-SILICIFICACIÓN

Esta zona se caracteriza por presentarse afectando gran parte del macizo aflorante en su parte inferior según las observaciones en las secciones delgadas (Fotografías N° 10, 13, 14) se puede determinar que los fenos constituyentes del macizo rocoso han sido total o parcialmente alterados, también se puede observar que queda como relictos de las posibles zonas de sulfuros, zonas oxidadas con presencia de limonitas.

El macizo rocoso se presenta con alta dureza generando taludes de fuerte ángulo de buzamiento de mas de 70° hasta verticales, este aspecto

permitiría en la fase de exploración directa con labores de cateo no tengan problema para el sostenimiento. Así mismo debemos acotar que los valores de la malla de muestreo presentan algunos valores importantes definidos como anomalías.

3.2.2.- OXIDACIÓN

Esta alteración es supergena favorecido como efecto de la intensa fracturación ha afectado la zona intermedia del área de estudio en cuanto se refiere a la cota, el macizo rocoso ha sufrido una intensa oxidación debido al fracturamiento a causa del fallamiento lo que ha permitido la circulación de fluidos hidrotermales con carga de iones metálicos depositados finalmente como sulfuros; al final se obtiene en el tiempo geológico que estos sulfuros fueron alterados totalmente.

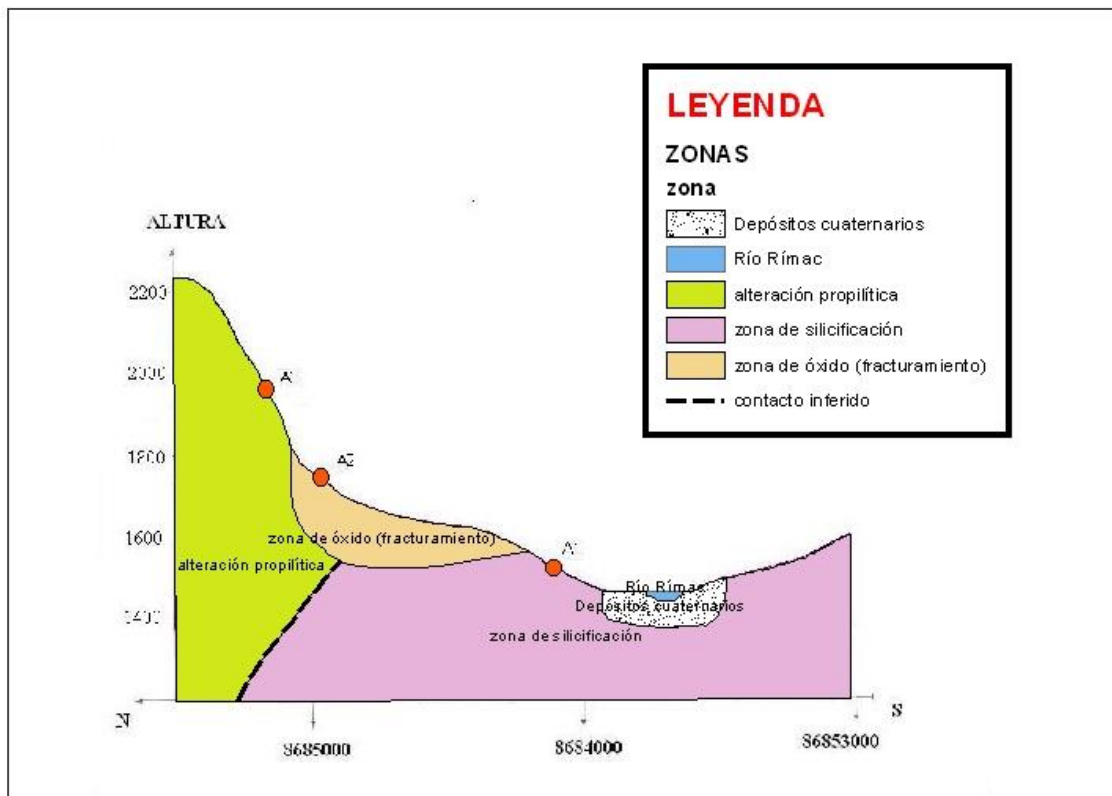
El fracturamiento se puede observar en forma nítida por el fallamiento que ha afectado en forma regional al macizo rocoso (Fotografías N° 11,15.16)

La primera aproximación a este tipo de alteración fue a partir de las zonas de fallamiento y consecuente fracturamiento detectadas en los planos estructurales.

3.2.3.- PROPILITIZACIÓN

En el campo se puede observar topográficamente que las partes altas han sido afectadas por este tipo de alteración de baja temperatura, donde los filosilicatos (micas) han sido alterados generando arcillas como también la presencia de sulfuros (pirita) posiblemente por más de un evento geológico.

La mineralización predominante que se ha observado son silicatos de baja temperatura como la epidota y la clorita. (Fotografías N° 17,18).



En la figura AG-01 se puede diferenciar las zonas de alteración hidrotermal así como la zona de óxidos a partir del intenso fracturamiento desarrollado en el área de estudio

3.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA MINERALIZADA

El área estudiada se encuentra dentro de los volcánicos del grupo Rímac y la Formación Arahuay, de la fase de campo y corroborada en gabinete debemos afirmar que estas unidades han sido afectados predominantemente por un sistema de fallamiento local:

- Sistema de fallamiento de rumbo NE-SO (Tensional)

Que es un sistema corresponde a la componente tensional del Sistema de fallamiento de rumbo general regional NO-SE (Rumbo andino) el que sería desde el punto de vista de la metalogenia un sistema favorable ya que en la intersección de estos sistemas de falla se emplazan los principales yacimientos de la provincia metalogénica (PERUBAR).

3.3.1.- CONTROLES ESTRUCTURALES

En el prospecto San Fidel el área de estudio se tiene definido el control estructural a partir de los trabajos de campo y tratamiento de las imágenes del área de donde se debemos afirmar que las zonas de alteración responden a un control estructural a partir de los sistemas de fallamiento y las estructuras circulares que cubren el área de estudio.

Además debemos acotar que como control estructural las vetas o filones con fuerte ángulo de buzamiento tienden a ensancharse en profundidad lo que se puede afirmar ocurra en el área prospectada

3.3.2.- ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL SECTOR DE ESTUDIO.

A partir de las observaciones de imágenes y evidencias de campo se han podido distinguir las siguientes estructuras:

3.3.3.- PLEGAMIENTOS:

Estructuras tipo domo A.- Desarrollada en la unidad litológica correspondiente a gran porción del batolito de la Costa y una pequeña de la Fm. Arahuay (Véase plano GE-01)

El diámetro es de aproximadamente 5 Km y enmarca el área de alteración propilítica en forma excéntrica en lado sur este de la estructura así mismo este se emplaza al Este del yacimiento Leonila (PERUBAR)

La geomorfología de esta estructura está definida por el desarrollo del valle formado por el rio Canchacaylla que comparativamente tiene el mismo ancho y la misma configuración de flancos del valle del Rimac o sea pendientes mayores a 70°

Al caracterizar el marco geotectónico actual de Leonila (PERUBAR) se debe mencionar esta estructura que debe ser considerado como un control estructural de esta zona o provincia metalogénica.

•**Estructuras tipo domo B.-** Desarrollada en la unidad litológica correspondiente a gran porción del grupo Rímac y una pequeña porción en la base de la Fm. Arahuay.

El diámetro es de aproximadamente 4.5 Km y enmarca el área de alteración propilítica en forma céntrica en lado sur este de la estructura esta el área de estudio de San Fidel así mismo debemos acotar que el área este se emplaza en el borde Este de la franja de yacimientos de

sulfuros masivos tipo Kuroko lo que nos permite afirmar que el área de estudio correspondería a zona de yacimientos filoneanos.

La geomorfología de esta estructura B está desarrollada por el valle formado por el río Rímac y el drenaje centrifugo que han desarrollado quebradas de flancos abruptos y fuerte pendiente mayores a 70°.

3.3.4.- FALLAMIENTOS.

Recurriendo a la interpretación de imágenes se ha podido determinar que en el área de estudio se puede distinguir fácilmente hasta dos sistemas de fallas

- Sistema Longitudinal, vinculado a una fase de compresión intracretácea.

- Sistema de fallas diagonales complementarias definidas como tensionales a las longitudinales que obedecen a procesos tectónicos de compresión post-Batolito; es decir del Terciario inferior a superior.

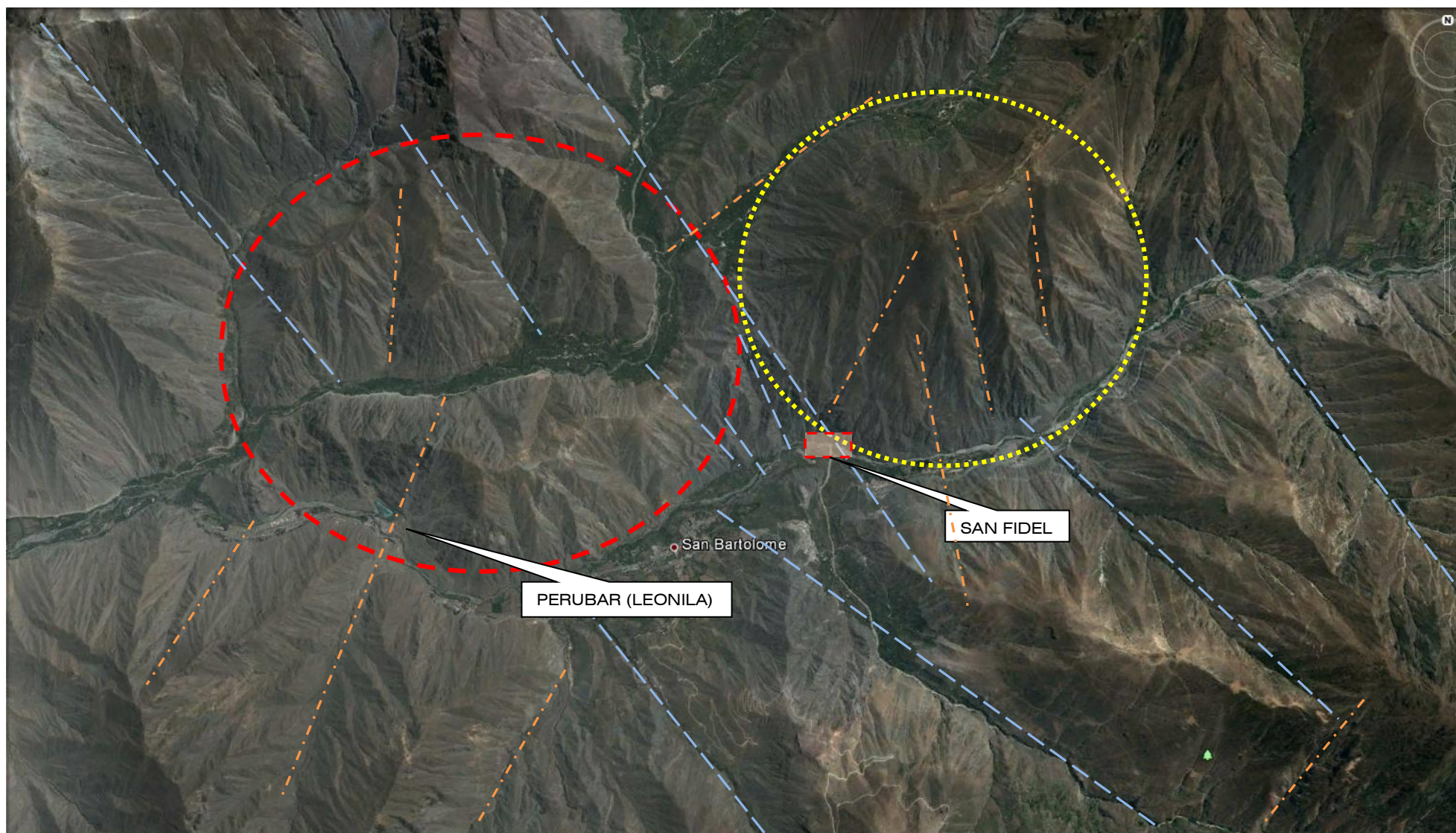
El Sistema de fallas longitudinales.- La mayoría abarcan longitudes kilométricas y han producido dislocaciones en los flancos de los Anticlinales de Lima, y otros, habiéndose reconocido fallas inversas y fallas normales de menor orden localizadas preferentemente en las zonas axiales.

Este sistema de fallamiento originado probablemente al final de la fase infracretácea han sufrido reactivaciones por los procesos tectónicos cenozoicos.






Las observaciones microtectónicas y las relaciones geológicas muestran en el fallamiento longitudinal una dirección NO-SE, paralela a la cadena andina. Asimismo, muestran movimientos horizontales compatibles con los ejes de acortamiento de las fases terciarias

El Sistema de fallas diagonales o de tensión.- La mayoría abarcan longitudes locales de centenas de metros y han producido dislocaciones en las zonas axiales y las condiciones para la ocurrencia de mineralización. Estos fallamientos han sido originados como componente de las reactivaciones de los procesos tectónicos cenozoicos de las fallas longitudinales.

Este juego o sistema de fallas es el más importante en el desarrollo de la mineralización en el área de estudio y considerado como uno de los mas importantes controles estructurales



GE 01.- IMAGEN MOSTRANDO MARCO GEOLOGICO ESTRUCTURAL REGIONAL DE SAN BARTOLOME EN EL ENTORNO DEL PROSPECTO SAN FIDEL CON DOS SISTEMAS PRINCIPALES DE FALLAMIENTO.

- Estructura A 
- Estructura B 
- Sistema de fallas tensionales 
- Sistema de fallas longitudinales (Rumbo Andino) 
- Área de estudio 

3.4 .- TIPO DE YACIMIENTO EN SAN FIDEL.

Según análisis del plano metalogénico PM-01.se espera que en el área de estudio el tipo de yacimiento por la mineralización reconocida genéticamente está relacionada a zonas de pórfidos más jóvenes que el Batolito y con ocurrencia de chalcopirita, pirita, poca bornita, poca esfalerita, galena, poca enargita, poco molibdeno. Las alteraciones hidrotermales son intensas, de la parte central de mayor temperatura a la parte externa de menor temperatura.

Pero contra este marco teórico debemos convenir que el área se encuentra en el lado oriental del Batolito donde los yacimientos son de pequeñas vetas y yacimientos metasomáticos por ello se espera que nuestro proyecto sea corroborado como un tipo de yacimiento filoniano.

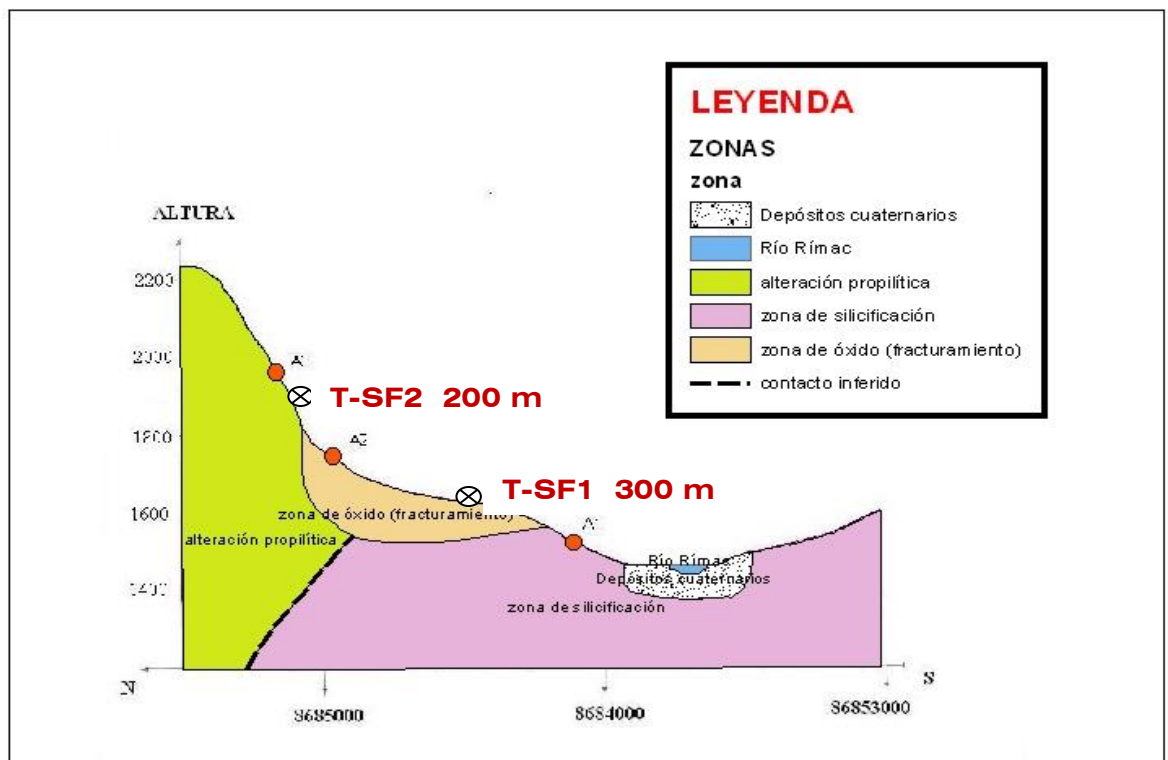


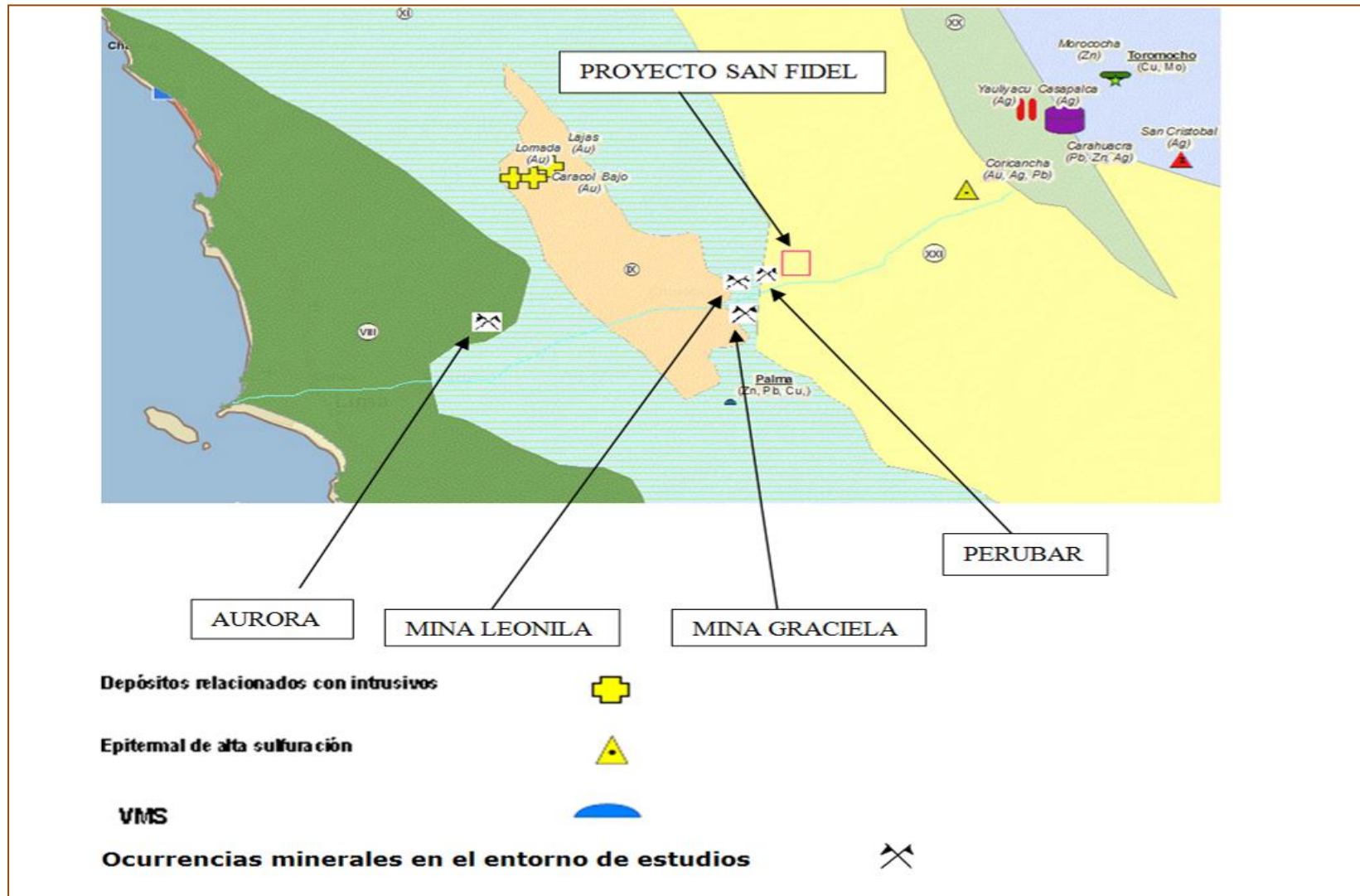
Figura SG-01.- Sección N-S de la geología mirando al Noreste donde se puede apreciar las unidades litológicas locales como la Fm. Arahuay y el volcánico del Grupo Rimac con proyección de los taladros T-SF1 y T-SF2 de 300 y 200m respectivamente.

3.5 .- METALOGENIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Batolito Andino del Cretáceo Superior al Terciario Inferior con predominio de las tonalitas, granodioritas, adamelitas y dioritas (1,500 Km de longitud, de 30 a 40 Km. de ancho). Al Oeste la Planicie Costera con rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico y sedimentarias del Cenozoico. En el lado Oriental rocas sedimentarias del Mesozoico superpuestas por rocas volcánicas del Cenozoico; tiene vetas, pipes, mantos de sustitución en rocas estratificadas más antiguas que el Batolito y como techo de este, mineralización diseminada, pórfido de Cu al S del País. Los depósitos de reemplazamiento son más escasos. Los pórfidos de Cu de Cerro Verde, Cuajone, Quellaveco, Toquepala están en rocas intrusivas (Monzonita, diorita y granodiorita en el Batolito de la Costa), o en rocas volcánicas encajonantes de aquellas. La mineralización genéticamente está relacionada a stocks de dacita, monzonita cuarcífera y pórfido cuarcífero, más jóvenes que el Batolito; con chalcopirita, pirita, poca bornita, poca esfalerita, pues galena, poca enargita, poco molibdeno. Las alteraciones hidrotermales son intensas, de la parte central de mayor temperatura a la parte externa de menor temperatura, las alteraciones son: potásica, sericítica, argílica y propilítica. Entre Nazca a Ocoña se emplazan yacimientos de Au-Cu, son vetas en el Batolito, transversales al rumbo del Batolito; Au en el cuarzo, en la pirita, en la chalcopirita, en la galena. Actualmente se

explota muchas minas de Au en el batolito de la costa entre Nazca y Ocoña.

De Nazca a Mala, Cu en vetas en rocas del Batolito, en formaciones sedimentarias y volcánicas adyacentes al Batolito con chalcopirita, bornita poca galena con pirita, cuarzo. En el lado oriental del Batolito hay pequeñas vetas y yacimientos metasomáticos. Al Oeste del Batolito los yacimientos de exhalación volcánica de Condestable, Raúl; al Este del Batolito los yacimientos de exhalación volcánica de PERÚBAR en Chosica y Palma con mineralización hidrotermal en volcánicos Mesozoicos y en algunos horizontes de caliza Mesozoica.(Plano PM-01)



PM- 01.- Plano metalogénico del área de estudio San Fidel

3.5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN METALOGÉNICA DE YACIMIENTOS VECINOS AL ÁREA DE ESTUDIO.

La mayoría de las características salientes que tipifican los depósitos tipo Kuroko en Japón son también presentadas en la baritina vulcanogenética y en la base de los depósitos de sulfuros de la costa central del Perú. María Teresa, Aurora Augusta, y Juanita son depósitos volcánicos – Elenita y Palma son sedimentarios. Zonas alimentadoras de stockwork silíceos y brechas subyacen los estratos de baritina ligados de baritina y zonas de sulfuro masivo en Leonila-Graciela y María Teresa. Zonas alimentadoras sin yacer encima de las menas de estratos ligados son representadas por la Aurora Augusta y el Deposito Elenita. La sección tectónica de la cuenca marginal durante el cretáceo medio en Perú es similar al Kuroko Miocénico de Japón. **No obstante en términos paleogeográficos ambientados en Perú fue predominantemente de agua poco profunda a todo lo largo del Cretáceo mientras que los ambientes profundos sean postulados para la formación de los depósitos tipo Kuroko.**

Tomado conjuntamente con la presencia común de calcita en brechas tobáceas y la mena de baritina, Estos hechos indican desarrollo parcial del tipo Kuroko de Japón. Esto podría ser el resultado de diferencias en el tiempo de deposición de la mena.

En Leonila-Graciela, Juanita y Santa Cecilia la textura de los minerales son claramente indicativos de dos ensambles de sulfuros principales Una temprana y dominante ensamble de pirita-esfalerita, con pirrotita y en la zona metamórfica

moscovita-biotita en Graciela es en venillas, bordeado y particularmente reemplazado tetraedrita-galena±calcopirita subordinada. Asociado con mineral de ganga son la baritina y cuarzo- sericita en la temprana y generación final. Respectivamente evidentemente metamorfismo de contacto recristalizado la mena Leonila-Graciela produciendo pirrotita hexagonal.

3.6.- GEOLOGÍA ECONÓMICA EN LA ZONA CENTRAL ESTE DE LIMA

Analizando la zona desde el punto de vista de la actividad minera extractiva se ha desarrollado también la minería no metálica, la misma que está vinculada a la construcción y a la industria química. Asimismo ocupa un rubro importante la explotación de aguas subterráneas con fines domésticos y agrícolas.

3.6.1.- MINERÍA NO METÁLICA

- **Baritina**

Este mineral constituido por sulfato de bario (SO_4Ba) es aprovechado por sus propiedades físicas, la principal de ellas, su peso específico alto; la hace útil para la perforación de pozos en la industria del petróleo, debido a que le da consistencia a los barros que lubrican la broca, contrarrestando así las presiones de los pozos. También se aprovecha en la industria química, por su blancura para la fabricación de vidrio, linóleo, plásticos, resinas, papeles (para darle peso y brillantes), polvos de tocador, etc.

En los últimos años su demanda se ha incrementado, adquiriendo precios que hacen de este mineral una mena aprovechable y muy buscada. Antes se le

consideraba como ganga en la explotación de minerales metálicos como sulfuros de plata, plomo, zinc, cobre.

En el entorno de Chosica y específicamente en el valle del Rímac existe baritina en cantidades comerciales, habiendo sido uno de los yacimientos más grandes el de mina Leonila de la Cía. Minera Barmine S.A. ubicada a la altura de Tornamesa en la Carretera Central. En este yacimiento la baritina se encuentra en bolsonadas y vetas en los volcánicos del Grupo Casma que se extiende a ambos márgenes. **Su origen se piensa que está vinculado a procesos hidrotermales, probablemente relacionados al batolito.**

3.6.2.- MINERÍA METÁLICA.

La minería metálica en el entorno estudiado no se ha desarrollado significativamente, sin embargo, se pueden encontrar áreas interesantes para la prospección minera metálica. Un sector que podría resultar interesante es la parte Noreste de Chosica, donde se puede observar la **prolongación de las estructuras geológicas que afloran en el área de Matucana.**

En este sector cuerpos hipabisales intruyen a las secuencias volcánicas del Terciario (Grupos Rímac, Colqui y Millotingo), dando lugar a mineralizaciones de plomo, zinc, plata y cobre (minas Colqui, Finlandia, Caridad y en litologías carbonatadas, como por ejemplo en el C° San Francisco entre Monterrico y Villa María del Triunfo.

En la mina BARMINE (carretera central) debajo de la baritina se ha encontrado la zona de los sulfuros metálicos con mineralizaciones de plomo, zinc; por lo que no se descarta la posibilidad de encontrar mineralizaciones similares debajo de los cuerpos de baritina en otros lugares como la quebrada Jicamarca.

3.6.3.- DESCRIPCIÓN DE YACIMIENTOS VECINOS.

- **Yacimiento de PERUBAR**

PERUBAR es un yacimiento tipo Vulcanogénico de sulfuros masivos (**VMS**) que está formado por los cuerpos Graciela, Juanita, Cecilia Norte y Cecilia Sur, los cuales de 1978 a 1999 han producido alrededor de 5,980 millones de toneladas de sulfuros con una ley promedio de 1.5 Oz/T de Ag, 9.9% de Zn y 2% de Pb. Cabe resaltar que en sus inicios este yacimiento fue desarrollado como no metálico con la explotación de la baritina que se presentaba en gran volumen.

Zonamiento típico proximal a distal incluyendo:

- a. Stockwork.
- b. Pirita- pirrotita-magnetita masiva;
- c. Sulfuros masivos de Zn (Fe > Pb) (\pm barita).
- d. Bandeamiento de barita con sulfuros de Zn (Fe > Pb) y
- e. Cuerpos bandeados de barita y pirita

Las alteraciones presentes son:

- a) Una fuerte cloritización –sericitización especialmente presente en la zona de stockwork.
- b) Una zona de alteración cuarzo – sericítica, caracterizada por una silicificación fuerte, en la periferia de los cuerpos mineralizados.

A escala de distrito las rocas piso presentan una silicificación e incipiente disseminación de pirita. En el trabajo de Fontboté, se dice que aunque la secuencia volcánica bimodal se extienda por varios cientos de metros dentro de todos los cuerpos conocidos yacen directamente encima de los sills.

- **Aurora Augusta**

El depósito aurora augusta está localizado a 1.5km. al oeste de Jicamarca alrededor de 20 km al NW está relacionado con los valles del Rímac. Desde 1975 menos de 150 000 toneladas de baritina han sido producidos zonas sulfuro polimetálico.

Tipos de menas de cuerpos son encontrados en formas irregulares cuerpos verticales fuertemente silicificados en rocas volcánicas del grupo Casma las rocas graníticas próximas están 2 km para el noroeste uno hacia el Este de los depósitos, respectivamente. La superunidad Santa Rosa del batolito una intrusión inalterada del Casma y rocas volcánicas no mineralizadas.

Andesitas volcanoclásticas con lava vesicular moderadamente hacia al SW forman la caja roca de la zona mineralizada finamente tobas y limolitas ocurren esporádicamente. Minerales calco silicatados son encontrados en algunos horizontes limolíticos tardíos.

El contacto entre los volcánicos la **caja techo** y la zona de mineralizadora están controlados; esto es aproximadamente concordante y abrupto. Lentes de venillas de cuarzo – epidota son encontrados directamente arriba del cuerpo silicificado los cuales son cortados por diques andesíticos.

Cuerpos de baritina tabular ocurren completamente el complejo pero son concentrados hacia su tope. Aquí, el alcance es de 8 a 70 m. a lo largo strike y tienen una extensión vertical conocida en el orden de 50m.

La menas de baritina es de grano fino, equigranular y esencialmente monomineral, megacrystales grandes son presentados únicamente en pocos lugares. La transición hacia la zona de solidificación esta macado por incrementación de cuarzo, jarosita y pirita. Agregados de fenocristales de plagioclasas con recristalización marginal son comúnmente observados en las secciones en la zona de silicificación. Fenocristales y clastos volcánicos son encerrados en granoblástica poligonal de cuarzo y son particularmente remplazados por sericita. La sericita y la clorita son también encontrados en los síliceos con minerales sulfurados

Zonas de sulfuros son invariablemente asociados con una intensa silicificación. Una generación temprana de escalerita y pirita esta en venillas y particularmente reemplazados por calcopirita-cuarzo-sericita ensambles.

- **Yacimiento Leonila-Graciela**

Es el más importante distrito minero explotado de este tipo está localizado a 50 km. Al este de Lima en el valle de Rímac. Una historia detallada de la mineralogía y geología de este depósito ha sido dada por C. Vidal (1980). Cuerpos individuales consisten de baritina, sulfuro y zonas de stockwork silíceo. y estrato ligados de baritina yacen encima de los sulfuros masivos en el sinclinal Leonila - Graciela y el anticlinal recumbente de Juanita. Pasadas producciones y reservas dieron 4 millones de toneladas de baritina y 2.5 millones de alto grado de menas de Zn (Pb-Ag). Enriquecimiento esporádico de Cu (Au) han sido detectados hasta ahora en zonas subdesarrolladas de stockwork. **Hacia la este de la continuación del cuerpo Juanita ha sido tectónicamente resaltados e interrumpidos a lo largo del corte dextral de la falla Este** minado separadamente y designado cuerpo de mena Santa Cecilia.

El Stockwork silíceo y zonas de brechas son también conocidos de la mina Elenita y chapodada en Elenita el promedio de la MENA de sulfuro polimetálico era de 7.0% de Zn 1.5 a 3.0 % de Pb y and 100 a 130 ppm Ag.

- **Yacimiento de La Palma.**

La Palma es del tipo **VMS** ubicado a 16- 18 Km. Al sur del Prospecto que ha sido trabajado en forma pequeña desde la década de los 80's. El yacimiento está emplazado en una secuencia volcánico-sedimentario, del Cretáceo Medio, donde la parte volcánica está constituido por lavas

andesíticas y la sedimentaria por caliza y margas. La zona está afectada por hundimientos y levantamientos (graven y horts) resultados de fallas N-S de rumbo andino y fallas transversales a las anteriores (NNE-SSW). La continuidad lateral de la secuencia sedimentaria conlleva a la continuidad de la mineralización que se vea afectada por las estructuras mencionadas.

Yacimiento Farallón

Ubicado a 8 Km. **Al NE del Prospecto San Fidel, Farallón es un yacimiento hidrotermal filoneano** de alcance mesothermal superior a epitermal inferior emplazado mayormente en intrusivos adamelítico o granodiorítico y en volcánicos andesíticos Fm. Colqui (Terciario inferior), estructuralmente, es un sistema de lazos cimoides horizontales y verticales controlados por una falla principal con rumbo general de N64°E y un buzamiento vertical entre 75° NW y 70° SE. Con una reserva de 229.770 TMS con 2.87 Oz/T de Ag, 1.87% de Pb, 1.26% de Cu 4.4% de Zn y 0.031 Oz/T Au.

- **Yacimiento Balducho**

El depósito Balducho está localizado en la cabecera del río Chilca 40 km NE de Pucusana al este ha sido explotado intermitentemente en años pasados. Lentes de estratos ligados de baritina y pirita y esfalerita ocurren en posición vertical dentro de un contacto metamorfizado y grauwaca hornfelsica ancho máximo de la septa es 300m. y por consiguiente no puede ser presentado. Zonas de stockwork silíceo con calcopirita, son adyacentes a los estratos ligados son contiguos a los estratos ligados en el

este. Texturas de baritina son granoblásticas y localmente cataclásticas, las zonas más ricas de baritina están localizados a lo largo NE.

Intrusivos locales de la superunidad Tiabaya, son tonalíticas a granodiorítica y están acompañadas diques porfíricos félsicos. Los efectos del metamorfismo de contacto incluyen texturas granoblásticas de las menas y de naturaleza hornfelsica de las rocas madres.

3.6.4.- TIPO DE YACIMIENTOS EN EL ÁREA DE SAN FIDEL

Del análisis geográfico y geológico de la ubicación del área de estudios en el mapa metalogénico correspondiente al cuadrángulo de la carta geológica nacional de Chosica 24 j, se define que la zona se emplaza en la línea de división entre las ocurrencias mineralizadas de yacimientos de sulfuro masivo (VMS) y yacimientos filoneanos al este del área de estudio.

Adicionalmente debemos considerar esta afirmación y relacionarla a la ocurrencia de minas que están o han estado en actividad entre las que tenemos:

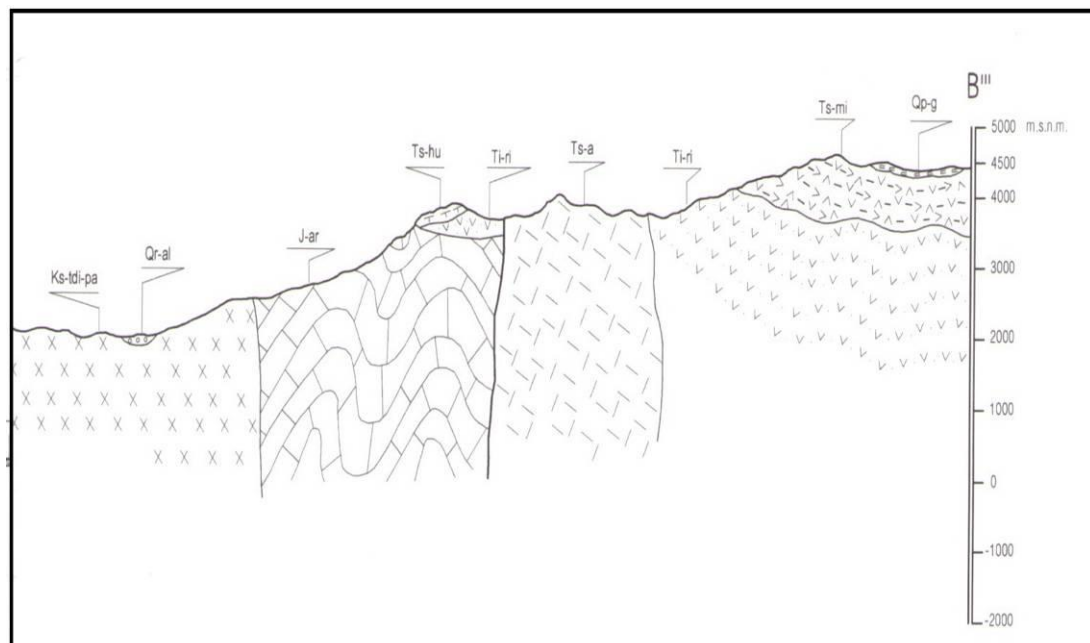
- PERUBAR (LEONILA-GRACIELA)
- PALMA
- JUANITA
- CECILIA

Mientras que por el extremo este tenemos yacimientos filoneanos de polimetálicos típicos de esta zona de Perú entre ellos se puede observar en el plano metalogénico:

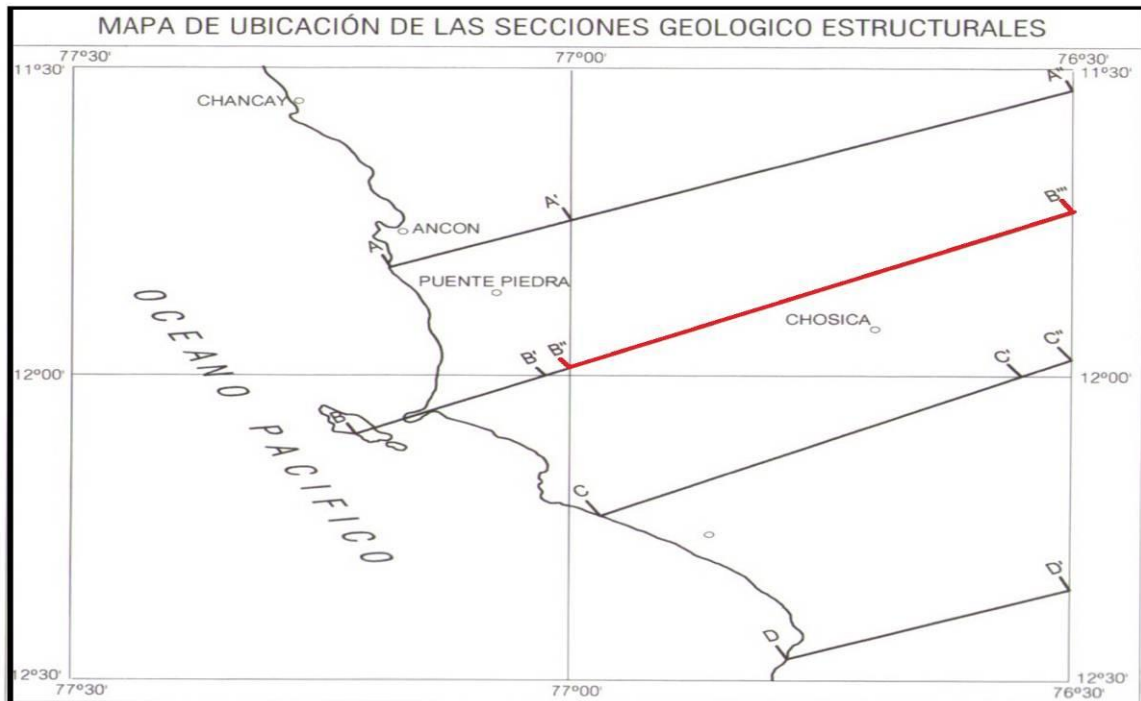
- FARALLON
- GRACIELA
- YAULIYACU
- TICLIO
- CARAHUACRA
- CASAPALCA
- MILLOTINGO

3.6.5.- MODELO GEOLÓGICO PRELIMINAR DEL ÁREA DEL PROSPECTO SAN FIDEL.

En las secciones respectivas elaboradas a las observaciones de campo se puede afirmar el modelo en forma preliminar que nos permite afirmar el modelo geológico que habría permitido la formación de las anomalías en el área esto corroborado por los análisis de secciones en donde se define las alteraciones presentes en el área de estudio.

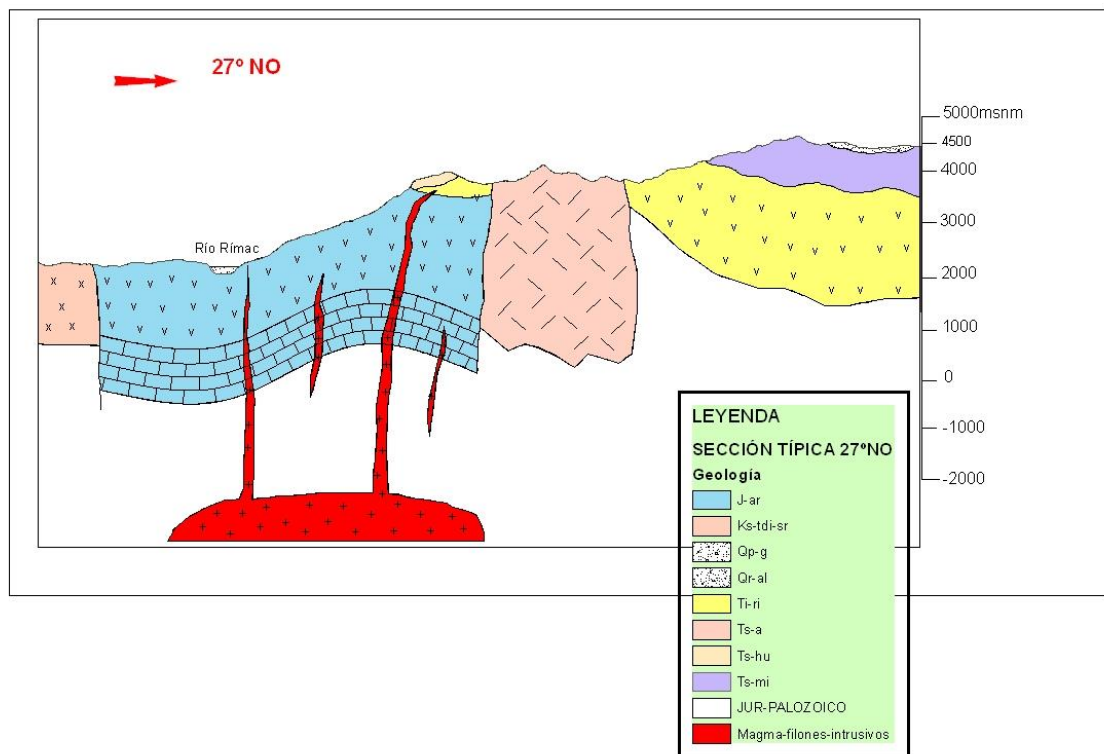


SE-02 Sección geológica mirando al nor oeste regional



SE-03 Ubicación de la sección geológica regional BB' mirando al nor oeste

La sección SE-02 y SE-03 visto en perfil y en planta respectivamente nos muestra el contacto del Grupo Rímac que sobreyace al Arahúy esto sucede localmente considerando el proceso a partir de la dinámica tectónica que ha permitido esta situación con ausencia de gran parte de formaciones desde el Jurásico hasta el Terciario.



MG-01 Modelo geológico preliminar modelado desde de la sección geológica regional mirando al nor oeste

3.6.6.- RESUMEN CARACTERIZACIÓN METALOGÉNICA DE YACIMIENTOS VECINOS AL ÁREA DE ESTUDIO

1. - Los depósitos tipo Kuroko fueron generados en asociación con rocas volcánicas submarinas de edad cretácea en Perú y Ecuador. La Geología ha registrado tres principales grupos de depósitos en Lima, Piura, y la región de Quito.
2. - Las menas y prospectos Kuroko son encontrados en la región de Lima asociado con el volcanismo Cenomaniano del grupo Casma, obtenido de alteraciones hipógenas en los depósitos Aurora Augusta.

3. - En acorde con la génesis propuesta por los tipos de depósitos Kuroko Miocénico del Japón. Esto concluyo que los depósitos de de Perú fueron depositados ambos en la base marina y directamente debajo de este.
4. - La evolución geológica subsecuente, para la mayoría de estos depósitos, plegamiento elevaciones y contactos metamórficos durante el cretáceo superior.
5. - Los más largos y mejores depósitos son: **Leonila-Graciela**, Juanita y **Santa Cecilia** que fueron encontrados a 50 Km, al este de Lima en Cocachacra. La antiguas producciones y reservas para todos estos depósitos están estimados en 4 millones de toneladas de baritina y 2.5 millones de toneladas de alto grado de sulfuros Zn-Pb-Ag.
6. - La mena de Cocachacra fueron contactos metamórficos en facies hornblenda-hornfésicas por la tonalita Palma y la monzogranítica Canchacaylla que fueron emplazados alrededor de 82 y 65 MA. Estimación de temperatura y presión para el metamórfico son de 2.6 ± 0.5 kb en las bases de esfaleritas geobarométricas y 4000 ± 1000 C tan así indicado por varias líneas de evidencia.
7. - Estimaciones barométricas computados de las estimaciones del geobarométrica computadas de datos de por ciento del FeS en esfaleritas intercrecidos con pirrotita hexagonal y la pirita.

CAPITULO IV

PROSPECCION GEOQUIMICA

4.1.- GEOQUÍMICA DEL COBRE

La abundancia cósmica del cobre es bastante grande en comparación con la de los otros metales pesados. Se ha comprobado la presencia del cobre en la atmosfera solar y estelar. En la Tabla 4-1 se indican las cifras generales de abundancia del cobre. As determinantes recientes del cobre en las rocas ígneas han dado resultados concordantes pero el contenido medio en cobre de los meteoritos sigue siendo objeto de controversia.

Tabla 4.1

ABUNDANCIA DEL COBRE

Materia	Cu (gr/ton)
Fase metálica de las sideritas (Goldschmidt,1937b)	Normal 100-400
Fase metálica de los lititos (Goldschmidt,1937b)	Máxima :1000
Troilita de los sideritos (Goldschmidt,1937b)	100-600
Fase silicatada de los condritos (Noddack y Noddack 1930)	1.55
Rocas ígneas (Sandell y Goldich (1943),	70
Rocas ígneas (Lundegardh (1946)	60

El contenido medio en cobre de las diversas fases meteoríticas no es fácil de determinar debido a que la cantidad de este metal en los meteoritos ofrece grandes fluctuaciones mas pronunciadas que las de la mayor parte de los uno restantes elementos. Sin embargo los resultados obtenidos demuestran que en la fase silicatada suele existir muy poco cobre o ninguno, mientras que el contenido la fase metálica tiene un valor apreciable y la sulfurada puede contener todavía más. Por tanto es evidente que desde el punto de vista geoquímico el cobre es principalmente calcó filo no sin cierta tendencia hidrófila. Estas conclusiones se confirman observando la forma de presentación del cobre en la litosfera superior. Esta comprobado que el

cobre muestra gran afinidad para el azufre y que es uno de los componentes mas típicos de las menas de sulfuros. Por otra parte en el hierro nativo terrestre se encuentra un poco de cobre y en los metales del platino nativos y en sus aleaciones llega a encontrarse el 13% de cobre junto con algunos otros metales, con lo que aparece incorporado en estado nativo a una fase metálica separada de otra silicatada.

Las observaciones realizadas en las fundiciones de cobre demuestran que este metal es uno de los que poseen mayor afinidad para el azufre de todos los que forman los sulfuros. La afinidad de los metales para el azufre durante la fusión de los sulfuros disminuye en el siguiente orden:

Mn - Cu – Ni – Co – Fr – Sn – Zn – Pb – Sb - Ag
Afinidad máxima **Afinidad mínima**

Esta es la serie de Fournet y Schütz en la que el cobre ocupa el segundo lugar. Las cifras reproducidas en la Tabla demuestran que durante la fusión de la mena de cobre de Mansfeld este metal se incorpora a la mata de cobre formada principalmente por sulfuros de cobre. Otros metales que se encuentran en esta mena en forma de sulfuro en particular el hierro pero también el níquel cobalto, molibdeno etc... se separan en la fase metálica. El metal que presenta la afinidad máxima par el azufre o sea el manganeso se concentra también en la mata del cobre. de los liquida

Los sulfuros de cobre y hierro citados son siempre los últimos minerales que cristalizan y rellenan los intersticios que dejan otros minerales en las rocas ígneas.

Según Sandell y Goldich (1943), el contenido medio en cobre de las rocas ígneas es el siguiente:

Roca	Cu (g/ton)
Rocas ígneas básicas.....	149
Rocas ígneas intermedias.....	38
Rocas ígneas ácidas.....	16

Lundegardh (1946) da la cifra de 15 g/ton de Cu como promedio para las rocas ácidas, y la de 30 g/ton para las básicas, aunque es evidente que esta última cifra es demasiado baja. Estos datos demuestran que el cobre tiende a concentrarse en las rocas básicas, que contienen unas diez veces más que las ácidas. Según Newhouse (1936), en las rocas básicas es donde más abunda la calcopirita.

Es probable que el cobre pueda sustituir al hierro en pequeñas cantidades, en las estructuras minerales, cuando falte una reserva suficiente de azufre debido a una oxidación o a una cristalización precedente. La sustitución se debe a la igualdad de los radios del Cu^{2+} ($\sim 0,83$ kX) y del Fe^{2+} (0,83 kX), y debe verificarse, p. ej., en las augitas, según la opinión de Ramdohr (1940). Carobbi y Pieruccini (1947) creen que el cobre sustituye al Fe^{2+} y al Mg^{2+} , p. ej., en la turmalina. En todo caso, es evidente que la existencia del cobre en los silicatos y en los óxidos no tiene mucha importancia geoquímica, mientras que la formación del sulfuro es el rasgo más característico de este metal.

Los hechos precedentes demuestran que las rocas que se forman durante el estadio principal de la cristalización no son el vehículo apropiado del cobre. Este metal se encuentra con bastante regularidad formando parte de los primeros sulfuros separados, que pertenecen principalmente a la paragénesis de la pirrotina-pentlandita. La serie de Fournet y Schütz indica que la afinidad del cobre para el azufre es mayor que la del níquel y el hierro, que son los componentes metálicos principales de los primeros sulfuros. De aquí se deduce que, durante la separación de la fase sulfurada de la silicatada, el cobre se concentra en forma considerable en el fundido de sulfuros. La parte de cobre que se queda en el fundido de silicatos, después de la separación de los sulfuros, continúa en el magma residual durante el estadio principal de la cristalización y todo el estadio pegmatítico, para terminar separándose en los yacimientos neumatolíticos e hidrotermales. En estas últimas formaciones el cobre se encuentra junto con la plata,

germanio, estaño, plomo, hierro, níquel, cobalto y otros metales, en gran número de sulfuros y sulfosales, cuya composición, forma de presentación y paragénesis, ofrece grandes variaciones. Además, se conocen varios arseniuros, antimoniuros, seleniuros y telururos de cobre. Los sulfuros y sulfosales de cobre más importantes son los siguientes:

Calcosina.....	Cu_2S
Bornita.....	Cu_5FeS_4
Calcopirita.....	CuFeS_2
Tennantita.....	$\text{Cu}_3\text{AsS}_3\text{-4(?)}$
Tetraedrita.....	$\text{Cu}_3\text{SbS}_3\text{-4(?)}$
Enargita.....	Cu_3AsS_4
Cubanita.....	CuFe_2S_3
Covellita.....	CuS
Bourbonita.....	$2\text{PbS.Cu}_2\text{S.Sb}_2\text{S}_3$

En esta lista están incluidos los componentes más importantes de las menas de cobre. La **calcopirita, que contiene el 34,6 % de Cu**, es una de las fuentes más importantes de cobre. Además de los minerales anteriores, las menas de cobre contienen con frecuencia minerales secundarios de cobre como productos de alteración. Entre ellos se encuentran el cobre nativo, la crisocola, la dioptasa y las especies siguientes:

Cuprita.....	Cu_2O
Brochantita.....	$\text{Cu}_4[(\text{OH})_6/\text{SO}_4]$
Calcantita.....	$\text{Cu}[\text{SO}_4].5\text{H}_2\text{O}$
Azurita.....	$\text{Cu}_3[\text{OH}/\text{CO}_3]_2$
Malaquita.....	$\text{Cu}_2[(\text{OH})_2/\text{CO}_3]$

Lo mismo que los sulfuros, los minerales secundarios de cobre también forman parte de muchas menas de cobre de importancia económica. Además se conocen gran número de otros sulfatos, carbonatos, silicatos, arseniatos y fosfatos de Cobre de composición variable y con frecuencia complicada.

4.1.1 Ciclo del cobre. — Durante la meteorización se oxidan las partes superficiales de las menas de cobre. Los sulfuros de cobre y hierro se descomponen, y el cobre se disuelve en forma de sulfato cúprico estable, mientras que el sulfato ferroso se oxida con bastante rapidez formando ácido sulfúrico e hidróxido férrico. Las soluciones de sulfato de cobre se infiltran por el suelo. y al llegar a cierto nivel, situado inmediatamente debajo de la zona de oxidación, pero todavía por encima del manto de agua, reaccionan con los sulfuros no descompuestos, formando cobre nativo y sulfuros ricos en cobre (p. ej., la calcosina y la calcopirita). También se pueden depositar otros minerales de cobre, como la cuprita, tenorita, CuO, azurita y malaquita. En consecuencia, el cobre se concentra en la zona de cementación. Además, las soluciones cupríferas pueden emigrar desde la zona de meteorización a las rocas adyacentes siguiendo las grietas y hendiduras, y depositar sulfato y carbonato de cobre. Estos minerales se delatan muy bien por sus colores llamativos verdes y azules. Vogt y Rosenqvist (1942) han encontrado hasta 3,2 g/ton de cobre en las aguas superficiales que habían atravesado minas de cobre y sus pozos y vertederos. Durante la meteorización de los sulfuros de cobre que se encuentran en las rocas ígneas, el cobre se disuelve también en forma de sulfato cúprico. En cuanto las condiciones son favorables, estas soluciones depositan sulfuro de cobre. Cuando las soluciones cupríferas se ponen en contacto con barros sapropélicos, la precipitación de sulfuro de cobre puede ser tan extensa que dé lugar a la formación de menas sedimentarias de cobre, como las arcillas pizarrosas bituminosas de Alemania y Rusia, p. ej., la *Kupferschiefer* pérmica de Mansfeld, en Alemania, que contiene bornita, calcosina y calcopirita, junto con plata nativa y minerales de cinc y de plomo. Según Goldschmidt (1937a) estas arcillas pizarrosas pueden ser debidas, totalmente o en parte, a la erosión y nueva sedimentación de suelos antiguos ricos en

humus. Sin embargo, según idea más reciente (Siegl, 1941), la mineralización cuprífera de la arcilla pizarrosa es debida a las soluciones ácidas postdiagenéticas. Algunas veces, las sales de cobre se concentran en las aguas subterráneas a consecuencia de una evaporación abundante, en particular en las regiones áridas, en cuyo caso se puede precipitar el cobre, p. ej., en forma de carbonato, que constituye el cemento de los granos detríticos de las areniscas.

TABLA 4-2

Contenido en cobre de los sedimentos y las rocas sedimentarias

Materia	Cu (g/ton)
Cieno del Mississippi, promedio (Clarke, 1924)	34
Arcillas terrígenas, promedio (Clarke, 1924)	123
Cieno terrígeno azul, promedio (Siebenthal, 1915)	160
Arcilla roja, promedio (Clarke, .1924)	7
Sedimentos arcillosos italianos (Carobbi y Pieruccini, 1943)	192.
Nódulo de manganeso (Siebenthal 1915)	3000
Calizas, promedio (Siebenthal. 1915)	20,2
Dolomitas, promedio (Siebenthal, 1915)	12,6

Resumiendo todo lo que se ha dicho, el cobre se disuelve en forma iónica durante la meteorización, depositándose después gran proporción como sulfuro. Otra parte queda retenida por sorción en los sedimentos de hidrolizados. Una última parte se incorpora a los oxidados, p. ej., al hierro de los lagos y de los pantanos y a los nódulos de manganeso, junto con el níquel, cobalto, cinc, plomo y otros metales, pudiendo formarse compuestos de adsorción como el CuMn_2O_5 . En la tabla 4-2 se indica el contenido en cobre de algunos sedimentos y rocas sedimentarias.

En los océanos queda una pequeña cantidad de cobre que se mantiene en un nivel bajo debido a la adsorción sobre los organismos marinos o,

posiblemente, a su combinación con ellos. Es probable que también llegue algo de cobre al mar por las emanaciones volcánicas, que con frecuencia son cupríferas. Así, p. ej., Zies (1924) ha encontrado 2300 g/ton de Cu en una magnetita fumarólica del Valle de los Diez mil Humos, en Alaska. La cantidad de cobre del agua del mar es demasiado pequeña para que en los evaporados marinos se encuentren cantidades apreciables de este metal. Cualquier sal cuprosa que llegue al mar se transforma en seguida a cúprica. La solubilidad del cobre en el agua del mar está limitada por la de su oxocloruro, que se precipita y se transforma gradualmente en un carbonato básico.

4.1.2. Biogeoquímica del cobre.— El cobre muestra propiedades biófilas definidas. Es un microcomponente constante de las plantas y animales. En pequeñas cantidades estimula el crecimiento de los vegetales, mientras que, en grandes cantidades es venenoso. Sin embargo, algunas plantas pueden concentrar el cobre; p. ej., las leguminosas son ricas en este metal. Erkama (1947) considera que todo el cobre debe estar en las plantas en forma de complejos proteínicos. Vogt (1942) y Vogt y Braadlie (1942) han encontrado que las plantas *Viscaria alpina* y *Melandrium dioecurm*, desarrolladas en suelos envenenados con cobre, pueden soportar un contenido en este metal hasta de 6500 g/ton, mientras que el contenido normal del suelo es de 20 g/ton de Cu. En consecuencia, ambas plantas pueden subsistir en la proximidad de los afloramientos de las menas cupríferas, de las minas de cobre, etc, donde sucumben los demás vegetales. También está concentrado el cobre en las cenizas del carbón, así como en algunos animales, entre los cuales las ostras tienen una riqueza excepcional, que llega a 60 g/ton de Cu en los tejidos frescos. Harvey (1945) considera que el cobre se puede combinar con grandes moléculas orgánicas para formar sales insolubles o compuestos coordinados que están muy poco disociadas, como sucede con las moléculas proteicas.

El cobre es un elemento esencial del pigmento respiratorio hemocianina que se encuentra en la sangre de muchos invertebrados marinos (arácnidos, crustáceos, moluscos). También existe en las cenizas de las algas y de los corales. En las plumas se encuentra la turacina, que es una porfirina de

cobre. Otros compuestos orgánicos naturales de cobre son la hemocuprina, la hemocupreína y la hepatocupreína.

La hemocupreína es un compuesto proteínico de cobre, y se cree que interviene, en la síntesis de la hemoglobina. El cobre es también un microcomponente esencial para el crecimiento de muchos animales herbívoros y un catalizador de oxidación en algunas enzimas, que son verdaderos complejos de cobre-proteína.

Aunque gran parte del cobre concentrado por los organismos marinos continúa realizando el ciclo orgánico, debe de haberse precipitado una proporción considerable en los sedimentos ricos en materia orgánica durante la historia geológica de la Tierra.

De esta forma se ha concentrado el cobre en las sustancias bituminosas y en los sedimentos sapropélicos. Se cree que el cobre nativo de los sedimentos y de las turberas procede de la reducción de las soluciones de sulfato cúprico por los microorganismos.

4.2.- GEOQUÍMICA DEL PLÁTÁ

En los silicatos que constituyen las rocas ígneas normales existen cantidades muy pequeñas, o quizá nulas, de plata y oro, lo mismo que sucedía en el caso de los metales del platino y del cobre. La abundancia en plata y oro de las rocas ígneas y de las diversas fases meteoríticas se indica en la tabla 4-3, basada en los datos de Goldschmidt (1937b), tomados, en parte, de Noddack y Noddack, y, en parte, de las investigaciones previas de Goldschmidt y Peters.

Sin embargo, parece ser que algunas de las cifras recogidas no son fidedignas. Como ha señalado Goldschmidt (1937b), las cifras correspondientes a las rocas ígneas deben ser demasiado grandes.

TABLA 4-3**Abundancia del oro y de la plata**

Materia	Ag g/ton	Au g/ton
Ferroníquel	4	4
Troilita	18	0,5
Litiotos	(O)	(O)
Rocas ígneas	0,10	0,005

Desde el punto de vista geoquímico, la plata y el oro muestran diferencias bien marcadas. La plata está muy concentrada en las fases sulfuradas de los meteoritos. Este hecho y la forma de presentación de la plata en la litosfera superior constituye una prueba de su carácter calcófilo típico. Por el contrario, el oro está muy concentrado en el ferroníquel. Es cierto que el oro acompaña con facilidad a los elementos calcófilos en la litosfera superior, pero esto es debido a la diferencia entre el potencial redox de las partes superficiales de la Tierra y el de los meteoritos. Por lo que respecta a su forma de presentación terrestre, el oro es siderófilo, al contrario de lo que se creía al principio, estando concentrado en el núcleo de ferroníquel. Por tanto, se parece mucho al platino en este aspecto. Se ha comprobado la presencia de plata en la atmósfera solar, y es probable que también se encuentre el oro en ella.

4.2.1. Forma de presentación de la plata en la litosfera superior.— La plata, el oro y el cobre pertenecen al mismo subgrupo del Sistema Periódico. Por tanto, la forma de presentación de la plata y el oro en la litosfera superior se parece mucho a la del cobre. El cobre y la plata son sulfófilos y se presentan en su mayor parte combinados con el azufre y, en parte, con el selenio, formando varios sulfuros y seleniuros. Además, la plata forma varios telururos y sulfosales, estas últimas principalmente con el cobre, germanio, estaño, plomo y manganeso. A pesar de su carácter siderófilo, el oro

acompaña al cobre y a la plata en la litosfera superior, ya que es sulfófilo, aunque no forma ningún sulfuro independiente. El oro acompaña al selenio y, en particular, al telurio y se concentra al mismo tiempo que estos elementos. Se encuentra en la Naturaleza en estado nativo, aleado con la plata y los metales del platino, y formando telururos en muchos yacimientos de sulfuros. La tendencia del cobre y de la plata a combinarse con el azufre y la afinidad del oro para el telurio es probable que se deba, en parte, a las propiedades iónicas de estos elementos. Sus radios iónicos son los siguientes.

Cu ⁺	0,96 kX	S ²⁻	1,74 kX
Ag ⁺	1,13 kX	Se ²⁻	1,91 kX
Au ⁺	1,37 kX	Te ²⁻	2,11 kX

En consecuencia, era de esperar que el catión de mayor radio, Au[±], se combinase de preferencia con el mayor de los aniones, a saber: el Te²⁻.

La plata y, en especial, el oro están concentrados en el hierro telúrico, separado del basalto. Goldschmidt y Peters (1932b1) han citado cerca de 10 g/ton de Ag y 5 g/ton de Au en dichos hierros. A semejanza del cobre, la plata y el oro se concentran también con facilidad en los sulfuros separados durante los primeros estadios de la diferenciación magmática. Este comportamiento es normal en la plata, dado su carácter geoquímico calcófilo. Por el contrario, el oro constituye un nuevo ejemplo de la regla general, válida para muchos elementos siderófilos, como los metales del platino y el renio, de que en ausencia de una fase metálica estos elementos se concentran en la sulfurada. Sin embargo, hay otros elementos, de carácter siderófilo más o menos acentuado, que pasan a la fase silicatada, p. ej., el fósforo y el wolframio.

Entre los primeros óxidos que se separan, la cromita es el único que contiene oro y plata. Goldschmidt y Peters (1932b) han citados contenidos de 1 g/ton de Ag y 0,2 g/ton de Au.

Es probable que el contenido en oro y plata de los minerales, separados durante el estadio principal de la cristalización, sea menor que en cobre. A semejanza del cobre, aquellos dos metales se concentran en los últimos productos magmáticos. En particular, la separación del oro empieza con frecuencia antes que la del cobre durante el estadio pegmático de la cristalización. Las formaciones pegmatíticas e hidrotermales son los vehículos más característicos de la plata y el oro. También pueden contener cantidades notables de estos metales los minerales relacionados por su origen con los yacimientos neumatolíticos de estaño, como la casiterita (hasta 0,5 g/ton de Au y cerca de 100 g/ton de Ag, según Goldschmidt y Peters, 1932b), la molibdenita (más de 100 g/ton de Ag, y cerca de 10 g/ton de Au) y la triplita. Es frecuente que ambos metales estén concentrados también en los minerales pegmatíticos, como el ilmenorrutilo, la tantalita y la samarskita (Lunde, 1927; Lunde y Johnson, 1928).

Exceptuando la plata nativa, que lo mismo que el cobre nativo es con frecuencia de origen secundario, los minerales más importantes de plata comprenden los sulfuros y sulfosales siguientes:

Argentita y acantita.....	Ag_2S
Estefanita.....	$5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$
Polibasita.....	$8(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$
Pirargirita.....	Ag_3SbS_3
Proustita.....	Ag_3AsS_3

Todos los minerales de la lista anterior son menos importantes de plata, siendo probablemente la argentita el mineral primario de plata más importante. También la tetraedrita de plata (freibergita, $(\text{Cu}, \text{Ag})_3(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_4$) puede ser una mena de plata importante. Otro mineral argentífero de interés técnico es la galena, que puede llegar a contener el 2 % de plata. Las galenas que se forman a temperaturas elevadas y medias son más ricas en plata que las cristalizadas a temperaturas bajas (Oftedal, 19401). El contenido en plata de la galena suele ser debido a la incorporación de minerales de plata, separados de la estructura de la galena. Algunas veces se

encuentran pequeñas cantidades de argentita o matildita (Schapbachita), AgBiS_2 , que forma mezclas isomorfas con la galena. La blenda pura carece siempre de plata (Oftedal, 1940). La plata nativa no es nunca pura, sino que suele contener impurezas de oro, cobre y otros metales. La plata se presenta también aleada con el mercurio, formando la **kongsbergita** α - (Ag,Hg) , y la **moschellandsbergita** γ - (Ag,Hg) .

Los telururos más importantes de oro son la calaverita, AuTe_2 , y la silvanita, AuAgTe_4 . El oro nativo es siempre impuro, lo mismo que la plata nativa. Las impurezas principales son la plata, el cobre, el hierro y los metales del platino. La amalgama de oro, (Au,Hg) , es rara.

En presencia simultánea de una fase sulfurada y otra arseniurada (antimoniurada), el oro, debido a su conducta siderófila, se concentra de preferencia en los arseniuros y antimoniuros, que poseen un carácter metálico pronunciado. Del mismo modo, el oro, como elemento siderófilo, prefiere los minerales metálicos, de los grupos de la piritita y de la marcasita-loellingita. Está asociado, por lo general, con la piritita y la arsenopiritita.

Según Goldschmidt y Peters (1932.h), la plata predomina sobre el oro en la mayoría de los sulfuros y sulfosales de los filones hidrotermales, como son la calcopiritita, bornita y tetraedrita en los cuales la razón Ag: Au es 500-2000, mientras que el oro se concentra de preferencia en los arseniuros hidrotermales de cobalto, y especialmente en los de níquel. Cuando en un yacimiento sulfurado se forman al mismo tiempo la calcopiritita y la pirrotina (pentlandita), la plata prefiere la primera. Lunde (1927) ha citado 11,5 g/ton de Ag en la calcopiritita de Knaben, Noruega, y sólo 4,0 g/ton en la pirrotina asociada con ella. El oro acompaña al cuarzo en los últimos filones hidrotermales, mientras que los minerales de plata se suelen encontrar en los filones de carbonato (van Aubel, 1934).

Parece ser que el oro prefiere las pegmatitas sódicas de albita relacionadas con los magmas ácidos e intermedios, mientras que el estaño se encuentra en las pegmatitas potásicas. En las soluciones magmáticas, el oro se

encuentra, al menos en parte, en estado nativo disuelto o coloidal, debido a su inercia química bastante grande.

No se dispone de datos fidedignos relativos al contenido medio en plata y oro de las rocas ígneas. Lunde (1927), y Lunde y Johnson (1928) han encontrado hasta 2,1 g/ton de Ag en la dunita, hasta 9,4 g/ton en las peridotitas y 0,3 g/ton en la eclogita. En esta última, la plata está contenida en el granate, mientras que el piroxeno carece de ella. Goldschmidt y Peters han encontrado 0,5 g/ton de Ag en una norita; Wagoner (según Clarke, 1924) ha citado 0,5 g/ton de Ag en un basalto, 7 g/ton en una diabasa y 0,9-7,7 g/ton en los granitos. El promedio hallado por Goldschmidt (1926) en las rocas ígneas alcalinas de la provincia de Oslo es de 0,12 g/ton de Ag. Las determinaciones del oro son todavía más escasas. Leutwein (1939) ha encontrado 0,1 g/ton de Au en la piroxenita, y 0,1-0,2 g/ton en las anfibolitas de origen magmático. El valor correspondiente a las anfibolitas de origen sedimentario fué de 0-0,1 g/ton. Wagoner ha encontrado 0,026 g/ton de Au en un basalto, 0,076 g/ton en una diabasa, y 0,1-1,1 g/ton en los granitos.

4.2.2 Ciclo de la plata y el oro.- El oro y la plata difieren también en forma notable en su conducta durante la meteorización. Lo mismo que el cobre, la plata se disuelve en forma de sulfato. Sin embargo, la solubilidad del sulfato de plata es menor que la del sulfato cúprico, En la zona de cementación de los yacimientos minerales se reprecipita la plata, por lo general formando el cloruro clorargirita, AgCl, que es una mena de plata, o el sulfuro. Del mismo modo, en las partes superiores de los yacimientos de plata se encuentran bromuros y yoduros de este metal, formados a consecuencia de reacciones secundarias producidas por las aguas descendentes. Las soluciones argentíferas que se forman durante la meteorización depositan su plata en forma de sulfuro, cloruro o sulfato en los sedimentos de hidrolizados. Algunas veces, la plata se deposita en las areniscas en forma de cloruro, asociada íntimamente con plantas fósiles y con agallas de arcilla (Utah, Estados Unidos). Otro ejemplo de la acción de los procesos biológicos en el depósito de la plata lo constituyen las arcillas pizarrosas de *Dictyonema* de Escandinavia, las cuales pueden contener varios g/ton de Ag (Goldschmidt,

1931α). A veces, los hidrolizados marinos son muy ricos en plata. Goldschmidt (1926~ cita los promedios del cuadro adjunto. Estas cifras demuestran las grandes variaciones regionales del contenido en plata en varias partes de la Tierra.

<i>Materia</i>	<i>Ag g/ton</i>
Arcillas cuaternarias noruegas	0,05
Sedimentos batiales	0,11
Sedimentos terrígenos de la costa occidental de África del Sur	0,66

Según Wagoner (citado por Clarke, 1924), la arenisca contiene 0,44 g/ton de Ag, y la caliza, alrededor de 0,2 g/ton. La plata se concentra también en los oxidados marinos: Goldschmidt y Petera (1932b) han encontrado 1 g/ton de Ag en un nódulo de manganeso.

Debido a que el oro tiene más inercia química que la plata y a que sus compuestos se reducen con facilidad a metal, permanece, en gran parte, en estado nativo, y se concentra en los inatacados. Debido a su peso específico elevado, el oro forma con frecuencia placeres bastante ricos.

Estos yacimientos constituyen uno de los tipos más importantes de menas de oro. El oro se disuelve y transporta con facilidad, probablemente, en gran parte, en soluciones coloidales, que pueden depositarse incluso a bajas temperaturas. El oro que se disuelve en la zona de oxidación de las menas de oro se vuelve a depositar en la zona de cementación, en la cual se verifica, a veces, un enriquecimiento secundario.

Al mar sólo llegan cantidades despreciables de oro, que acaban por ser extraídas por adsorción en los sedimentos hidrolizados. A semejanza de la plata, el oro se puede concentrar en los oxidados. Wagoner (según Clarke, 1924) ha encontrado un promedio de 0,023 g/ton de Au en algunas areniscas y de 0,005-0,009 g/ton en las calizas. Goldschmidt y Peters (1932b) han citado 0,2 g/ton de Au en nódulo de manganeso.

4.2.3 Forma de presentación de la plata en la biosfera. — Se sabe que la plata es un microcomponente difundido, aunque muy esporádicamente, en varios organismos terrestres y marinos. En las cenizas de las algas marinas se han llegado a citar 1,5 g/ton de Ag. Se ha encontrado que el agua del mar cargada de organismos planctónicos es especialmente rica en plata y oro, y se supone que estos metales no están en disolución verdadera, sino adsorbidos en la superficie de los organismos marinos. También se ha encontrado plata en los hongos, y se cree que las algas precipitan la plata de las aguas termales. En las cenizas del carbón (véase Cap. VIII) se ha citado un máximo de 10 g/ton de Ag, de donde se deduce que la plata está muy concentrada en ellas. Según Mitchell (1944), el contenido en plata del suelo puede llegar a 2 g/ton.

Se sabe que el oro está concentrado en algunas plantas, en particular en las semillas, pero se desconoce su función biológica. Parece ser que hay muy pocas plantas capaces de concentrar el oro. Las cenizas de los Equisetum, que crecen en regiones ricas en oro, pueden llegar a contener 610 g/ton de Au, lo que corresponde aproximadamente a un contenido de 60 g/ton en la planta. Los suelos húmicos contienen 0,1-0,5 g/ton de Au (véase Thyssen-Bornemisza, 1942). En las cenizas del carbón puede haber hasta 0,5 g/ton de Au. También se encuentra el oro en algunos animales marinos. En el estómago de las aves existen, a veces, partículas de oro procedentes de la arena. La acción del hombre como agente concentrador de la plata y el oro tiene interés geoquímico. Zviaginzev (1941) ha calculado que la concentración del oro en la antroposfera ya es del orden del 0001 % de la cantidad total de oro de la Tierra.

4.3.- GEOQUIMICA SUPERFICIAL EN EL AREA DE ESTUDIO.

El análisis de la geoquímica superficial mediante una malla de muestreo tiene por objetivo identificar las anomalías geoquímicas de los elementos o de

aquellos que se encuentren asociados a los tipos VMS, en este caso también determinar su posible correlación superficial con el cobre y la plata.

4.3.1.- MUESTREO GEOQUÍMICO.

El área de estudio fue cubierta por una malla de muestreo que esencialmente se orientó a cubrir las zonas de alteración considerando distancias de cien a doscientos metros; todo el prospecto de San Fidel fue cubierta por dos flancos (extremo este y Oeste), limitados por la accesibilidad ya que la topografía tiene pendientes con taludes mayores a 70°.

4.3.2.- CODIFICACIÓN Y METODOLOGÍA EN LA TOMA DE MUESTRAS.

En el prospecto San Fidel el muestreo geoquímico por puntos (chip o esquirla de roca) se realizó en toda el área con incidencia en las zonas de alteración como es silicificación, oxidación y la zona de la propilitización. Dentro de las tres zonas la que cubre más área tanto regional como localmente es la propilitización, lo que se puede observar en los planos (PG-03, PG-04).

Debemos concluir también de los resultados del análisis estructural y geoquímico que esta malla puede ampliarse tanto en distancia como en área de cobertura para llegar a investigar las tendencias de la ocurrencia de la mineralización tanto en la zona central de ambas estructuras circulares definidas regionalmente como en la periferie de acuerdo a los resultados de una campaña geofísica o el método más adecuado al respecto

Localmente esta malla geoquímica se podría repetir en las zonas de intenso fracturamiento y oxidación.

Los resultados del análisis del muestreo geoquímico se exponen en el cuadro GF- 01.

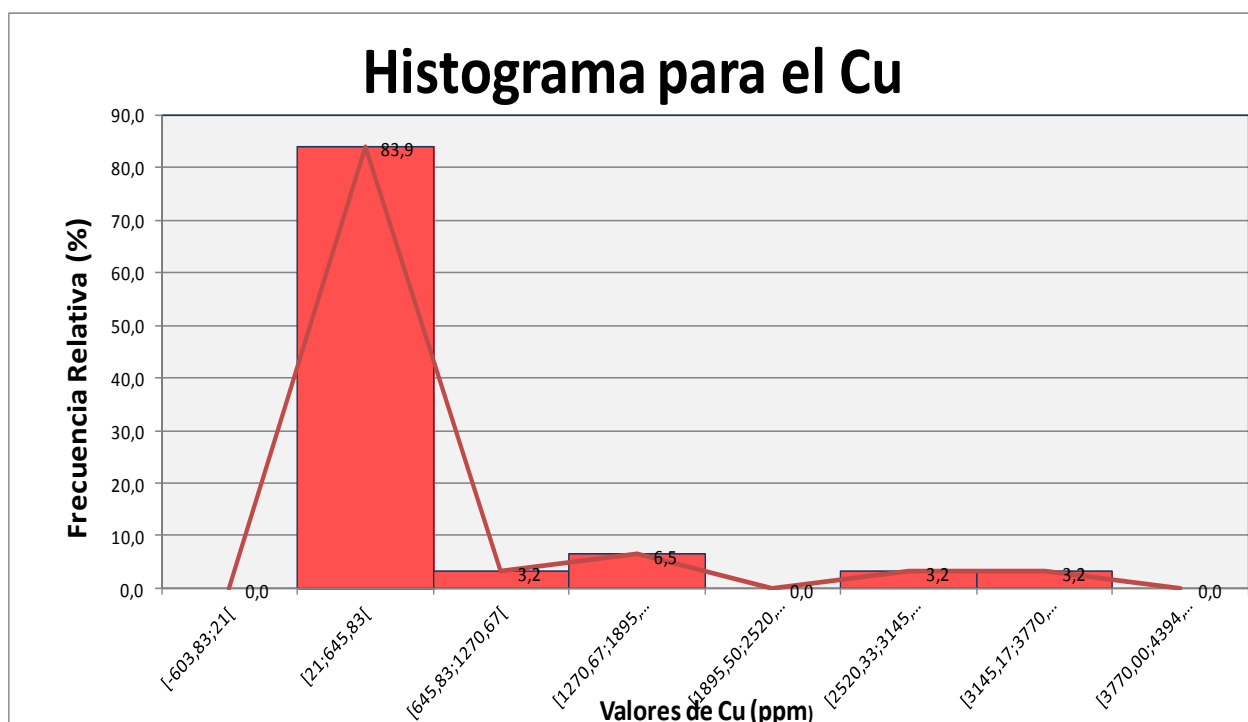
4.4.-TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS.

Como primer paso se revisó la data geoquímica consistente en una población de 31 datos y con aplicación del software (SURFER) se obtuvo las anomalías de los valores de cobre y plata ploteados en los respectivos planos donde los valores anómalos se han definido partir de estos valores y en el caso del cobre se ha determinado como valor de background 800 ppm y el valor threshold es 2400, luego con estos valores se ha definido hasta dos áreas de interés dentro de la zona de San Fidel.

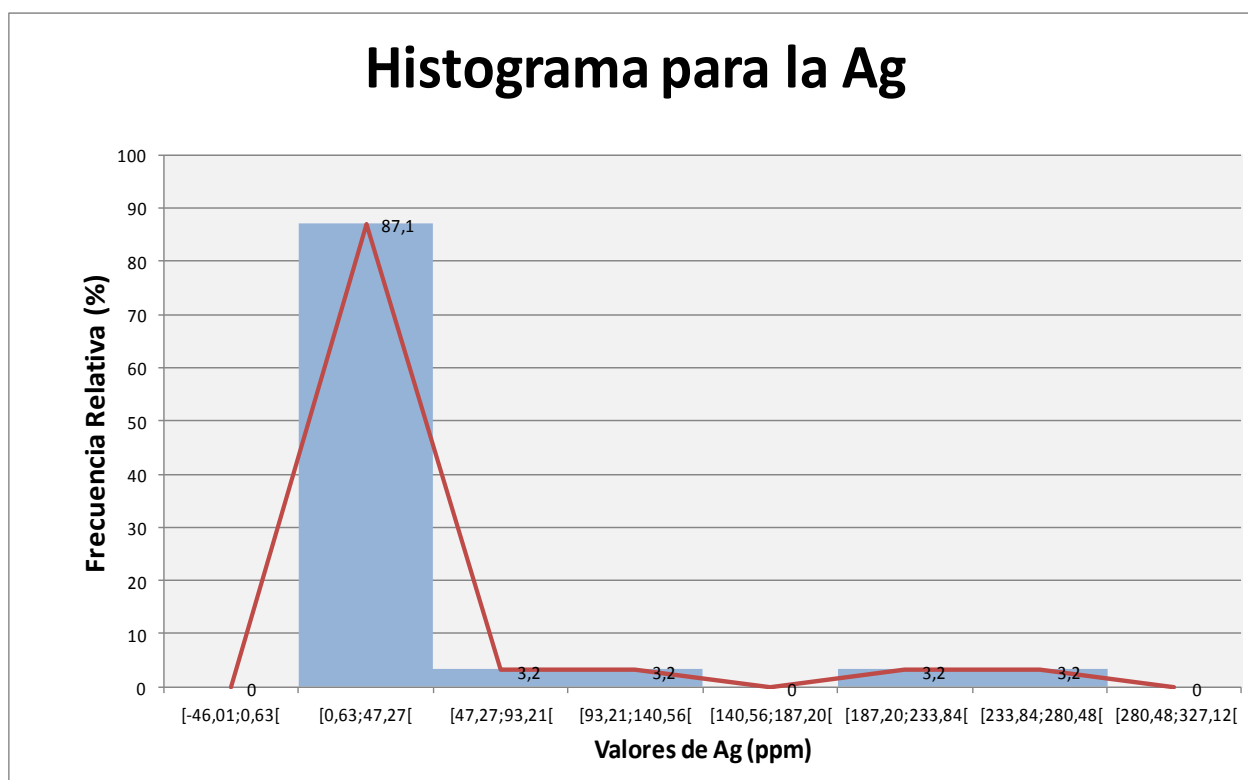
En el caso de la plata se ha determinado como valor de background 100 ppm y el valor threshold es 180, luego con estos valores se ha definido solo una áreas de interés dentro de la zona de San Fidel, ambas a anomalías se en los planos respectivos.

4.4.1.- HISTOGRAMAS.

Para el análisis estadístico de las muestras obtenidas en el área de estudio para los metales de Cu y Ag se efectuó el histograma respectivo para cada elemento recurriendo al Excel para ello y se utilizó la población de muestreo del área de estudio. En el histograma se puede distinguir claramente las anomalías de los valores de cobre y la plata cuyos valores altos nos indica la ocurrencia de estos metales en la zona de la alteración propilítica.

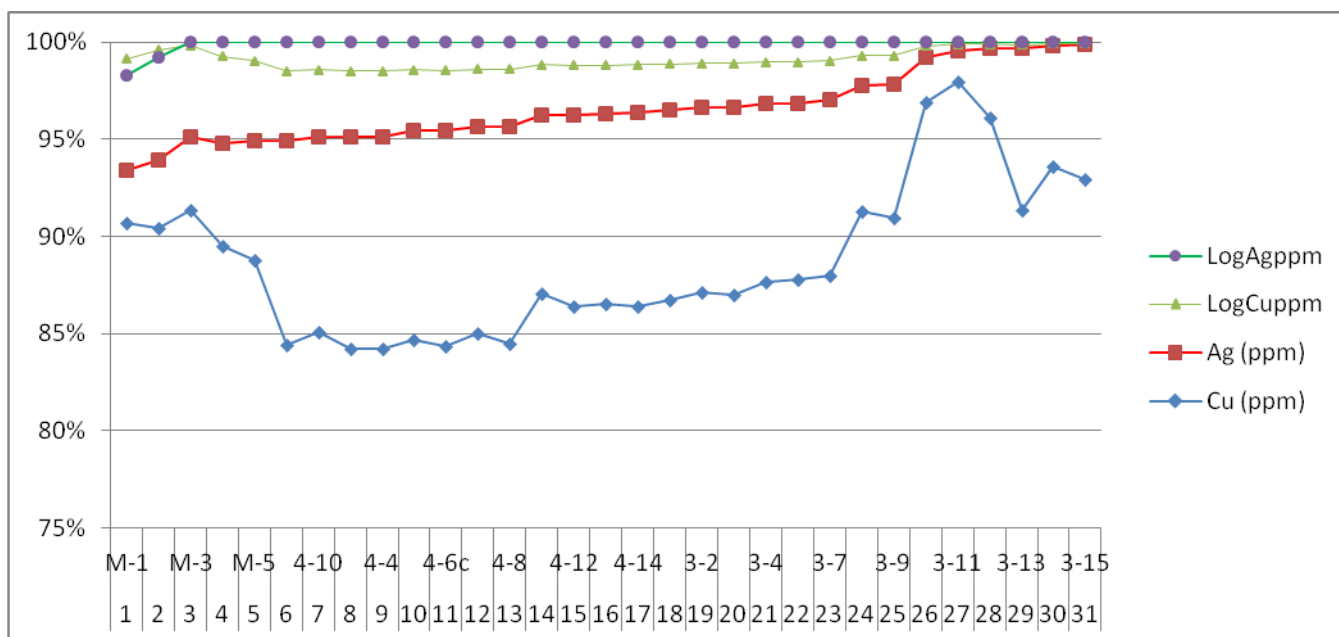


Se observa dos valores como distribución bimodal que se asume como anomalía que se encuentran en 3.2% de las muestras en el caso del cobre.



4.4.2.- ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DE LA PLATA-COBRE

Para el análisis de la correlación entre estos metales de Cu y Ag se efectuó el cálculo recurriendo al Excel utilizando la población total del área de estudio que son 31. En la correlación se puede distinguir la afinidad y del gráfico cuyo alto índice (0.7- 0.92) nos indica como interpretación una buena correlación.



Cuadro GF- 01.- RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL MUESTREO GEOQUÍMICO

Laboratorio de espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería

PUNTOS DE MUESTRA	PUNTO CAMPO	Este	Norte	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	LogCuppm	LogAgppm
1	M-1	334950	8683950	67	7.53	21	0.63	1.32	-0.20
2	M-2	334850	8683980	72	15.50	21	0.81	1.32	-0.09
3	M-3	334580	8683780	28	8.91	28	1.14	1.45	0.06
4	M-4	334320	8683670	952	8.01	29	1.71	1.46	0.23
5	M-5	334120	8683970	21	7.40	33	2.29	1.52	0.36
6	4-9	334963	8684572	77	5.91	37	4.59	1.57	0.66
7	4-10	334807	8684595	29	8.03	39	4.59	1.59	0.66
8	4-3	335060	8684070	1355	50.21	40	5.17	1.60	0.71
9	4-4	334340	8684520	3770	280.48	40	5.17	1.60	0.71
10	4-5	334490	8684570	479	123.52	45	5.75	1.65	0.76
11	4-6c	334720	8684590	1349	200.26	45	5.91	1.65	0.77
12	4-12	334440	8684630	48	7.63	48	6.02	1.68	0.78
13	4-8	335010	8684307	45	0.81	48	6.32	1.68	0.80
14	4-11	334641	8684593	40	6.82	60	6.33	1.78	0.80
15	4-12	334255	8684651	39	6.02	60	6.82	1.78	0.83
16	4-13	334387	8684484	125	5.75	61	6.9	1.79	0.84
17	4-14	334605	8684528	84	0.63	64	7.4	1.81	0.87
18	3-1	333012	8684005	21	6.33	67	7.53	1.83	0.88
19	3-2	333008	8684150	37	8.64	70	7.63	1.85	0.88
20	3-3	333020	8684250	3000	6.90	72	8.01	1.86	0.90
21	3-4	333025	8684450	60	9.81	77	8.03	1.89	0.90
22	3-5	333028	8684550	33	11.55	78	8.06	1.89	0.91
23	3-7	332985	8684620	78	8.06	84	8.64	1.92	0.94
24	3-8	332890	8684720	60	5.17	125	8.91	2.10	0.95
25	3-9	333150	8684120	70	6.32	130	9.81	2.11	0.99
26	3-10	333150	8684210	130	4.59	479	11.55	2.68	1.06
27	3-11	333230	8684185	40	1.14	952	15.5	2.98	1.19
28	3-12	333225	8684015	61	2.29	1349	50.21	3.13	1.70
29	3-13	333350	8684005	64	1.71	1355	123.52	3.13	2.09
30	3-14	333620	8684185	48	4.59	3000	200.26	3.48	2.30
31	3-15	333630	8683990	45	5.17	3770	280.48	3.58	2.45

4.5.- PARAMETROS GEOQUIMICOS.

De la revisión de la data y aplicación del software (SURFER) se obtuvo los parámetros geoquímicos para definir las anomalías de cobre y plata estas son:

Background para la plata: 100 ppm

Thereshold es a partir del valor de la media y la desviación estándar este parámetro es de 180 ppm

En el caso del cobre el valor de estos parámetros es mayor:

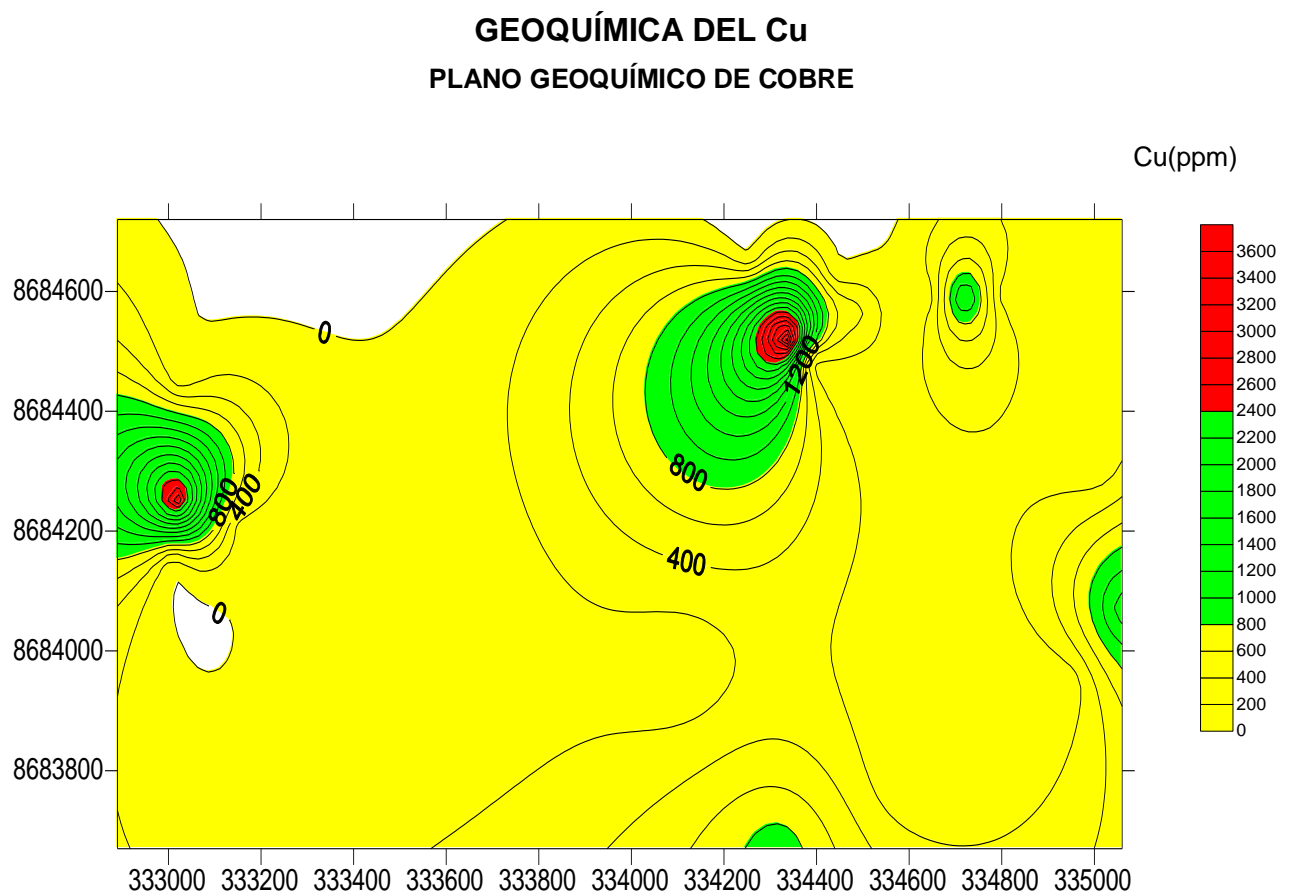
Background para la plata: 800 ppm

Thereshold es a partir del valor de la media y la desviación estándar este parámetro es de 2400 ppm

Con estos parámetros geoquímicos se ha definido las áreas de interés dentro de la zona de San Fidel que se muestran en los planos respectivos.

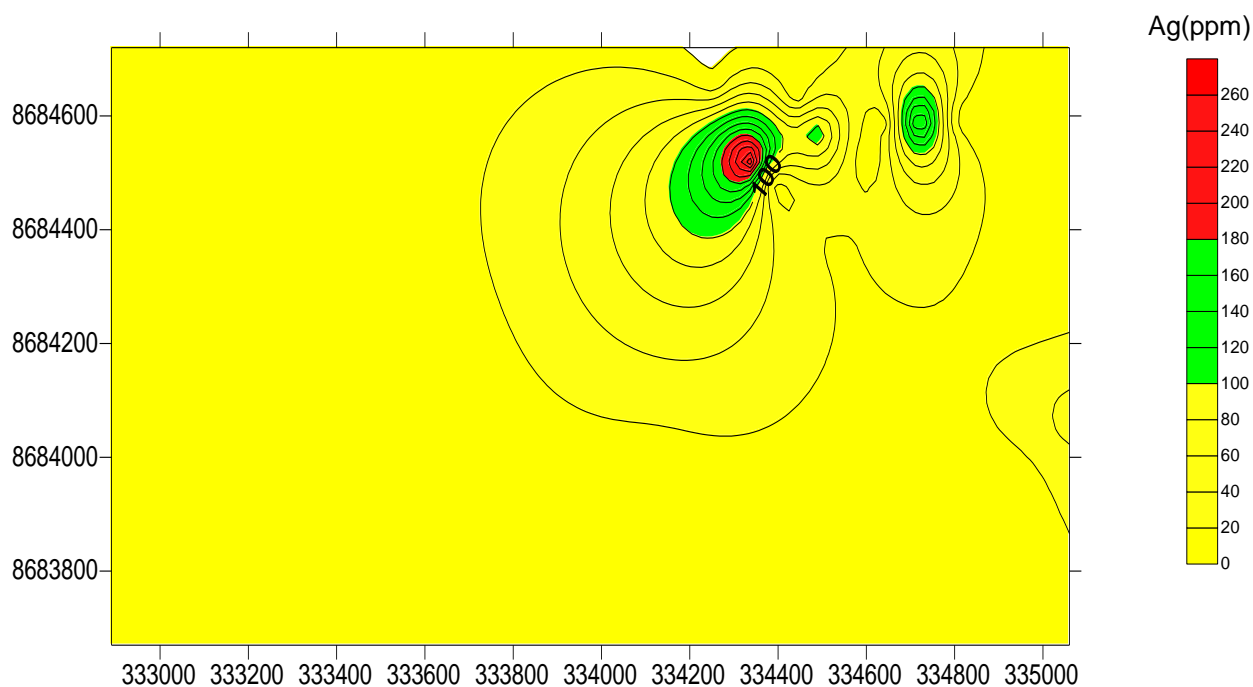
4.6.- PLANOS GEOQUÍMICOS.

A partir de la revisión de la data y con aplicación del software (SURFER) se obtuvo los planos geoquímicos que nos ayudan a determinar los parámetros geoquímicos así como las anomalías para el cobre y la plata. En el caso del cobre se determinó dos zonas de anomalía definidas en el área de la alteración propilítica (Grupo Rímac)



En el caso de la plata se determinó solo una zona de anomalía definida en el área de la alteración propilítica (Grupo Rímac).

GEOQUÍMICA DE LA Ag.
PLANO GEOQUÍMICO DE PLATA



Descriptive Statistics.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
LogCuppm	31	1,32	3,58	1,9897	,62804
LogAgppm	31	-,20	2,45	,8932	,59002
LoCuAppm	23	1,32	1,92	1,6735	,17819
LoAgAppm	28	-,20	1,70	,7446	,38446
Cuppm	31	21,00	3770,00	397,6452	879,43594
Agppm	31	,63	280,48	26,6352	62,16393
Valid N (listwise)	23				

CAPITULO V

INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA

5.1.- INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA DEL COBRE.

De los resultados de la geoquímica referido al cobre este se presenta como anomalía en la zona de alteración propilítica en los volcánicos del Grupo Rímac pero en la andesita de la Formación Arahua se presenta ligado a la mineralización primaria de calcopirita con magnetita y arsenopirita que serian los controles mineralógicos tomados en forma preliminar en esta fase del estudio

5.2.- INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA DE LA PLATA

De los resultados de la geoquímica referida a la plata se presenta como anomalía en una zona de alteración propilítica restringida y parageneticamente a la etapa final de menor temperatura posible a la mineralización de tetraedrita y si es de más temperatura seria ligado a la tetraedrita.

5.3.- APLICACIONES:

De los resultados de la geoquímica y las consideraciones estructurales tenemos como aplicación de estos estudios el desarrollo de los programas de muestreo geoquímico dirigido a las zonas de interés en el entorno de las anomalías detectadas, con diseño de mallas adecuadas y adicionalmente un programa de perforación diamantina recomendada para explorar y desarrollar el yacimiento de cobre - plata en el área estudiada

Los valores del background son altos de 800 ppm para el cobre y 100 ppm para la plata lo que nos indica que la zona es de interés prospectivo expectante.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES

- 1.-De los gráficos y planos elaborados debemos concluir que en el prospecto San Fidel se ha detectado dos zonas de importante anomalía de cobre y plata.
- 2.En este estudio se ha determinado los controles de alteración hidrotermal. Control estructural y control litológico como un primer alcance del estudio.
- 3.En el entorno del área estudiada se tienen yacimientos importantes como prospectos y como operaciones cerradas (PERUBAR) que nos permitirían concluir que en la zona existe un zonamiento horizontal de temperatura.
- 4.El área del prospecto San Fidel estaría en el borde de una gran estructura circular de un diámetro aproximado de 4.5 km, que también nos ayudaría a concluir que estamos en una zona donde se debe considerar un control estructural y temperatura.
- 5.Regionalmente se ha podido distinguir dos estructuras circulares cuyo diámetro coincide y tiene una orientación NE-SO, los diámetros de estas estructuras tienen una extensión esencialmente coincidente. La estructura **A** tiene 5 km y la estructura **B** 4,5 km.
- 6.En cuanto a la alteración regional debemos mencionar que lo que se nota nítidamente en el centro de la estructura **B** una zona de oxidación que está siendo atravesada por una vía carrozable afirmada, también es necesario afirmar que la topografía es sumamente accidentada con taludes de pendiente mayores a 70°, en esta estructura **B** también se puede observar que la dirección de la quebradas es radial.
- 7.La estructura **A** tiene una geomorfología un tanto diferente con desarrollo de valles que lo han atravesado diametralmente y también se puede observar que la zona de alteración es excéntrico. El flanco de estos valles es similar a la estructura B accidentado.

RECOMENDACIONES

1. De los resultados obtenidos en el muestreo geoquímico en el prospecto San Fidel, donde se detectó dos zonas de fuerte anomalía de Cu y Ag por lo que se recomienda desarrollar una malla de muestreo más amplia que en lo posible cubra las zonas de fuerte alteración en ambas estructuras.
2. Se recomienda una prospección geofísica que cubra la zona más interesante de la estructura A (SE),
3. A partir de la malla geoquímica y los valores anómalos detectados debemos recomendar ubicando mínimo dos taladros dirigidos de 200 y 300 metros respectivamente, tratando de llegar por debajo del lecho del río Rímac considerando que el encampane de la mina Leonila-Graciela (PERUBAR) las labores llegaban a desarrollarse por debajo del río Rímac.
4. Una prospección directa mediante trincheras sería recomendable desarrollarla en las zonas de fuerte alteración de la estructura **B**.
5. Considerando la estructura A de alcance regional se debe plantear una malla geoquímica en los bordes de fuerte alteración y en la zona excéntrica que también tiene fuerte alteración.
6. Regionalmente la estructura **B** debería ser considerada para un mapeo estructural y muestreo geoquímico en el centro de la estructura que es la zona de fuerte alteración por óxidos.
7. Una segunda fase de exploración en la estructura **B** con un taladro de más de 500 m, que alcance una cota al fondo de la quebrada Canchacaylla y el río Rímac.
8. Es necesario considerar una campaña de geofísica que cubra a las dos estructuras.
9. Regionalmente realizar una malla geoquímica que cubra las dos estructuras para que sea interpretado por los especialistas.
10. Considerando los costos y la importancia de las estructuras detectadas sería recomendable hacer campañas de prospección geoquímica que es el método más efectivo y de mayor certeza para exploración en un área extensa de prospección.
11. Se recomienda incidir en el diagnóstico a partir de la geofísica aplicada para esta zona y ayude a definir las anomalías en forma indirecta posible antes de desarrollar la campaña de perforación diamantina que sería la determinante y más costosa de los métodos de prospección directa.

ANEXOS.

PLANOS:

- Plano geología local GLSF - 02
- Plano geología regional GRSF - 01
- Plano catastral PC - 01
- Plano Metalogénico PM- 01
- Plano geológico regional de imagen GRIM-01
- Plano geológico estructural regional GE-01
- Plano de muestreo geoquímico de Cu PG - 03
- Plano de muestreo geoquímico de Ag. Cu PG - 04

FIGURAS:

- Figura 1: Plano de ubicación.
- Figura GSF1: Unidades geomorfológicas
- Figura SE-02: Sección geológica
- Figura SE-03: Ubicación de Sección regional BB'
- Modelo geológico preliminar MG-01
- Plano geoquímico del Cu
- Plano geoquímico de la Ag

FOTOGRAFÍAS:

Fotografía N° 1.- Vista del flanco derecho del valle de río Rímac donde se emplaza el prospecto San Fidel. Resaltan sistema de fallamiento.

Fotografía N° 2.- Vista panorámica cubriendo el flanco derecho del valle de río Rímac donde se emplaza el prospecto San Fidel.

Fotografía N° 3.- Vista parcial de la parte superior del flanco derecho del valle de río Rímac donde se emplaza el prospecto San Fidel. Resaltan sistema de fallamiento.

Fotografía N° 4.- Vista del flanco derecho del valle de río Rímac mirando hacia el este donde se emplaza el inicio del prospecto San Fidel.

Fotografía N° 5.- Miembro inferior de la zona de muestreo con intenso diaclasamiento

Fotografía N° 6.- Vista del flanco derecho del valle de río Rímac donde se puede observar el intenso diaclasamiento en el entorno de la falla en el prospecto San Fidel

Fotografía N° 7.- Pleno proceso de toma de muestra para la sección delgada de la unidad inferior.

Fotografía N° 8.- Pleno proceso de toma de muestra chip de roca y observación de campo

Fotografía N° 9.- Roca pórfido de andesita fuertemente alterado (Silicificación) y diseminación de sulfuros.

Fotografía N° 10.- vista microscópica de sección delgada de roca andesita fuertemente alteración (Silicificación) con diseminación de sulfuros en una masa de silicificado

Fotografía N° 11.- Roca de zona de fallamiento del área de estudio fuertemente alterado y fracturado (A2)

Fotografía N° 12.-Roca andesita fuertemente alterada tomada de la zona de alteración propilítica.

Fotomicrografía N° 13.- Cristal tabular, maclado de albita con alteración sericítica y Carbonatación.

Fotomicrografía N° 14.- Cristales angulosos de plagioclasa alterada y cuarzo.

Fotografía N° 15.- Sección delgada A-1.1, vista microscópica de roca alterada con fuerte Silicificación alteración de las plagioclasas parcialmente están siendo afectadas por la alteración.

Fotografía N° 16.- Sección A-1.2.- Vista microscópica de roca con fuerte alteración física por fracturamiento de los cristales.

Fotomicrografía N° 17.- Cristales de cuarzo, plagioclasa en una matriz alterada.

Fotomicrografía N° 18.- Plagioclasas y feldespatos alterados a sericita.

Fotografía N° 19.- Sección A-2.1.- Vista microscópica de roca con fuerte alteración mecánica fracturamiento de la roca por oxidación y alteración de las plagioclasas

Fotografía N° 20.- Sección A-2.2.- Vista microscópica de roca con fuerte alteración mecánica fracturamiento de los cristales y alteración de las plagioclasas.

Fotomicrografía N° 21.-Cristal de plagioclasa con sericita, en una matriz compuesto por cuarzo-feldespatos y plagioclasa.

Fotomicrografía N° 22.- Cristales de feldespatos alterados a sericita.

Fotografía N° 23.- Sección A-3.1, vista microscópica de sección con fuerte alteración propilítica de las micas (sericitización)

Fotografía N° 24.- Sección A-3.2, vista microscópica de sección con fuerte alteración propilítica de las epidotas y plagioclasas

Fotografía N° 25.- Vista de mineralogía de una muestra de Arahúy con minerales de cp, py y cuarzo

Fotografía N° 26.- Vista de roca andesita de la Fm Arahúy con minerales de calcopirita y pirita

BIBLIOGRAFÍA.

- Alberca A., (1956) Aspectos Geológicos del distrito Chilca. Bol. Sociedad Nacional de Minería y Petrol. N° 46 – 47. Lima-Perú.
- Amiel Meza, Richard W. 1970 Geología del área de Ancón, zona de Piedras Gordas. Boletín Técnico del Colegio de Ingenieros del Perú. Lima-Perú.
- Bellido E., (1969) Sinopsis de la Geología del Perú Serv. de Geología y Minería Bol. N° 22 Serie A.
- Benavides V. (1956) Cretaceous System in Northern Perú. Bulletin American Museum of Natural History. Vol. 108, New York. U.S.A
- Boit B., (1959) La gran Formación Porfirítica Neocomiana, su edad y su extensión en la Costa Peruana. Pub. Mus. de Hist. Nat. Javier Prado N° 7. Lima-Perú
- Boletín N ° 43 INGEMMET SERIE CARTA GEOLOGICA NACIONAL - Geología de los cuadrángulos: Lima (25i), Lurín (25j), Chancay (24i) y Chosica (24j) de Julio Caldas V., 1996.
- Bose E., (1963) Geología de la región comprendida entre la quebrada Parcca. (Chilca) y el valle de Mala. Tesis Bachiller, Fac. Ciencias Univ. Nac. Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- DICCIONARIO GEOLOGICO.- Jorge Dávila Burga – Lima, Perú 1992.

- Lisson C.I. (1939) Esquema Geológico de los alrededores de Lima. Bol. Museo de Hist. Nat. Javier Prado. Año III N° 10. Lima-Perú.
- Lisson y Boit B. (1942) Edad de los Fósiles peruanos y distribución de sus depósitos. Texto, cuarta edición - Lima.
- Manrique A. y Ruegg W. (1967). Geología de Pucusana y alrededores. Bol. Soc. Geol. del Perú. Tomo 2. Lima-Perú
- Mégard F. (1979) Estudio Geológico de los Andes del Perú Central. INGEMMET. Bol. N° 8, Serie D. Estudios Especiales. Lima-Perú.
- Minist. Agricultura Los bosques de los desiertos costeros, las lomas de la costa y los beneficios que pueden prestar a la economía nacional. Informe N° 29
- The mapping of geological structures – Ken Mc Clay- Londres, Inglaterra 1997

ANEXOS de PLANOS

- Plano geología local (GLSF-02)
- Plano geología regional (GRSF-01)
- Plano catastral (PC-01)
- Plano geológico regional de imagen (GRIM-01)
- Planos geoquímicos de Cu (PG-03)
- Planos geoquímicos de Ag. (PG-04)