

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



**Petrología y Geoquímica de las
Rocas Igneas de Hualgayoc - Cajamarca**

**Tesis para optar el título de
INGENIERO GEOLOGO**

Luis Humberto Chirif Rivera
LIMA - PERU
1991

A MIS PADRES
A MI ESPOSA
A MI HIJO POR VENIR

INDICE

RESUMEN.....	1
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. INTRODUCCION.....	3
1.2. UBICACION.....	4
1.3. ACCESIBILIDAD.....	5
1.4. FISIOGRAFIA Y DRENAJE.....	5
1.5. CLIMA.....	6
2. GEOLOGIA.....	9
2.1. INTRODUCCION.....	9
2.2. ESTRATIGRAFIA.....	9
2.2.1. FORMACION FARRAT.....	10
2.2.2. FORMACION INCA.....	10
2.2.3. FORMACION CHULEC.....	11
2.2.4. FORMACION PARIATAMBO.....	11
2.2.5. FORMACION YUMAGUAL.....	12
2.2.6. FORMACION MUJARRUN.....	12
2.2.7. FORMACION ROMIRON.....	13
2.2.8. VOLCANICOS CALIPUY.....	13
2.2.9. FORMACION HUAMBOS.....	14
2.2.10. DEPOSITOS CUATERNARIOS.....	14
2.3. ROCAS IGNEAS.....	14
2.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	16
2.5. GEOLOGIA ECONOMICA.....	17
2.6. GEOLOGIA HISTORICA.....	19
3. DESCRIPCION Y DATACIONES RADIOMETRICAS DE LAS ROCAS IGNEAS.....	29
3.1. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES UNIDADES.....	29
3.1.1. INTRUSIVO TANTA HUATAY.....	29
3.1.2. INTRUSIVO SAN MIGUEL.....	32
3.1.3. INTRUSIVO HUALGAYOC.....	34
3.1.4. INTRUSIVO COYMOLACHE.....	36
3.1.5. SILLS.....	38
3.1.5.1. SILLS DEL CAÑON DEL RIO HUALGAYOC.....	38
3.1.5.2. SILL YANACANCHA.....	40
3.1.5.3. SILL JESUS.....	41
3.1.6. CUERPOS MENORES.....	42
3.1.6.1. STOCK DEL CERRO MARIA.....	42
3.1.6.2. DIQUE EL DORADO.....	42
3.1.6.3. OTROS CUERPOS MENORES.....	43
3.1.7. ROCAS VOLCANICAS.....	44
3.1.7.1. VOLCANICOS CALIPUY.....	44
3.1.7.2. DOMO HUALGAYOC.....	45
3.1.7.3. VOLCANICOS PALO DE FIERRO.....	46
3.1.7.4. OTRAS OCURRENCIAS MENORES.....	47
3.2. DATACIONES RADIOMETRICAS.....	48
4. ESTUDIO GEOQUIMICO DEL MAGMATISMO.....	56
4.1. PRESENTACION DE LAS MUESTRAS.....	56
4.2. ANALISIS QUIMICOS GLOBALES.....	57
4.3. ANALISIS NORMATIVO.....	58

5. INTERPRETACION Y DISCUSION.....	63
5.1. PETROLOGIA.....	63
5.2. RELACION ENTRE LA FORMACION DE LAS DIFERENTES UNIDADES IGNEAS Y LA DIFERENCIACIONMAGMATICA.....	65
5.3. RELACION ENTRE EL MAGMATISMO Y LA MINERALIZACION.....	67
5.3.1. RELACION ENTRE EL MAGMATISMO Y LOS YACIMIENTOS CONCORDANTES.....	67
5.3.2. RELACION ENTRE EL MAGMATISMO Y LOS YACIMIENTOS DISCORDANTES.....	68
5.3.2.1. VETAS.....	69
5.3.2.2. YACIMIENTOS TIPO SKARN.....	72
5.3.2.3. CUERPOS IRREGULARES DE py-cz-en.....	73
5.4. EVOLUCION COMPOSICIONAL Y GEOQUIMICA DEL MAGMA.....	74
5.5. CLASIFICACION GEOQUIMICA Y TIPIFICACION DEL MAGMA.....	76
6. CONCLUSIONES.....	90
7. RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS.....	94
ANEXOS	
1. ABREVIATURAS.....	98
2. DIAGRAMA AQPf.....	99
3. PROCEDIMIENTO PARA HALLAR LOS PORCENTAJES DE Fe ₂ O ₃ Y EL FeO A PARTIR DEL ANALISIS MODAL Y CONOCIENDO EL PORCENTAJE DE FIERRO TOTAL.....	100
4. METODO PARA CALCULAR LOS PARAMETROS DENIGGLI.....	101
5. PLANO GEOLOGICO A ESCALA 1/25000.....	102

INDICE DE CUADROS E ILUSTRACIONES

CUADRO I.	PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS CONCORDANTES EN HUALGAYOC.....	22
CUADRO II.	PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS DISCORDANTES EN HUALGAYOC.....	23
CUADRO III.	DATAIONES RADIOMETRICAS.....	49
CUADRO IV.	GENERALIDADES PETROGRAFICAS DE LAS PRINCIPALES UNIDADES IGNEAS DE HUALGAYOC.	50
CUADRO V.	ANALISIS QUIMICO POR OXIDOS.....	59
CUADRO VI.	RESULTADOS DEL ANALISIS NORMATIVO.....	60
CUADRO VII.	INDICES DE CORRELACION ENTRE OXIDOS.....	77
CUADRO VIII.	HIPOTESIS SOBRE GENESIS DE LOS YACIMIENTOS ASOCIADOS AL MAGMATISMO.....	78
CUADRO IX.	RESULTADO DEL ANALISIS ESPECTROGRAFICO POR MULTIELEMENTOS.....	79
FIGURA I.	UBICACION DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC.....	7
FIGURA II.	PLANO FISIOGRAFICO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC.....	8
FIGURA III.	COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL.....	24
FIGURA IV.	PLANO GEOLOGICO SIMPLIFICADO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC.....	25
FIGURA V.	PLANO TECTONICO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC.....	26
FIGURA VI.	DISTRIBUCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE YACIMIENTOS EN EL DISTRITO DE HUALGAYOC..	27
FIGURA VII.	REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA GEOLOGIA HISTORICA DE LA REGION DE HUALGAYOC.....	28
FIGURA VIII.	DIAGRAMA AQP MOSTRANDO LAS COMPOSICIONES DE LA PRINCIPALES UNIDADES IGNEAS DE HUALGAYOC.....	51
FIGURA IX.	PLANO DE UBICACION DE MUESTRAS.....	61
FIGURA X.	COMPARACION ENTRE LAS COMPOSICIONES NORMATIVAS (A) Y MODALES (B) EN EL DIAGRAMA AQP.....	62
FIGURA XI.	DIAGRAMA AFM.....	80
FIGURA XII.	CLASIFICACION DEL MAGMA SEGUN DIAGRAMA (Na ₂ O + K ₂ O) vs SiO ₂	81
FIGURA XIII.	CLASIFICACION DEL MAGMA SEGUN DIAGRAMA (Na ₂ O+K ₂ O+CaO) vs Al ₂ O ₃ ..	82
FIGURA XIV.	CLASIFICACION DEL MAGMA SEGUN DIAGRAMA K ₂ O vs SiO ₂	83
FIGURA XV.	CLASIFICACION DEL MAGMA SEGUN DIAGRAMA alk/al.....	84
FIGURA XVI.	CLASIFICACION DEL MAGMA SEGUN DIAGRAMA fm/al.....	85
FIGURA XVII.	DIAGRAMAS AQP MOSTRANDO LA COMPOSICION DE LAS DIFERENTES UNIDADES IGNEAS Y: (A) LA TENDENCIA GENERAL DE LA DIFERENCIACION, (B) EL ORDEN CRONOLOGICO DE FORMACION Y (C) UNA SECUENCIA DE FORMACION GENERALIZADA.....	86
FIGURA XVIII.	DIAGRAMAS TRIANGULARES MOSTRANDO LAS RELACIONES ENTRE OXIDOS CON ALTA CORRELACION.....	87

FIGURA XIX.	VARIACION DE LOS PARAMETROS DE NIGGLI (<i>a</i> ₁ , <i>a</i> _k , <i>c</i> , <i>f</i> _m) vs <i>s</i> _i	88
FIGURA XX.	VARIACION DEL COCIENTE (Na ₂ O / K ₂ O) DURANTE LA DIFERENCIACION MAGMATICA.....	89
FOTOGRAFIAS.	VISTAS PANORAMICAS.....	52
FOTOGRAFIAS.	MUESTRAS DE MANO Y FOTOMICROGRAFIAS.....	53
FOTOMICROGRAFIAS.	54 y 55

RESUMEN.

En el Distrito Minero de Hualgayoc afloran unidades ígneas de diferente morfología, dimensión y naturaleza, propios del magmatismo Terciario superior. Los niveles de emplazamiento han sido hipoabisales subvolcánicos y también volcánicos extrusivos, los primeros con textura felsofídica y fenocristales de plagioclasas y cuarzo con bordes corroídos y los extrusivos con texturas porfirítica y fluidal. Las composiciones varían entre cuarzo-diorita y riocacita (clasificación según el diagrama AQPF), pudiéndose reconocer tres grupos composicionales: a) de naturaleza básica a intermedia; b) de naturaleza intermedia a ligeramente ácida; y c) de naturaleza ácida.

Las unidades intermedias a ligeramente ácidas (intrusivo Tanta Huatay, intrusivo Hualgayoc y sills del cañón del río Hualgayoc), se pueden relacionar con las soluciones portadoras de mineralización o han favorecido la removilización de cationes metálicos, dando origen a diferentes tipos de yacimientos que hacen de Hualgayoc un distrito minero complejo. Así por ejemplo, en el cerro Jesús encontramos una serie de vetas que han sido explotadas desde tiempos remotos dando a Hualgayoc fama de distrito argentífero; en el contacto noroeste del intrusivo Jesús también encontramos skarn; en la parte sur del intrusivo San Miguel encontramos las vetas de la mina

Bella Unión y en el borde del intrusivo Tanta Huatay, a parte de vetas, ocurren yacimientos de morfología irregular que se caracterizan por el ensamble pirita-cuarzo-enargita.

Las rocas ígneas, en general, se encuentran alteradas, mostrando en algunos casos alunitización y en otros argilitización y propilitización, especialmente cerca a zonas mineralizadas. En las partes altas del stock del cerro María y del intrusivo Tanta Huatay observamos casquetes silicificados de aspecto granular con limonitización intersticial.

El estudio geoquímico se basa en el análisis químico global por óxidos y en el análisis normativo. El estudio de las curvas de variación de los óxidos y de los parámetros de Niggli permiten confirmar el carácter calco-alcalino, con importantes contenidos relativos de alúmina y álcalis, del magma que originó las distintas unidades ígneas de Hualgayoc. La diferenciación magmática va acompañada de un enriquecimiento de potasio y de un decremento del contenido de calcio y magnesio.

1. GENERALIDADES.

1.1. Introducción.

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar la petrología y geoquímica de las principales unidades ígneas del Distrito Minero de Hualgayoc; para clasificar adecuadamente a las rocas, estudiar las relaciones que pudieran tener entre sí y definir la naturaleza del magma que les dió origen.

El autor visitó la zona de estudio en los meses de Enero y Febrero de 1987, como practicante de la Compañía Minera Carolina S.A. Posteriormente visitó la zona en dos oportunidades (Diciembre de 1987 y Mayo de 1988), con los demás integrantes de la Promoción 1987 de la Universidad Nacional de Ingeniería, para estudiar la geología regional del Distrito Minero de Hualgayoc, bajo la dirección del profesor Samuel Canchaya. Este estudio sirvió como base para la presente tesis y fué ,en muchos sentidos, una gran fuente de enseñanza.

El trabajo de campo consistió básicamente en una verificación, actualización y corrección de los levantamientos geológicos previos. Se estudiaron los rasgos estructurales y la morfología de los afloramientos y se tomaron muestras de las rocas ígneas y de otros tipos de rocas que de alguna manera podrían estar relacionadas a procesos magmáticos.

Posteriormente, en los ambientes del Laboratorio de Mineralogía y Microscopía de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de Universidad Nacional de Ingeniería, se realizaron los correspondientes análisis macroscópicos y microscópicos de las muestras recolectadas. Algunos de los análisis se realizaron en los laboratorios del INGEMMET, como por ejemplo las pruebas de tinción por feldespatos (como un complemento del estudio microscópico), así mismo, en los laboratorios del INGEMMET se realizaron parte de los análisis químicos por óxidos, base del estudio geoquímico del presente trabajo.

Con la información obtenida de estos estudios, con la obtenida de otros autores y con el apoyo y colaboración de muchas otras personas se pudo finalmente alcanzar los objetivos de esta tesis.

Deseo en estas líneas expresar mi mayor agradecimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería por todo lo que me ha brindado; al Profesor Samuel Canchaya por su invaluable asesoría; al Dr. Miguel Cardozo por las facilidades brindadas para la edición de este trabajo; y a mi esposa por el mecanografiado del texto y su infinito apoyo y estímulo.

1.2. Ubicación.

El Distrito Minero de Hualgayoc, políticamente se ubica en la Provincia del mismo nombre, Región Nororiental del Marañón (ver figura I). El pueblo de Hualgayoc, ubicado en

la parte sur del distrito, se encuentra a 3500 m.s.n.m. y tiene las coordenadas: 6°46'S y 78°37' W.

1.3. Accesibilidad.

Al Distrito Minero de Hualgayoc se puede llegar por la siguiente ruta: Lima-Pacasmayo-Cajamarca (a través de 857 Km. de carretera asfaltada, durando el viaje 17 horas aproximadamente) y luego de Cajamarca a Hualgayoc (a través de 90 Km. de carretera afirmada, durando el viaje entre 5 y 8 horas dependiendo del estado de la carretera).

1.4. Fisiografía y drenaje.

El distrito de Hualgayoc se ubica en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, cerca de la Divisoria Continental de aguas (ver fig. II).

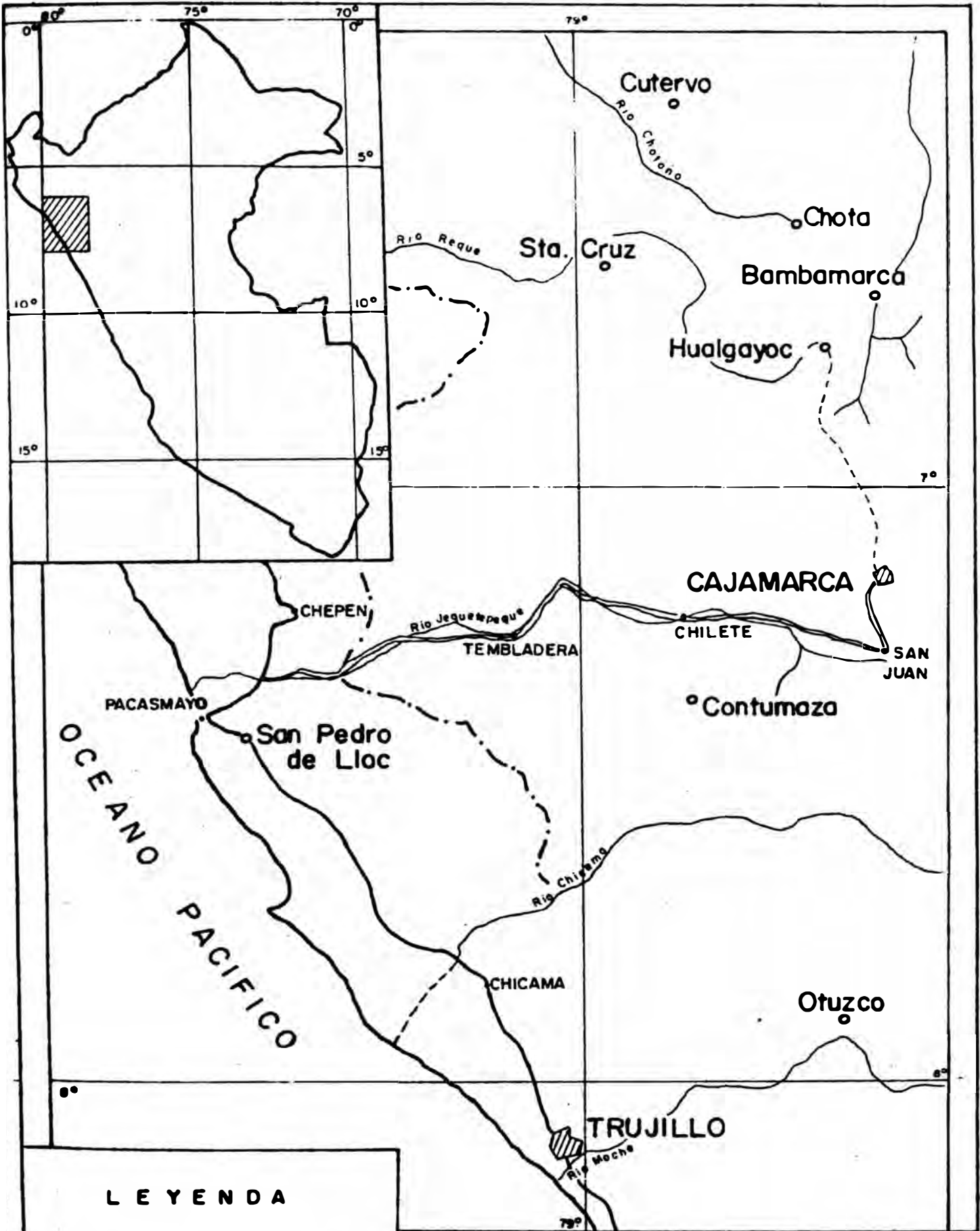
La topografía es abrupta en los afloramientos de rocas ígneas, y suave y ondulada en los de las formaciones calcáreas. Presenta en sus zonas altas relictos de la superficie Puna, rodeada de zonas de poca pendiente (etapa de erosión Chacra) donde se aprecian depósitos morrénicos, pequeñas lagunas y valles en "U". Las zonas más bajas (etapa Cañón) se caracterizan por la presencia de valles más agudos y encañonados, producto de la erosión fluvial más reciente. El drenaje de la zona se realiza principalmente por los ríos Hualgayoc y Pílancones, los

que discurren casi paralelamente hacia el noreste y desembocan en el río Marañón.

1.5. Clima.

El clima está marcado por dos estaciones:

- a) Estación de lluvias (de Diciembre a Abril), con intensas precipitaciones pluviales y ocasionales granizadas, sobre todo en las zonas altas. La temperatura máxima alcanza los 20°C.
- b) Estación seca (de Abril a Diciembre), sin lluvias y temperatura mínima alrededor de 5°C. Entre Junio y Julio la temperatura baja aún más y puede llegar a -5°C.



LEYENDA

- Carretera Panamericana
- ▬ Carretera asfaltada
- - - Carretera afirmada
- ◻ Capital de departamento
- · - · Limite departamental

FIGURA I

UBI CACION DEL DISTRI TOMI NERO DE HUALGAYOC

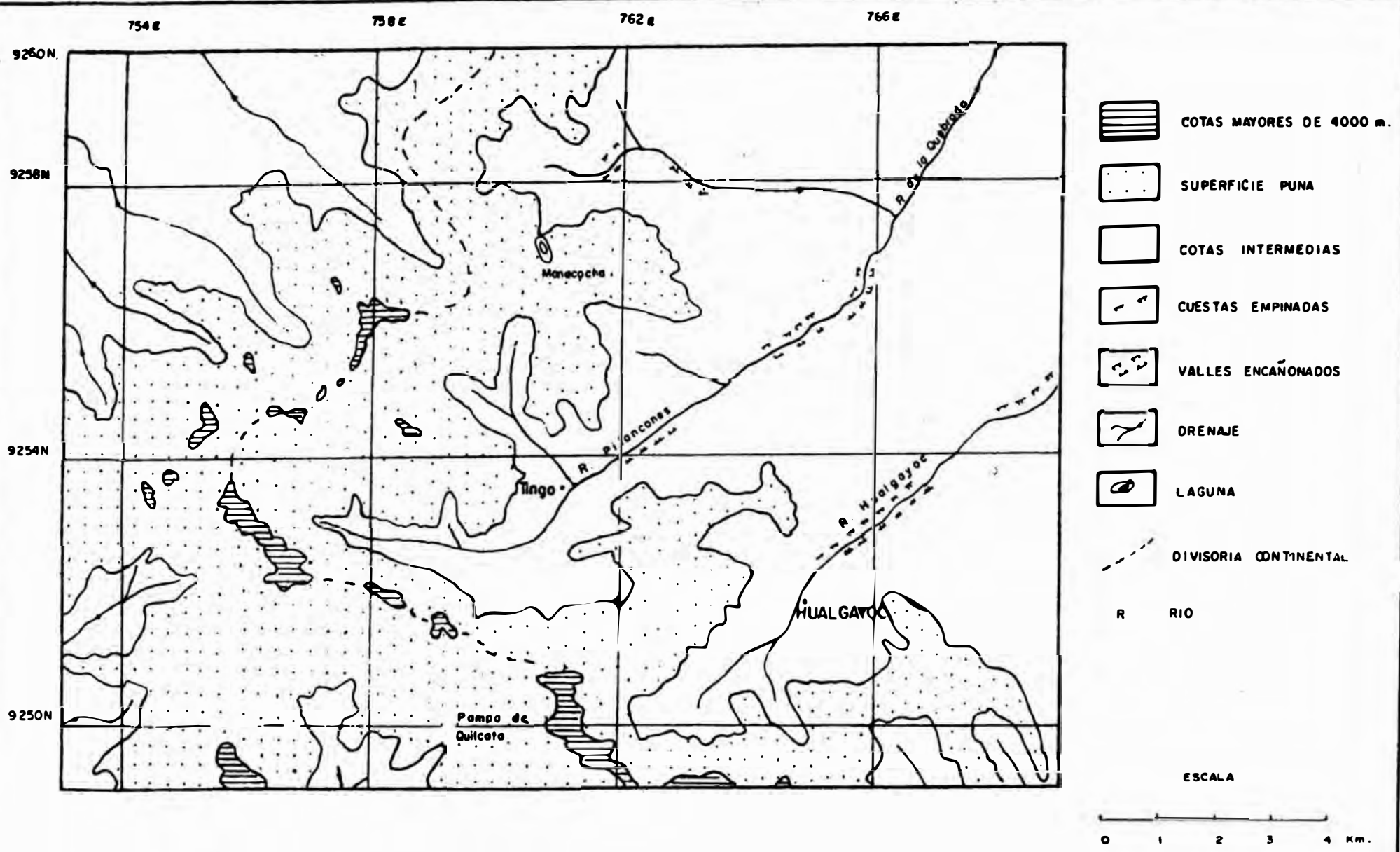


FIG. II PLANO FISIOGRAFICO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC

Tomado de CANCHAYA et al. (1990)

2. GEOLOGIA.

2.1. Introducción.

El Distrito Minero de Hualgayoc se encuentra en la zona norte de la Provincia Metalogenética Andina, cerca al límite de la zona miogeosinclinal con la zona eugeosinclinal, lo cual se refleja en la litología, en los cambios laterales mas o menos bruscos de potencia y facies de la serie sedimentaria y en las interestratificaciones de algunas delgadas capas volcánicas (CANCHAYA et al. 1990).

Su historia geológica se caracteriza por la superposición de diversos eventos geológicos (sedimentación, plegamientos, emplazamientos de intrusivos, intensa actividad volcánica, levantamiento general, etc.) que han dado origen así mismo a diversos tipos de yacimientos (estratoligados, vetas hidrotermales, de contacto, intracársticos y otros).

2.2. Estratigrafía.

La columna estratigráfica mostrada en la figura III resume las principales características estratigráficas del distrito.

A continuación tenemos la descripción de las formaciones que afloran en el área estudiada (basada en JANJOU 1981).

2.2.1. Formación Farrat (Aptiano).

Constituida por 200 m. de sedimentos clásticos. Su base consiste de cuarcitas masivas con texturas tipo "slumping" y fenómenos de tixotropía (CANCHAYA et al. 1990), gradando a bancos delgados de cuarcita con pelitas y areniscas parduscas. Al tope presenta cuarcitas claras en bancos métricos, con pelitas y pirita diseminada. No presenta fósiles ni mineralización.

Aflora en la zona del cañón del río Hualgayoc y en el flanco norte del anticlinal Los Negros.

2.2.2. Formación Inca (Albiano inferior).

Consta de 30 m. de alternancia rítmica entre areniscas marrón oscuro, en bancos de 0.5 a 1.5 m. de espesor, y lutitas negras con tono amarillento, en bancos de 0.5 a 2 m. de espesor. Los bancos superiores contienen cantos decimétricos de argilita oscura.

Regularmente hacia la base de los bancos arenáceos se encuentran acumulaciones de restos fósiles, siendo los Parahoplites nicholsoni y Knemiceras ollonense los que han servido para determinar su edad.

Esta formación aflora en la zona del cañón del río Hualgayoc.

2.2.3. Formación Chulec (Albiano inferior a medio).

Tiene cerca de 200 m. de espesor. Está constituida, de la base al tope, por 10 m. de argilita amarillo clara; 20 m. de calizas en bancos de 0.5 a 1 m., con interbancos de 10 a 30 cm. de argilitas fosilíferas; 20 m. de argilitas amarillo claro; 130 m. de una serie rítmica calcáreo-margosa; 15 m. de argilitas cada vez más ricas en materia orgánica (hacia el tope), las que marcan la transición a la formación Pariatambo.

Esta formación es rica en fósiles, destacando como fósil guía la *Knemiceras raimondii*.

Las rocas de la formación Chulec afloran en la zona del cañón del río Hualgayoc, en Pozos Ricos y en la zona del río Pílancones.

2.2.4. Formación Pariatambo (Albiano medio a superior).

Compuesta por 140 m. de calizas bituminosas distribuidas de la base al tope de la siguiente manera: 40 m. de calizas negras bituminosas en horizontes finos (centimétricos); 50 m. de calizas gris claras, en bancos gruesos (alrededor de 5 m.); 40 m. de calizas negras bituminosas en bancos de 20 a 30 cm. y finalmente 10 m. de calizas blancas.

Los principales fósiles existentes en esta formación son *Oxitropidóceras carbonarium*, *Mortoniceratinae*, *lamelibranquios* y *Turritellas*.

Aflora en Los Mantos (cerca a Molino Pampa), en Cañón (al noroeste del pueblo de Hualgayoc), en Pozos Ricos, Predilecta, Porcia, Mechero, Las Coloradas y en Pílancones.

2.2.5. Formación Yumagual (Albiano superior a Cenomaniano inferior).

Constituída por margas y calizas gris claras, con un espesor de alrededor de 300 m. en los que destacan, desde la parte media, 120 m. de calizas gris claro a marrón oscuro, con intercalaciones de margas de 20 a 50 cm. y gran contenido de fósiles de ostreas y pholadas, y en la parte superior 50 m. de calizas gris oscuro a marrón crema en bancos de 50 cm. y con gran contenido de *Ostrea scyphex*, algas y foraminíferos bentónicos. Las calizas presentan estructuras discoidales.

El fósil típico de esta formación es la *Ostrea scyphex*. En su parte superior también es de gran importancia la presencia de *Nummonoloculina heimi* (foraminífero bentónico), ya que indica el paso al Cenomaniano.

Aflora en la parte alta de Molino Pampa, en Porcia y en Mechero.

2.2.6. Formación Mujarrún (Cenomaniano).

Compuesta por 210 m. de una serie margo-calcárea. La parte inferior consta de 180 m. de calizas masivas, gris oscuras

a gris claras, en bancos de 1.5 a 2 m. que contienen *Exógiras ponderosa* y pequeños restos de equinoideos, lamelibranquios y gasterópodos. La parte superior consiste de 30 m. de margas.

Aflora al sur del cerro José.

2.2.7. Formación Romirón (Cenomaniano superior).

Consiste de 30 m. de calizas de color gris azulado claro, en bancos de 0.5 a 1 m., que alternan con margas nodulares gris claras. Estas rocas contienen lumaquelas de *Exógira squamata* y *Exógira olisiponensis*.

Aflora en la pampa de Quilcate en el extremo sur de la zona de estudio.

2.2.8. Volcánicos Calipuy (Terciario inferior).

Representan la intensa actividad volcánica del Terciario inferior. Se caracteriza por la presencia de sills, lacolitos hipoabisales y derrames de naturaleza variada (es principalmente andesítico pero puede variar hasta riolítico).

El distrito de Hualgayoc se encuentra al este de los extensos afloramientos de los volcánicos Calipuy.

2.2.9. Formación Huambos (Terciario superior).

Es la expresión de otro episodio volcánico importante; consiste de ignimbritas y derrames de naturaleza riolítica. En la zona de estudio afloran al norte del cerro Jesús y en el cerro Palo de Fierro y alrededores.

2.2.10. Depósitos Cuaternarios.

Algunos valles y laderas se encuentran cubiertas por morrenas pleistocénicas que consisten principalmente de fragmentos inconsolidados de rocas ígneas porfiríticas y calizas, que varían en tamaño desde pequeños guijarros hasta algunos metros de diámetro.

2.3. Rocas Igneas.

En el Distrito Minero de Hualgayoc existen cuerpos ígneos de facies hipoabisales y volcánicas, propios del magmatismo Terciario superior, aunque también existen delgadas capas de tufos interestratificadas con calizas albianas.

Los afloramientos presentan cierto alineamiento NW-SE y son de diferente morfología, dimensión y naturaleza (ver figura IV). Los cuerpos mas grandes son stocks que suelen tener desde 1 km² hasta mas de 20 km² de área (Jesús, José, Coymolache, San Miguel y Tanta Huatay); los mas pequeños son stocks y sills de hasta 2 km. de largo y 300

m. de espesor y diques de dimensiones decamétricas (stock del cerro María, sill Yanacancha, sill Jesús, dique El Dorado).

En general son de textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasas macladas y con frecuencia zonadas; en menor proporción cuarzo con bordes corroídos, anfíboles y biotita; la matriz es feldespato-cuárcica. También se reconocen diminutas inclusiones de óxidos de fierro y titanio primarios, epidota, circón y otros minerales en cantidades ínfimas.

La naturaleza de los cuerpos intrusivos varía de pórfido cuarzo diorita a pórfido cuarzo latita y pórfido dacita. Mayormente se encuentran alterados predominando una silicificación general y alunitización (especialmente al norte del distrito), argilitización y propilitización cerca a zonas mineralizadas (VIDAL & CABOS 1983).

En las partes altas del cerro María y del intrusivo Tanta Huatay se observan casquetes silicificados de aspecto granular con limonitización intersticial.

Las rocas volcánicas están representadas por ignimbritas y derrames de naturaleza riolítica, en la zona del cerro Palo de Fierro, y por un domo volcánico de igual naturaleza, al norte del cerro Jesús. Los volcánicos Calipuy sólo afloran en el borde occidental de la zona de estudio (ver figura IV).

2.4. Geología Estructural.

Como consecuencia de las sucesivas fases tectónicas ocurridas desde el Campaniano hasta el Terciario, toda la secuencia estratigráfica ya existente fué plegada y fallada.

En base a un estudio tectónico estadístico, CANCHAYA et al. (1990) diferencian dos sistemas estructurales a nivel regional y dos sistemas menores, en los que agrupa a las estructuras mas pequeñas (ver figura V).

Los sistemas a nivel regional son:

- a) Sistema de rumbo promedio N 50°W, según el cual se alinean los ejes del anticlinal Los Negros, del sinclinal Los Negros y la falla regional Apan Alto.
- b) Sistema de rumbo promedio N 25°W, al cual pertenecen la mayor parte de las fallas regionales que fundamentalmente ocurren en la zona sur del distrito.

Los sistemas que comprenden a las estructuras mas pequeñas son:

- a) Sistema Yanacancha, con rumbo N 70°- 80° E, que predomina en la parte sur del distrito; y al cual pertenecen principalmente las vetas Tres Mosqueteros, Centinela, Paccha, las vetas A y Z de la mina Bella Unión, y la mayor parte de la vetas del cerro Jesús.

b) Sistema Predilecta, con rumbo N 80°- 90° W, que predomina en la parte norte del distrito; y al cual pertenecen principalmente las vetas Proveedora, Polvorín (mina Colquirrumi), Los Negros y las vetas C, D, E y F de la mina Bella Unión.

2.5. Geología Económica.

En Hualgayoc existen yacimientos de diferentes tipos, a los que, por sus características geométricas, texturales y mineralógicas podemos agrupar en cinco tipos:

- a) Yacimientos estratoligados.
- b) Vetas polimetálicas.
- c) Cuerpos irregulares de py-cz-en.
- d) Yacimientos tipo skarn.
- e) Yacimientos intracársticos.

Los yacimientos estratoligados son muy importantes en el Distrito Minero de Hualgayoc por su amplia distribución y contenido metálico, explotándose principalmente por Au, Ag, Pb y Zn.

Los Mantos Lourdes, Lola, Arpón, La Argolla, Mercedes y Firenze son algunos ejemplos de este tipo de yacimiento. Se pueden reconocer hasta tres tipos de mantos, cuyas características se exponen en el cuadro I.

Las vetas polimetálicas, de probable filiación magmática están enclavadas en los intrusivos del Terciario superior y calizas albianas, y en la zona sur cortan también a los

sedimentos clásticos de la formación Farrat. La mayoría se ubican en la parte sur del intrusivo San Miguel, en el cerro Jesús y cortando a los sills del cañón del río Hualgayoc. Las vetas se encuentran rellenando fracturas y fallas de alto buzamiento, su mineralogía es compleja y de granulometría gruesa; la roca encajonante presenta una intensa alteración hidrotermal.

Los cuerpos irregulares de py-cz-en son generalmente brechosos, con roca encajonante bastante alterada y con relleno de minerales de grano grueso. Se encuentran en las zonas altas, al noreste de cerro Tanta Huatay en el contacto con calizas.

Los yacimientos metasomáticos de contacto tipo skarn ocurren al noroeste del cerro Jesús (mina Lambayeque) y al sureste del cerro María (mina Cañón). Consisten de granatitas bandeadas y también de roca ígnea bastante alterada (caolinización y sericitización) asociados a roca mineralizada color gris oscuro, compuesta principalmente de galena de grano fino, esfalerita y disseminaciones de masas de pirita y calcopirita.

Los yacimientos intracársticos están ampliamente distribuidos y se ubican principalmente en los bordes de la superficie Puna. Son ejemplos de este tipo de yacimiento, Mario, Cañón, Pozos Ricos, Arpón, Porcia, Predilecta y Firenze.

Las características generales de los yacimientos discordantes se resumen en el cuadro II.

La distribución de los diferentes tipos de yacimientos en la zona de estudio se muestra en la figura VI.

2.6. Geología Histórica.

A partir del Títoniano, en la cuenca peruana occidental del miogeosinclinal andino, se inicia un ciclo de sedimentación que continuó durante el Aptiano y Albiano hasta el Santoniano.

La geología histórica de Hualgayoc comienza en el Aptiano, con la acumulación de más de 200 m. de sedimentos clásticos (formación Farrat), que indican un medio sublitoral deltáico.

Durante el Albiano inferior (formación Inca), con el avance de la transgresión, la zona adquiere características marinas de poca profundidad y alta energía que se expresan en la aparición de niveles con restos fósiles en arenas y con aportes de material detrítico.

Las alternancias rítmicas indican el avance de la subsidencia durante el resto del Albiano; caracterizándose el Albiano medio (formación Chulec) por sus condiciones marinas marcadas y con facies de alta energía (medio de plataforma marina) y el Albiano medio a superior (formación Pariatambo) por sus facies euxínicas y la presencia de foraminíferos planctónicos que indican mar abierto (JANJOU 1981).

Del Albiano superior al Cenomaniano (formación Yumagual) hay un retorno a ambiente deltáico o marino muy poco

profundo y de alta energía, que se manifiesta por la presencia de material terrígeno, estratificación cruzada, foraminíferos bentónicos y ausencia de plancton (JANJOU 1981).

A nivel regional, las facies de las formaciones que no afloran en la zona de estudio indican reactivación de la subsidencia hasta el Santoniano.

Del Campaniano al Eoceno u Oligoceno, las facies sedimentarias y volcánicas de la formación Chota y sus límites discordantes indican una intensa actividad tectónica, acompañada de vulcanismo, y el fin de la sedimentación marina. Esto corresponde a los primeros ciclos del tectonismo, que dieron origen a estructuras regionales (anticlinal y sinclinal Los Negros y fallas regionales de la zona sur).

A partir del Terciario superior debemos destacar la ocurrencia de cuatro aspectos fundamentales, como consecuencia del último ciclo del tectonismo andino, estos son: el emplazamiento de intrusivos, la formación de los sistemas tectónicos Yanacancha y Predilecta, la intensa actividad volcánica y el levantamiento epirogenético.

Los cuerpos ígneos de naturaleza intermedia a ligeramente ácida que cortan a la secuencia sedimentaria son de gran importancia en la mineralización del distrito, por la relación que guardan con las vetas, con los cuerpos de py-cz-en y con los yacimientos tipo skarn.

Los sistemas de fracturas y fallas Yanacancha y Predilecta también son de gran importancia en la mineralización del

distrito, ya que al haber afectado a los intrusivos pudieron haber servido como vía para el paso de las soluciones hidrotermales de filiación magmática.

La actividad volcánica del Terciario superior está representada por las ignimbritas y los derrames volcánicos de la formación Huambos.

El levantamiento del prisma andino provocó fuerte erosión vertical con la consecuente formación de las zonas Chacra y Cañón; el paisaje alcanza así su fisiografía actual. Este levantamiento también favoreció la formación y desarrollo de yacimientos intracársticos en Hualgayoc (CANCHAYA et al. 1990).

Finalmente, los depósitos morrénicos y los valles en "U" son evidencias de las condiciones glaciares que predominaron durante el Pleistoceno.

En la figura VII se esquematiza la geología histórica de Hualgayoc.

TIPO	ROCA ENCAJONANTE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	MINERALES		EJEMPLOS
			PRINC.	ACCES.	
MANTOS DE ef - gn.	Calizas, margas y lodolitas	<ul style="list-style-type: none"> - Menas en forma de cuerpos masivos, lentes, acumulaciones, venillas cortas y diseminadas. - Materia orgánica y chert como lentes, concreciones y venillas. - Generalmente minerales de grano fino. - Alteración de la roca encajonante muy débil o ausente. - Presencia de texturas sedimentarias tanto en menas como en la roca de caja - Mineralogía simple. 	ef gn CBs cz(+chert) py	ser ARCs apy mc hm po cp(rara)	La Argolla. Manto B-W (Bella Unión) Firenze.
MANTOS DE cz - py.	Calizas y margas con intercalaciones de tufos, pelitas y psamitas.	<ul style="list-style-type: none"> - Horizontes con mineral frecuentemente asociados a capas de tufos. - Roca de caja con alteración hidrotermal muy débil o ausente. - Menas masivas, en parte finamente estratificadas. - Texturas sedimentarias obliteradas por las menas masivas. - Mineralogía simple. 	cz py	cp ef gn CGRs cac en kao	Manto 10-W (Bella Unión) Mercedes. Morococha. Manto 1 (Mansita).
MANTOS COMPLEJOS.	Psamitas, pelitas y margas con tufos interestratificados.	<ul style="list-style-type: none"> - Mineralogía compleja. - Menas en forma de cuerpos masivos, lentes, venillas, acumulaciones, diseminaciones y concreciones nodulares. - Presencia de texturas sedimentarias que comprometen tanto a las menas como a la roca de caja. - Signos de removilización y metamorfismo. - Superposición de otros eventos de mineralización: cárstico, hidrotermal. 	Alternativamente: py cz(+chert) CBs otros SULs CLOs o ser	kao cp ef po apy SFSs Cu SFSs Ag SFSs Pb hm mt mc bar	Manto Lourdes Manto Fátima. Manto Lola. Manto Arpón.

22

CUADRO I. PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS CONCORDANTES EN HUALGAYOC.

Tomado de CANCHAYA et al.(1990).

TIPO	ROCA ENCAJONANTE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	MINERALES		EJEMPLOS
			PRINC.	ACCES.	
VETAS Cu-Pb-Zn-Ag.	Rocas intrusivas terciarias. Sedimentos cretácicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Mineralogía compleja. - Minerales de grano medio a grueso. - Fuerte alteración hidrotermal de la roca encajonante. - Relativa abundancia de minerales de cobre. - Texturas de reemplazamiento. 	cp py gn ef cz bar cac, CGRs.	SFSs Ag SFSs Pb SFSs Cu As y Sb CBs, cv LIMs SFTs Cu-Fe	San Agustín. Murciélago. Proveedora. "A" y "Z" (Bella Unión). Sistema de vetas del cerro Jesús.
CUERPOS IRREGULARES Fe-Cu-As-Ag.	Calizas cretácicas. Intrusivos terciarios. Intrusivo Tanta Huatay	<ul style="list-style-type: none"> - Ocurren solo en zonas topográficas altas. - Fuerte alteración hidrotermal de la roca encajonante. - Minerales de granulometría gruesa. - Ubicados en zonas de contacto entre calizas e intrusivos. 	py cz en	cp CGRs al ARCs ser	Tres Amigos. Tres Mosqueteros. Cleopatra. Volare.
SKARN.	Roca ígnea y calcarea alterada.	<ul style="list-style-type: none"> - Roca de caja bastante alterada. - Mineralogía simple. - Minerales de granulometría fina. - Cierta bandeamiento. 	cp ef py	GRNs PGLs CBs ser	Lambayeque.
CUERPOS INTRACARSTICOS Pb-Zn-(Ag).	Calizas y margas cretácicas	<ul style="list-style-type: none"> - Cuerpos tabulares e irregulares. - Mineralogía simple. - No se observa alteración de la roca encajonante. - Principales texturas: botroidal, bandeada, masiva, dendrítica, terrosa, gráfica, brechosa, relleno intersticial e intergranular. 	ef gn CBs py mc	chert bar LIMs ARCs OXs Mn	Cañón. Mario. Porcia. Pozos Ricos.

CUADRO II. PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS DISCORDANTES EN HUALGAYOC.
 Basado en CANCHAYA et al. (1990).

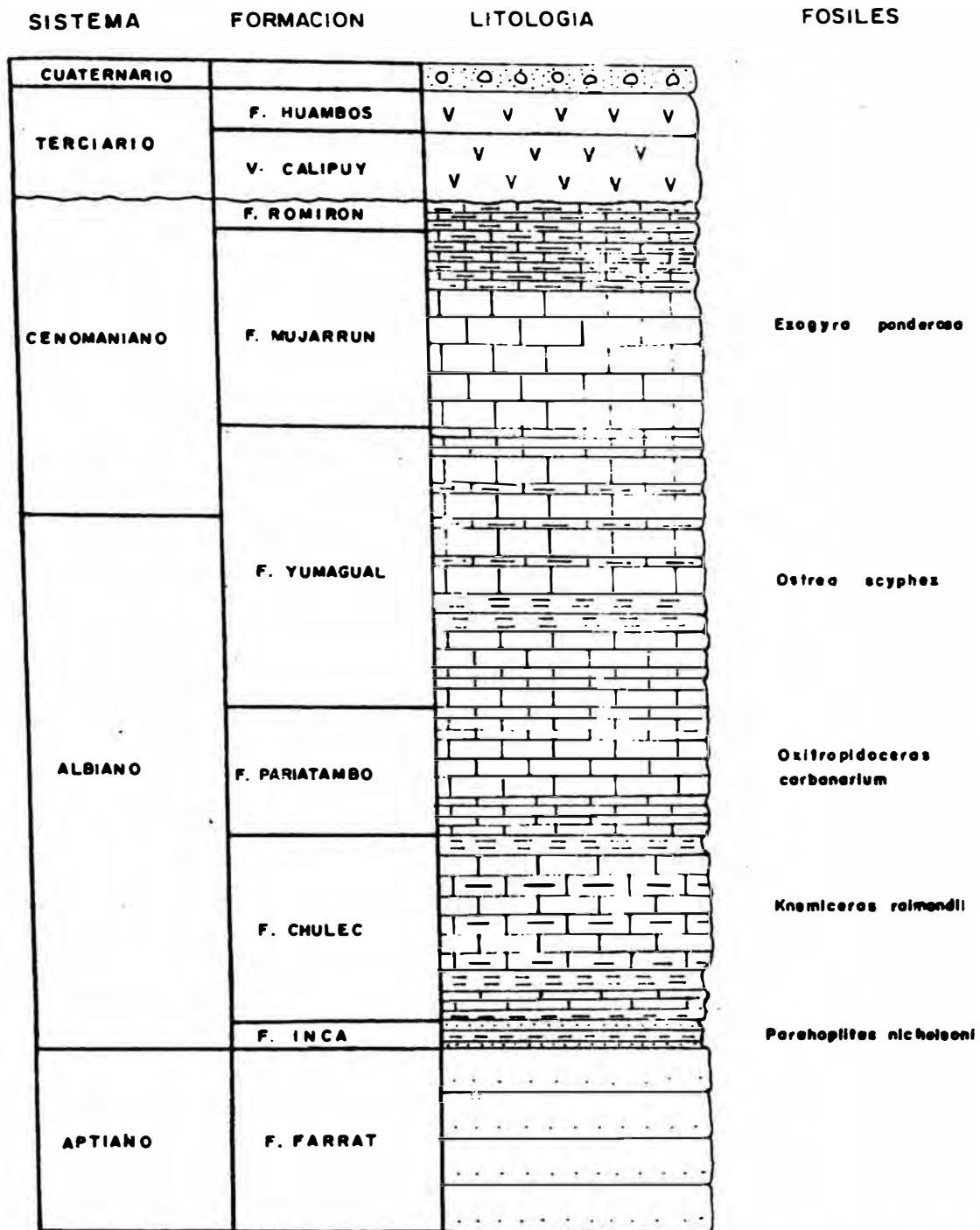


FIG. III

COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL



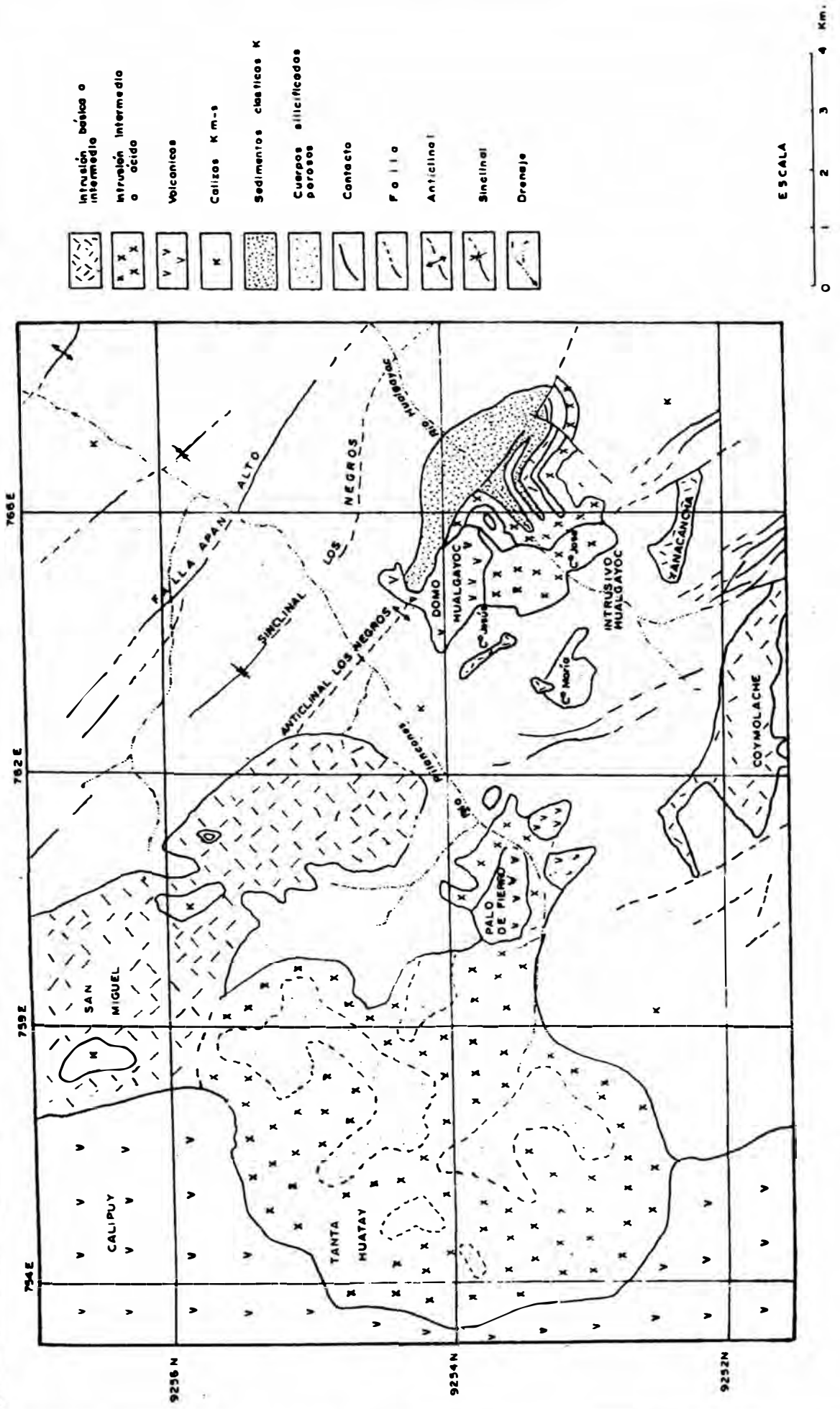
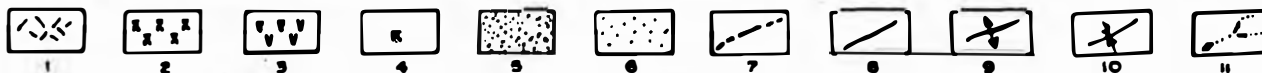
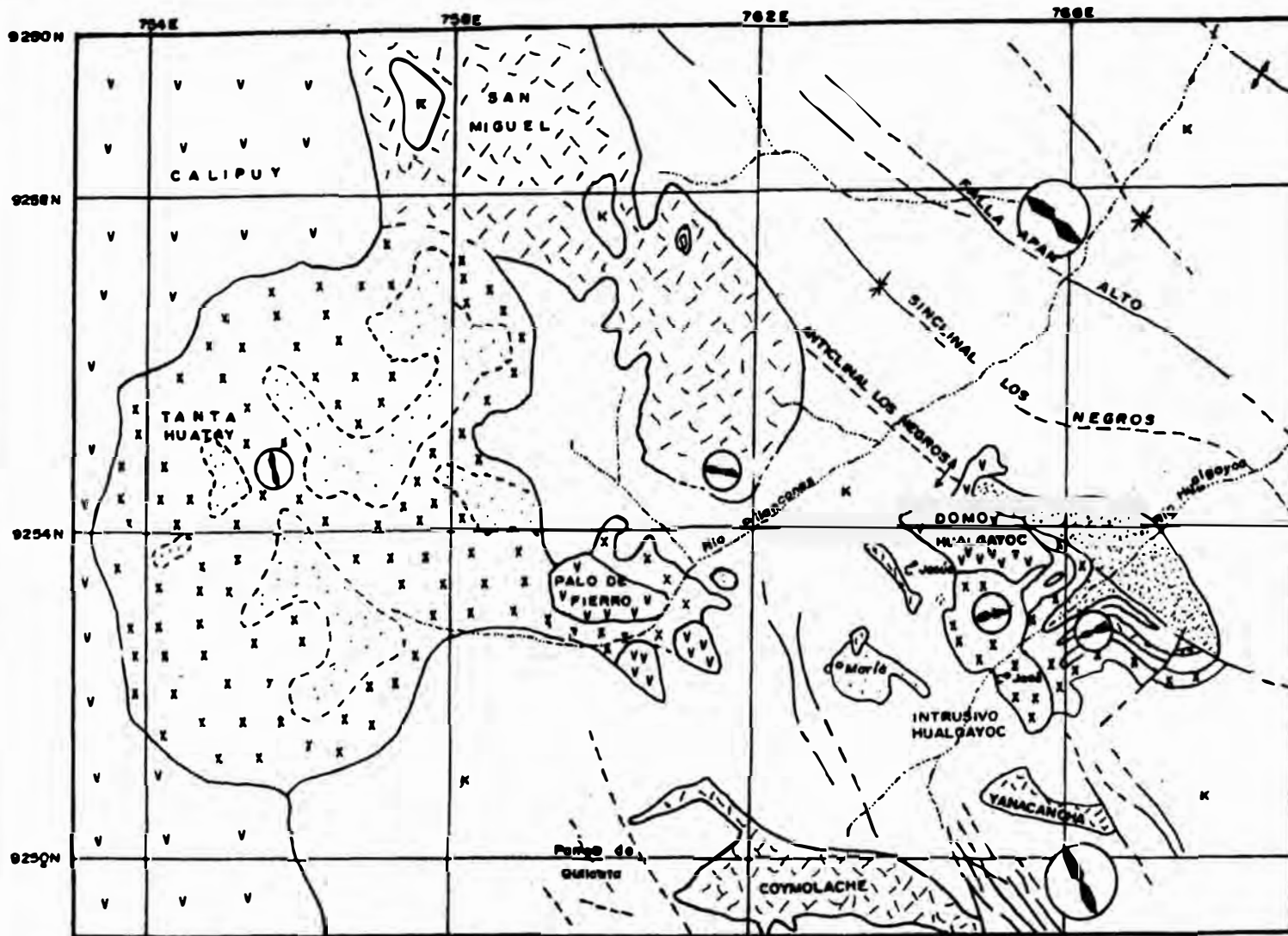


FIG. IV. PLANO GEOLOGICO SIMPLIFICADO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC



1. Intrusión básica o intermedia 2. Intrusión intermedia o ácida 3. Volcánicas 4. Celizas Km.-s
 5. Sedimentos eólicos K 6. Cuerpos silíceos porosos 7. Contactos 8. Folla 9. Anticlinal 10. Sinclinal 11. Oranaje

FIG. V PLANO TECTONICO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC

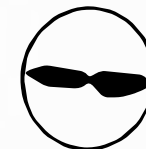
Tomado de CANCHAYA et al. (1990)



SISTEMAS REGIONALES

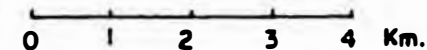


SISTEMA YANACANCHA
(vetas zona Sur)



SISTEMA PREDILECTA
(vetas zona Norte)

ESCALA



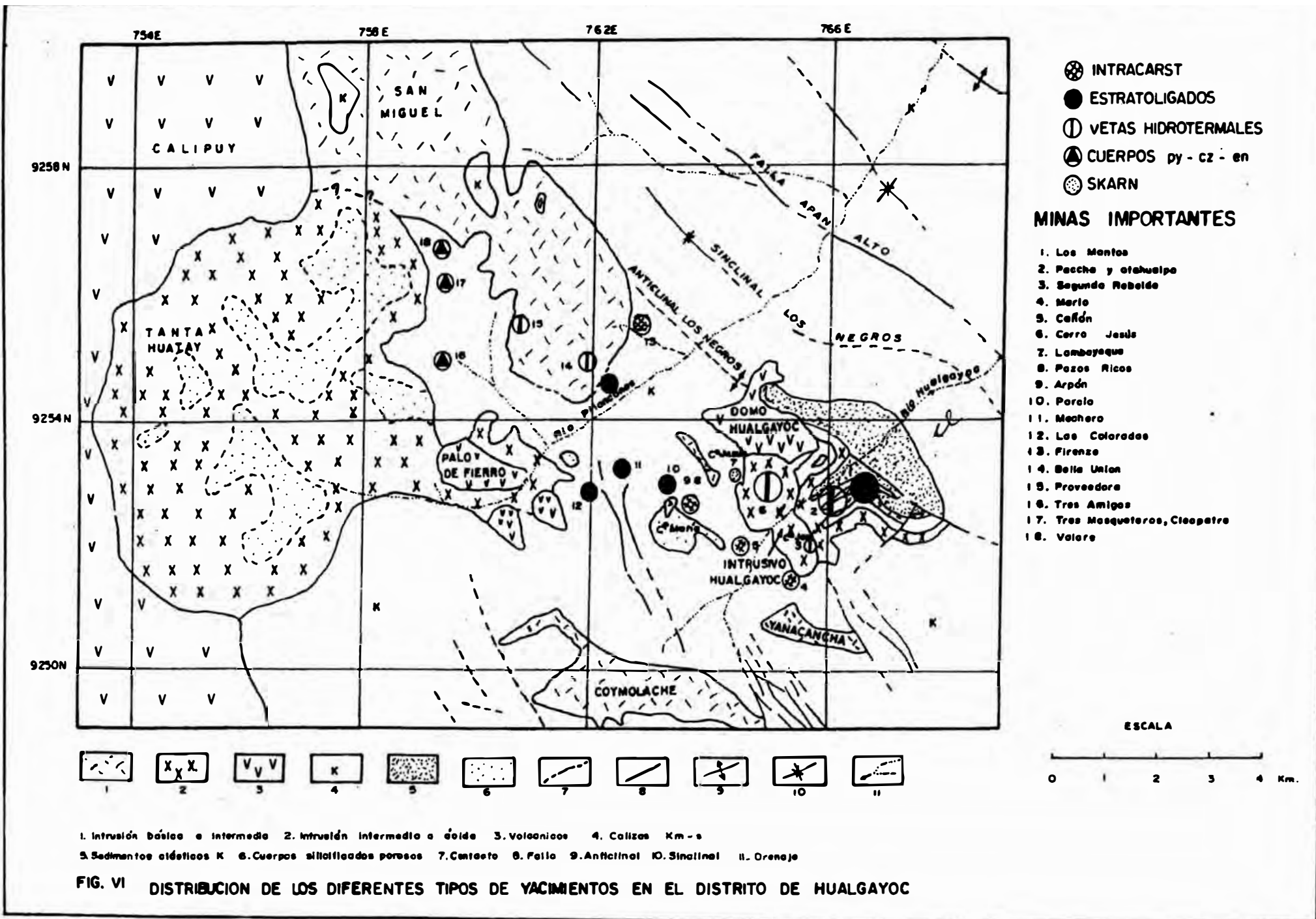


FIG. VI DISTRIBUCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE YACIMIENTOS EN EL DISTRITO DE HUALGAYOC

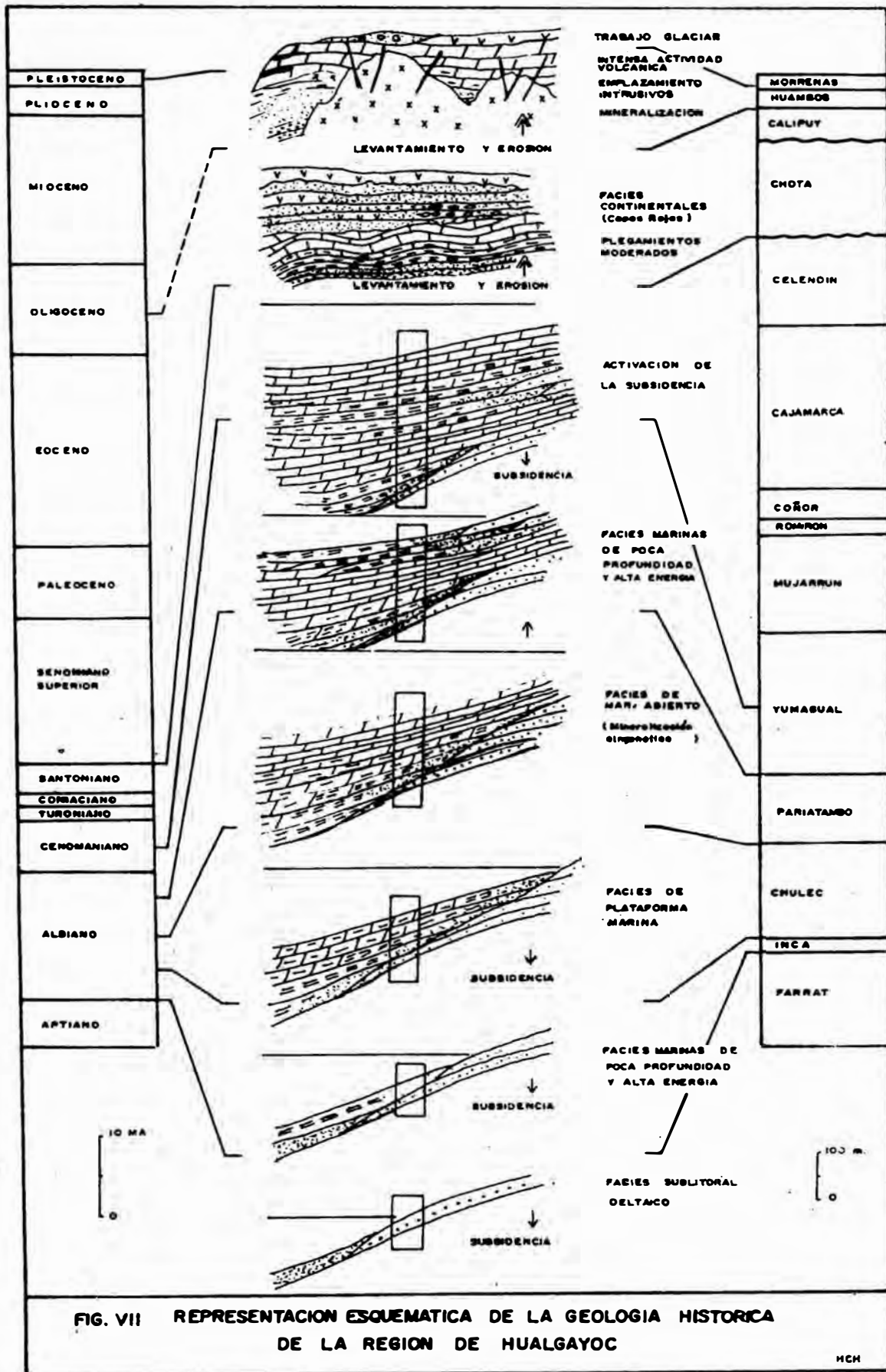


FIG. VII REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA GEOLOGIA HISTORICA DE LA REGION DE HUALGAYOC

HCH

3. DESCRIPCION Y DATACIONES RADIOMETRICAS DE LAS ROCAS IGNEAS.

3.1. Descripción de las principales unidades ígneas.

Las siguientes descripciones fueron, en gran parte, tomadas de CANCHAYA et al. 1990, trabajo en el que el autor de la presente tesis participó como coautor.

Para cada unidad ígnea, en primer lugar se describe la morfología del afloramiento; luego se sintetiza la información precedente (ERICKSEN et al. 1956, CANCHAYA 1980, JANJOU 1981, BORREDON 1982) y finalmente se explican los resultados de los estudios petrográficos realizados por el autor. Las rocas están clasificadas según el diagrama AQP, que es la clasificación recomendada por la I.U.G.S. (Montreal 1972).

El cuadro IV sintetiza las características petrográficas de las principales unidades ígneas y en el diagrama AQP (figura VIII) se representan sus composiciones.

3.1.1. Intrusivo Tanta Huatay.

El intrusivo Tanta Huatay está ubicado a unos 6.5 Km. de distancia al WNW del pueblo de Hualgayoc. Comprende el cerro Ciénaga, parte del cerro Mirador, los cerros Tanta Huatay, Tingo, Las Quihuillas y otros.

Su afloramiento tiene forma circular con unos 5 Km. de diámetro en promedio. Es el de mayor extensión en el

distrito.

La topografía de la zona donde aflora es suave y ondulada y se encuentra entre los 3800 y 4000 m.s.n.m. Dicha topografía esta cortada, tanto al norte como al sur, por quebradas con ejes de rumbo general NW, y presentan en sus cotas intermedias, superficies pantanosas y hacia abajo depósitos cuaternarios.

La quebrada Quihuillas, la más grande de todas, tiene dirección general NE y corta al intrusivo en su extremo suroeste.

El intrusivo Tanta Huatay presenta en sus zonas altas casquetes de cuarzo poroso granular limonitizados (ver foto N°6). En estas zonas altas (parte central y cerros Quihuillas y Tanta Huatay) se observan también una serie de fracturas verticales, o de buzamiento alto. El estudio estadístico de dichas fracturas nos indica que el sistema N 25°W (sistema andino) es el predominante.

El intrusivo Tanta Huatay ha cortado en su lado este y sur a las calizas del Cretáceo superior y en su lado oeste y norte a los volcánicos Calipuy. En su contacto oriental con las calizas del Cretáceo superior, al borde occidental del intrusivo San Miguel, se localizan las minas María Eugenia, Volare, Cleopatra y Tres Mosqueteros; la mayor parte de ellas consisten de cuerpos irregulares de cuarzo, pirita y enargita.

Según ERICKSEN et al. (1956) el intrusivo Tanta Huatay es de composición cuarzo diorítica, con An 32 a 50%. VIDAL (1982), en una muestra del suroeste del cerro Tanta Huatay

reconoce el ensamble mineralógico cz-al reemplazado por el ensamble cz-kao-prf-py.

Según estudios microscópicos y de tinción por feldespatos, el intrusivo Tanta Huatay es de composición cuarzo latíandesita porfirítica a cuarzo latita porfirítica con fenocristales de plagioclasas, cuarzo, anfíboles y escasos feldespatos potásicos.

Los fenocristales de plagioclasas (andesina) se encuentran maclados, zonados y ligeramente carbonatados y albitizados; algunos presentan pequeñas inclusiones de minerales opacos. Los fenocristales de cuarzo se presentan en muy poca cantidad y siempre con bordes corroídos. Los anfíboles son relativamente abundantes (hornblenda alrededor del 9%); algunos se presentan bastante alterados y otros con inclusiones de apatito (ver foto N°12).

La matriz está compuesta por tablillas de plagioclasas, microcristales de feldespatos potásicos, granos anhedrales de cuarzo, disseminaciones de minerales opacos y carbonatos intergranulares, los que también alteran a las plagioclasas.

En una muestra recogida en la falda sur del cerro Lomo de Corvina, cercano a los casquetes de cuarzo poroso, se observa un alto contenido de cuarzo (hasta 7.2% de los fenocristales y 57% de la matriz) lo que nos lleva a clasificar a esta muestra como pórfido riódacita (ver fotos N°14 y 15. Ver figura VIII).

3.1.2. Intrusivo San Miguel.

El intrusivo San Miguel aflora hacia el NW del río Pílancones a unos 4 Km. del pueblo Hualgayoc. Su forma es rectangular con orientación andina, de 2.5 Km. de ancho por mas de 7 Km. de largo. Comprende los cerros Chinchado, San Miguel y Pílancones. Su topografía es suave y ondulada variando entre los 3600 y 3900 m.s.n.m. La topografía suave ha permitido la acumulación de depósitos cuaternarios de gran extensión, sobre los cuales se han formado zonas pantanosas.

El intrusivo se encuentra cortando en su extremo noroeste a los volcánicos Calipuy. En el resto de sus contactos corta a las calizas del Cretáceo medio a superior. En sus partes centrales el intrusivo presenta "roof pendants" de caliza. Cerca a los contactos del intrusivo con las calizas se localizan las minas Las Coloradas (en la zona del cerro Chinchado) y Congas (en la zona del cerro San Miguel). Otras minas espacialmente relacionadas con este intrusivo son: La Proveedora (en la zona alta de la quebrada La Eme) y Bella Unión (en la zona del río Pílancones), en las cuales ocurren vetas de rumbo general WNW con buzamiento alto y hasta vertical (sistema Predilecta).

La composición del intrusivo San Miguel, según ERICKSEN et al. (1956), es pórfido cuarzo diorítica con fenocristales de plagioclasas zonadas, con An de 32 a 50%; en menor proporción (2 al 10%) ocurren fenocristales de cuarzo

corroídos; en cantidades menores se observan ortosa, biotita, hornblenda y disseminaciones de pirita. La matriz está compuesta por cuarzo granular y sericita.

Según CANCHAYA (1980) las rocas del intrusivo San Miguel son de textura porfirítica, muchas veces seriada, con abundantes fenocristales subidiomórficos a idiomórficos de plagioclasas macladas y zonadas y en menor proporción hornblenda subidiomórfica a idiomórfica; los fenocristales de cuarzo son muy escasos. La matriz está compuesta por abundante plagioclasa y en menor proporción feldespatos potásicos y cuarzo. También se observan grumos de cuarzo y calcita secundaria. Las rocas se muestran alteradas (argilitización, sericitización y piritización). CANCHAYA (1980) clasifica a este intrusivo como pórfido diorítico pudiendo gradar a monzodiorita y diorita cuarcífera (ver figura VIII).

En las muestras estudiadas se observa textura porfirítica con grandes fenocristales de plagioclasas (andesina) maclados y zonados y en menor proporción ferromagnesianos alterados y pequeños fenocristales de cuarzo con bordes corroídos. Los feldespatos se presentan con diferentes grados de alteración (carbonatación y albitización). La matriz está compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasas y feldespatos potásicos observándose también disseminaciones de minerales opacos y grumos de carbonatos intersticiales (ver foto N°13). La roca ha sido clasificada como cuarzo latiandesita porfirítica a dacita porfirítica (ver figura VIII).

3.1.3. Intrusivo Hualgayoc.

Este intrusivo aflora al norte y sureste del pueblo de Hualgayoc y comprende los cerros Jesús y José.

En el cerro Jesús tiene forma circular con unos 1000 metros de diámetro. Su topografía es abrupta y sus cotas varían entre los 3450 y 3921 m.s.n.m. (ver foto N°2).

En el cerro José presenta una topografía similar, con cotas varían que entre los 3450 y 3850 m.s.n.m. (ver foto N°1).

El intrusivo Hualgayoc se encuentra emplazado en calizas del Cretáceo medio a superior y en las areniscas Goyllarisquizga. Hacia el lado oeste los contactos se encuentran cubiertos por dos grandes depósitos cuaternarios: quebrada Mesa de Plata y quebrada La Pastora. Hacia el lado este se extienden los sills del cañón del río Hualgayoc, entre calizas y areniscas.

Estructuralmente este cuerpo es muy complejo; se encuentra fuertemente fallado, cizallado y fracturado. Presenta un sistema de vetas con rumbo general EW a N 70°E (sistema Yanacancha)

Las rocas de este intrusivo se encuentran fuertemente alteradas (sericitización, caolinización, silicificación y disseminaciones finas de pirita).

Según VIDAL (1982) y VIDAL & CABOS (1983), las rocas encajonantes de las vetas hidrotermales del cerro Jesús se caracterizan por los ensambles mineralógicos cz-kaol-prf-py

y cz-kao-py con alunita hipógena reemplazada por kao (así mismo la caolinita ha reemplazado también a los feldespatos) y como minerales accesorios están presentes: py, ANFs, bt, efn, sericita y zoisita.

La textura es porfirítica, siendo en algunos casos la matriz mas abundante que los fenocristales; mientras que en otros están en igual proporción; por tal motivo la clasificación varía de dacita porfirítica a pórfido dacítica (VIDAL 1982) (ver figura VIII).

ERICKSEN et al. (1956) consideran que las soluciones hidrotermales han alterado a los ferromagnesianos, los feldespatos han sido alterados a sericita o arcillas y la matriz ha sido silicificada y sericitizada o caolinizada. La roca consiste de 90% de sericita, arcillas y cuarzo secundario y 10% de fenocristales de cuarzo (muchos de ellos con los bordes corroídos). Los moldes de feldespatos han sido preservados y rellenados con una masa felposa de cristales de sericita. En muestras relativamente frescas del cerro Jesús se observan fenocristales de ortoclasa, oligoclasa, cuarzo y biotita en una masa microcristalina, y en una muestra relativamente fresca de la mina Segunda Esperanza en el cerro José se observa que la andesina es casi el 80% de los feldespatos; en cantidades menores se encuentra la ortoclasa.

Basándose en el tipo de feldespatos de las rocas mas frescas y en la comparación con otras rocas intrusivas del distrito, ERICKSEN et al. (1956) estiman que el intrusivo del cerro Jesús es un pórfido granodiorítico llegando en

ciertos lugares a monzonita y en otros a latita de cuarzo. BORREDON (1982) describe a las rocas del cerro Jesús como de textura porfirítica con matriz microgranular silicificada y con abundante sericita, fenocristales de plagioclasas alteradas y de cuarzo con bordes corroídos; señala además la presencia de pirita subhedral diseminada en la matriz.

Según los estudios microscópicos realizados por el autor, el intrusivo del cerro Jesús es una dacita porfirítica fuertemente alterada (ver figura VIII), con fenocristales de feldespatos y anfíboles alterados a sericita y fenocristales de cuarzo con bordes corroídos, la matriz está formada principalmente por cuarzo y feldespatos (plagioclasas y feldespatos potásicos alterados a sericita) y presenta diseminaciones de pirita (ver foto N°16 y 17). El intrusivo del cerro José es de composición cuarzo latita porfirítica (ver figura VIII) y se muestra menos alterado; presenta fenocristales de plagioclasas y anfíboles y la matriz está constituida por plagioclasas, feldespatos potásicos (como manchas blanquecinas) y cuarzo.

3.1.4. Intrusivo Coymolache.

El intrusivo Coymolache aflora al suroeste del pueblo de Hualgayoc, a unos 2.5 Km. de distancia. Tiene forma alargada, con rumbo general EW y 4 Km. de largo por 750 m. de ancho en su parte central; hacia los extremos este y

oeste se angosta.

Comprende parte del cerro Coymolache y el flanco norte del cerro Pinguyo. La topografía es abrupta y varía entre los 3750 y mas de 4000 m.s.n.m.

Se encuentra emplazado en calizas del Cretáceo medio a superior y los contactos se encuentran cubiertos.

El contacto del lado sur es aproximadamente rectilíneo y concordante a la estratificación de las calizas. Los contactos de los lados este y oeste son discordantes y el contacto norte se encuentra completamente cubierto por depósitos cuaternarios.

Hacia el lado noroeste del intrusivo se extiende un brazo en forma de "L" de unos 160 m. de ancho y rumbo NW, el cual, a los 750 m., cambia a S 60°W y a partir de este punto el ancho va disminuyendo hasta desaparecer a los 1100 m. Los contactos sur del primer segmento y norte del segundo segmento de este brazo son concordantes con la estratificación (ver figura IV).

Al sur del intrusivo se extienden dos brazos de unos 400 m. de largo por 50 m. de ancho, los que cortan perpendicularmente a las calizas.

Según ERICKSEN et al. (1956) el intrusivo Coymolache es un pórfido cuarzo diorítico con An entre 45 y 60%. VIDAL (1982) lo clasifica como dacita porfirítica con propilitización incipiente (ver figura VIII). Los fenocristales de plagioclasas son de composición An 30 a 45%, algunos con una ligera albitización; también hay fenocristales de sanidina y apatito. Los minerales

principales son: plagioclasa, cuarzo y anfíbol, y los accesorios son sanidina, apatito y opacos (ver fotos N°22 y 23). La matriz está presente casi en igual proporción que los fenocristales.

VIDAL & CABOS (1983), en su estudio sobre alteraciones y menas hidrotermales en Hualgayoc, destacan el ensamble cac-ep-CLOs-py en el intrusivo Coymolache.

3.1.5. Sills.

3.1.5.1. Sills del cañón del río Hualgayoc.

Se encuentran emplazados tanto en horizontes clásticos del grupo Goyllarisquizga como en unidades calcáreas albianas. Estos sills son cuerpos fundamentalmente concordantes, sin embargo, en algunos casos se reconoce asimilación de la roca circundante, así como tramos discordantes.

En el flanco derecho del cañón del río Hualgayoc se aprecian cuatro sills, los que varían en potencia desde los 20 hasta los 70 m. Estos cuerpos se hallan emplazados en la secuencia sedimentaria de rumbo NE y se pueden seguir hasta por 2 Km.

El sill Aurelio se encuentra emplazado en la formación Farrat (BORREDON 1982); el sill Mercedes en la formación Inca, a 70 m. encima del sill Aurelio; los sills Centinela y California en la formación Chulec, el primero de ellos a 100 m. sobre el nivel de emplazamiento del sill Mercedes, y el sill California a 50 m. encima del sill

Centinela.

Los sills se presentan como digitaciones del cuerpo de cuarzo diorita existente al suroeste de la mina Los Mantos (ASTORGA, comunicación oral) y se hallan en contacto con el stock de Quebrada Honda en donde ocurre una importante silicificación (BORREDON 1982). Algunos sills también afloran en el flanco izquierdo del cañón; donde se observan sólo dos de ellos: Aurelio y Mercedes (minas Mansita y Los Negros).

A la altura del cerro José, los sills Centinela y California forman un solo cuerpo que se digita hacia el este con potencia de 70 m. y 25 m. respectivamente. El contacto superior del sill Centinela cerca al nivel Nueva California (mina Los Mantos) presenta remanentes de rocas calcáreas no digeridas, además de algunos silicatos complejos no determinados (ASTORGA, comunicación oral; ERICKSEN et al. 1956).

Según BORREDON (1982) la composición de los sills es similar a la del cuello del stock de Quebrada Honda.

En una muestra de la mina California (Los Mantos), ERICKSEN et al. (1956) reportan cristales de feldespatos potásicos y andesina zonada y alterada a epidota, conformando una textura porfirítica con matriz de grano fino de cuarzo y sericita secundaria, acompañados de calcita, epidota y serpentinas secundarias.

En una muestra del sill Mercedes se observa textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas, feldespatos potásicos fuertemente sericitizados y pequeños granos

anhedrales de cuarzo con bordes corroídos y ferromagnesianos alterados a cloritas, serpentina y minerales opacos. La matriz es feldespato-cuarzosa con predominancia de plagioclasas y abundantes sericita, cloritas y en algunos casos epidota y también pirita finamente disseminada. Se le clasifica como dacita porfirítica propilitizada (ver figura VIII y ver foto N°18).

Mientras que en los sills California y Centinela no se observan fenocristales de cuarzo, los feldespatos se encuentran mucho menos sericitizados y mas argilitizados y la epidotización es mas marcada; la matriz es rica en feldespatos potásicos, plagioclasas y en menor grado cuarzo, tal como lo demuestran los estudios microscópicos y la prueba de tinción por feldespatos. Estos sills han sido clasificados como cuarzo latita a dacita porfirítica (ver figura VIII y foto N°19).

3.1.5.2. Sill Yanacancha.

El sill Yanacancha aflora a 1100 m. al sur del pueblo de Hualgayoc. Tiene forma alargada con rumbo N 60°W, 1750 m. de largo por 330 m. de ancho en promedio.

Esta emplazado en las calizas de la formación Yumagual, los contactos laterales están bien definidos y son concordantes con la estratificación de las calizas.

Hacia el este el sill esta interrumpido por una falla inversa del sistema Andino (N 30°W), y hacia el oeste se



encuentra cubierto por un gran depósito cuaternario que, según ERICKSEN et al. (1956), podría estar cubriendo una posible conexión de este sill con el intrusivo del cerro José que aflora a sólo 400 m. al norte del sill. En el depósito cuaternario entre el sill Yanacancha y el intrusivo del cerro José, afloran algunos cuerpos de cuarzo poroso granular masivo limonitizado.

Las rocas de este sill son de color verde oscuro y muestran textura porfirítica con fenocristales de hornblenda y plagioclasas y en menor proporción biotita, minerales opacos, cuarzo y carbonatos.

La matriz constituye el 56% y está formada mayormente por pequeñas tablillas de plagioclasas; las cloritas y carbonatos se encuentran alterando a los minerales ferromagnesianos y a las plagioclasas. La composición de la roca es cuarzo andesita porfirítica (ver figura VIII).

3.1.5.3. Sill Jesús.

Aflora al noroeste del cerro Jesús y se encuentra emplazado en el techo de las calizas de la formación Chulec (BORREDON 1982), tiene rumbo N 20°W y buzamiento 25° SW; tiene 600 m. de largo y 120 m. de ancho. Presenta color gris verdoso y alteración argilítica y propilitica. Su mineralogía destaca por sus fenocristales de plagioclasas, anfíboles y cuarzo, y su matriz de plagioclasas. Como minerales secundarios se observan serpentina y epidota formadas a expensas de las

plagioclasas.

3.1.6. Cuerpos menores.

3.1.6.1. Stock del cerro María.

En el flanco norte del cerro María, ubicado al noroeste del pueblo de Hualgayoc, existe un pequeño afloramiento de roca ígnea de textura porfirítica con grandes fenocristales maclados y zonados de plagioclasas incipientemente albitizadas, fenocristales subhedrales y euhedrales de hornblenda y biotita con bordes corroídos; también existen pequeños granos de cuarzo y piroxenos y la matriz es microcristalina a criptocristalina. La roca es de composición cuarzo latíandesita porfirítica (ver figura VIII y fotos N°20 y 21).

Sobre este intrusivo, en la parte superior del cerro María, existe un afloramiento de roca porosa de cuarzo granular y limonitas de aproximadamente 800 m. de diámetro con un apófisis en forma de brazo de unos 500 m. de largo que se extiende al sureste paralelamente a la estratificación (ver foto N°7).

3.1.6.2. Dique El Dorado.

Ubicado en la parte sur y superior de la mina El Dorado. De rumbo NE-SW, corta la secuencia sedimentaria albiana, su potencia es de 18 a 50 m. Presenta una fuerte

alteración argilítica. En el campo resalta por su relieve prominente con respecto al paquete calcáreo. Podría ser digitación de los cuerpos de cuarzo diorita (ASTORGA, comunicación oral).

Bajo el microscopio se observa mayormente moldes de fenocristales de feldespatos subhedrales y minerales opacos. La matriz está conformada por plagioclasas y cuarzo, así como por minerales secundarios: sericita a expensas de los feldespatos, arcillas como producto de alteración de las plagioclasas y limonitas a partir de los minerales opacos. También se observa epidota alterándose a cloritas.

Se clasifica como pórfido cuarzo andesita.

3.1.6.3. Otros cuerpos menores.

A unos 200 m. al noreste de la bocamina del nivel Fátima (mina Bella Unión) aflora un cuerpo de roca intrusiva porfirítica conocido como stock Fátima. En apariencia, composición y textura es muy similar al intrusivo San Miguel, pudiendo ser un apófisis conectado a éste, lo cual no es posible establecer debido a la cubierta cuaternaria (CANCHAYA 1980).

En las labores subterráneas de la mina Bella Unión se observan pequeños diques poco potentes de composición mas ácida y apariencia diferente al intrusivo San Miguel. Aún cuando se presentan muy alterados y fracturados es posible reconocer su textura porfirítica y restos de algunos

fenocristales muy alterados (blancos) que al parecer fueron feldespatos (plagioclasas), además de biotita finamente disseminada (CANCHAYA 1980).

CANCHAYA (op. cit.) reporta un dique melanocrático pequeño y poco potente de color gris oscuro a negro y de composición andesítica que se encuentra cortando a las calizas que afloran al suroeste de la cancha del nivel Lourdes en la mina Bella Unión. Al microscopio se reconocen fenocristales de plagioclasas, biotita, hornblenda y apatito en matriz microcristalina a criptocristalina, algo seriada, fundamentalmente compuesta por plagioclasas.

En las labores subterráneas de la mina Arpón también se observan algunos pequeños diques fuertemente carbonatados y en menor grado sericita, cloritas y disseminaciones de minerales opacos. Sólo se reconoce a las plagioclasas como mineral primario, éstas se presentan en fenocristales, siempre como relictos en moldes tabulares, y como constituyente principal de la matriz.

3.1.7. Rocas Volcánicas.

3.1.7.1. Volcánicos Calipuy.

La secuencia volcánica Calipuy aflora al oeste del Distrito Minero de Hualgayoc. Es de gran extensión y esta constituida principalmente por rocas volcánicas, aunque hacia la base existen rocas sedimentarias de facies

lacustres con intercalaciones de tufos y coladas (BORREDON 1982).

HOLLISTER & SIRVAS (1979) estudiaron estos volcánicos en los alrededores de Quiruvilca y reportan en la base o cerca de ésta, aunque en forma rara, basaltos y derrames basalto-andesíticos. Mayormente se trata de tufos, brechas y coladas andesíticas. Escasos tufos dacíticos coronan la secuencia. Las andesitas son de textura traquítica a hialopilitica, con fenocristales distribuidos sin una orientación preferencial.

Los fenocristales mas comunes son los piroxenos y en menor porcentaje hornblenda y plagioclasa; la matriz está formada por piroxenos, biotita y ortosa.

3.1.7.2. Domo Hualgayoc.

A 2 Km. al norte del pueblo de Hualgayoc, aflora una franja de rocas volcánicas de la formación Huambos que tiene como característica mas saltante una estructura domática ubicada en el cerro Hualgayoc (3893 m.s.n.m.). Dicho domo destaca por su topografía abrupta que contrasta con la topografía relativamente suave y ondulada que caracteriza a la zona; en sus flancos presenta farallones subverticales con rumbos variables de NW a NE, que en conjunto, con el juego de disyunciones subverticales y concéntricas, indican el ascenso casi vertical del material volcánico. En la parte baja del flanco sur se puede observar coladas pseudoestratificadas de buzamiento

moderado a alto; aumentando éste conforme se acercan mas a la estructura domática (ver foto N°4).

El material es de color blanquecino con ligero tono violáceo, de matriz criptocrystalina y fenocristales de feldespatos potásicos argilitizados, plagioclasas, biotita y cuarzo hialino en granos anhedrales corroídos (ver foto N°24). Estudios de rayos X nos indican la presencia de sanidina, arcillas (argilitización) y cuarzo, con plagioclasas en menor proporción, lo que nos lleva a clasificar a la roca como riódacita (ver figura VIII).

Asociados espacialmente al domo y bordeando el flanco noreste del cerro Jesús, hasta el camino de acceso a la mina Mansita, existen coladas de lava de características petrográficas muy similares a las rocas del domo (leucocráticas con abundante biotita y cuarzo en matriz vitrofídica).

3.1.7.3. Volcánicos del cerro Palo de Fierro.

A unos 4.5 Km. al WNW del pueblo de Hualgayoc, en el cerro Palo de Fierro, encontramos volcánicos de la formación Huambos en coladas de 1.20 m. de potencia, pseudoestratificadas con rumbo N 5°E y buzamiento 37°SE. Se extienden en una superficie de 1 Km. de largo por 750 m. de ancho aproximadamente (ver foto N°5).

La roca es blanquecina con tono violáceo y presenta una matriz muy fina en la que ocurren principalmente fenocristales de feldespatos, biotita y cuarzo hialino. El

estudio de tinción nos indica que la matriz presenta un alto contenido de feldespatos potásicos, lo que nos lleva a clasificar a la roca como riódacita, siendo algunas zonas más silíceas que otras (ver figura VIII).

Al lado sur de la quebrada Las Águilas también existen volcánicos Huambos. En esta zona la pseudoestratificación de las coladas se observa en forma más continua. En la parte superior de dicha quebrada, los volcánicos se presentan con facies brechosas.

3.1.7.4. Otras ocurrencias menores.

En la mina Bella Unión, CANCHAYA (1980) reporta la ocurrencia de capas centimétricas de tufos interestratificados con las calizas del Cretáceo medio a superior. Estos tufos consisten de un material gris claro terroso, y se encuentran por lo general al techo o piso de mantos piritosos. Al microscopio se reconoce arreglos subradiales de feldespato en matriz de jarosita, acompañados de cuarzo subhedral y fenocristales de feldespatos potásicos. Estudios de rayos X señalaron la presencia de los siguientes minerales, en orden decreciente de abundancia: cuarzo, sericita, montmorillonita, pirita, esfalerita (CANCHAYA et al. 1990).

CANCHAYA (1980) también reporta la ocurrencia de capas tufáceas más resistentes, interestratificadas con las calizas que afloran en la falda este del cerro San Lorenzo

cerca al afloramiento de la veta "A", a las que describe de la siguiente manera: "roca porfirítica con fenocristales de plagioclasas macladas, biotita y hornblenda idiomórfica en una matriz microcristalina a criptocristalina, en la cual sólo se pueden reconocer pequeños cristalitas de plagioclasas con textura fluidal. Algunas muestras presentan vesículas rellenas de sílice coloidal y vidrio colofome además de epidota y calcita".

3.2. Dataciones Radiométricas.

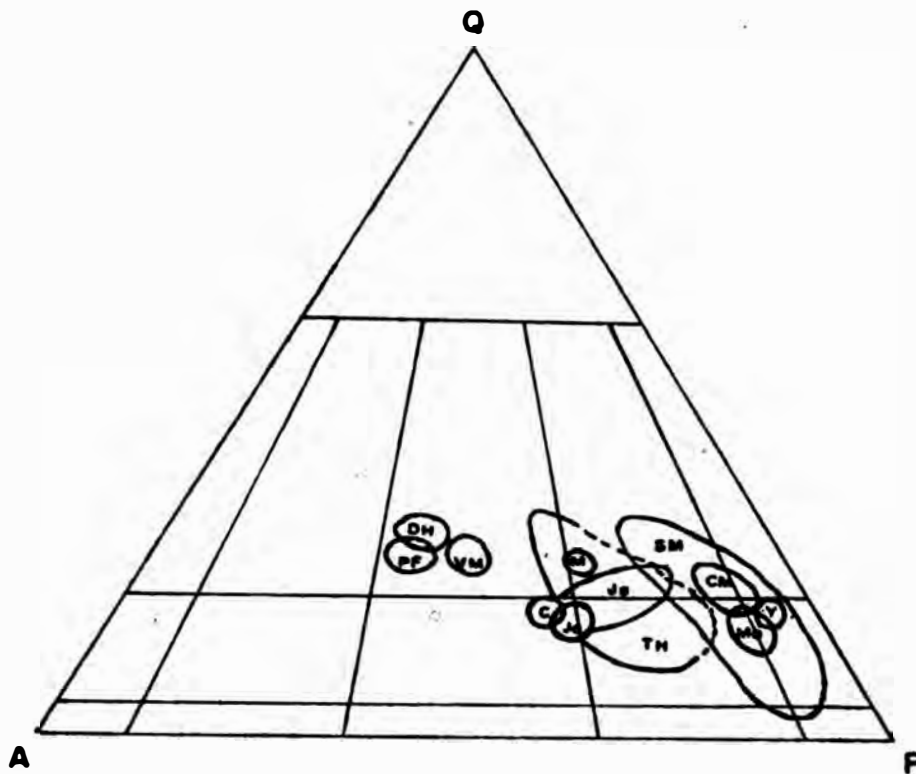
Las unidades ígneas que afloran en el distrito de Hualgayoc, son propias del magmatismo Terciario superior. En 1976 fueron datadas por el método radiométrico K/Ar sobre el total de la roca por M.H. Bellon (Université Paris) y publicado por BORREDON (1982). Mc Kee y Noble también hicieron dataciones, que fueron publicadas por MACFARLANE (1989). Los resultados se muestran en el cuadro III.

ROCA DATADA	EDAD (M.A.)
INTRUSIVO HUALGAYOC Muestra argilitizada y sericitizada del cerro Jesús.	14.3 ± 0.7 (BORREDON 1982)
INTRUSIVO TANTA HUATAY Muestra alunitizada del cerro Tanta Huatay. Datación de alunita.	12.4 ± 0.4 (MACFARLANE 1989)
INTRUSIVO COYMOLACHE Muestra del C° Coymolache.	11.8 ± 0.6 (BORREDON 1982)
SILLS DEL CAÑON DEL RIO HUALGAYOC.- Muestra sericitizada y argilitizada de la zona de Los Mantos.	10.5 ± 0.5 (BORREDON 1982)
DOMO HUALGAYOC Datación de biotita.	7.9 ± 0.3 (MACFARLANE 1989)
DOMO HUALGAYOC Datación del total de la roca.	7.2 ± 0.35 (BORREDON 1982)

CUADRO III. DATACIONES RADIOMETRICAS.

UNIDAD: IGNEA	MINERALOGIA			TEXTURAS	ALTERACIONES
	ESENC.	ACCS.	SEC.		
TH	PGLs FPKs cz	hn bt mt,hm,il PXs efn ap zr	cz ser cac ARCs OPs CLOs ep rt	Porfiritica Felsofidica	Silicificación (m) ser,ARCs /A/ FPKs (i) ser /A/ PGLs (i) CBs,ARCs /A/ PGLs (i) CLOs,cac,OPs,ep /A/ ANFs,bt (i)
SM	PGLs FPKs cz	ANFs bt dp mt,hm,il ap zr	cac OPs CLOs ser ARCs ab	Porfiritica Felsofidica	Silicificación (m) ser,ARCs /A/ FPKs,PGLs (m) cac /A/ FPKs (i) ab /A/ PGLs (d) cac,OPs,CLOs /A/ MAFICOS (m)
Je	PGLs cz FPKs	ANFs py hn mt rt ap lcx	ser cz py LIMs efn	Porfiritica	Sericitización (mf) Silicificación (f) diss. de pirita (m) efn /A/ MAFICOS (m) LIMs /A/ py (d)
Ma	PGLs cz FPKs	ANFs bt OPs PXs zr	CLOs ab ARCs	Porfiritica microcristalina criptocristalina	ab /A/ PGLs (d) OPs /A/ bt (m) CLOs /A/ ANFs (d) ARCs /A/ PGLs,FPKs (i)
Jo	PGLs FPKs cz	ANFs bt OPs efn zr	ARCs cac ab CLOs ep	Porfiritica Felsofidica	ARCs /A/ FPKs (f) CLOs /A/ bt (d) ARCs,cac /A/ PGLs (d) ab /A/ PGLs (d) ep /A/ ANFs (d)
M	cz FPKs PGLs	py ANFs	ser CLOs OPs cz LIMS	Porfiritica	ser /A/ PGLs (mf) CLOs,ser /A/ FPKs (f) CLOs,ser;OPs /A/ ANFs (mf) Silicificación (m) LIMs /A/ py (m)
C	PGLs FPKs cz	ANFs mt py efn	ser CLOs ep py LIMS	Porfiritica	ser /A/ FPKs,PGLs (f) ep,CLOs /A/ FPKs,PGLs (d) py diss. en venillas (d) LIMs /A/ py (d)
DH PF	cz FPKs PGLs	bt vd ARCs		Porfiritica fluidal	
SY	PGLs cz FPKs	ANFs bt	CLOs cac ser OPs ab	Porfiritica	cac,ser,ab /A/ PGLs (i) CLOs;CBs /A/ ANFs (m) diss. de OPs (d) OPs /A/ MAFICOS (d)
<p>Simbología: (mf) muy fuerte. (f) fuerte. (m) moderada. (d) débil. (i) incipiente. diss: diseminaciones. x /A/ y: mineral(es) x alteran a mineral(es) y.</p>					

CUADRO IV. GENERALIDADES PETROGRAFICAS DE LAS PRINCIPALES UNIDADES IGNEAS DE HUALGAYOC.



TH	INTRUSIVO	TANTA HUATAY
SM	INTRUSIVO	SAN MIGUEL
Je	INTRUSIVO	HUALGAYOC - CERRO JESUS
Jo	INTRUSIVO	HUALGAYOC - CERRO JOSE
Ma	STOCK	MARIA
CM	INTRUSIVO	COYMOLACHE
Y	SILL	YANACANCHA
M	SILL	MERCEDES
C	SILL	CENTINELA-CALIFORNIA
VM	VOLCANICOS	AL NORTE DEL CERRO JESUS
PF	VOLCANICOS	DEL CERRO PALO DE FIERRO
DH	DOMO	HUALGAYOC

FIG.VIII. DIAGRAMA AQP MOSTRANDO LAS COMPOSICIONES DE LAS PRINCIPALES UNIDADES IGNEAS DE HUALGAYOC.

VISTAS PANORAMICAS.

- FOTO N°1 Desde la falda sur del cerro María, mirando hacia el este. Intrusivo José con fallamiento N 75°E bien marcado. Al fondo a la izquierda los sills del cañón del río Hualgayoc.
- FOTO N°2 Desde la mina Los Mantos, mirando hacia el oeste. A la derecha el intrusivo Jesús. Al fondo estratos calcáreos del cerro María.
- FOTO N°3 Desde la mina Lambayeque mirando hacia el sur. A la izquierda el cerro Jesús, a la derecha el cerro María y al fondo el sill Yanacancha. Abajo el pueblo de Hualgayoc.
- FOTO N°4 Mirando al norte domo de Hualgayoc con farallones subverticales. Abajo se observan coladas subhorizontales.
- FOTO N°5 Protuberancias volcánicas del cerro Palo de Fierro, obsérvese las alteraciones claras. A la derecha quebrada Tingo.



1

2



3

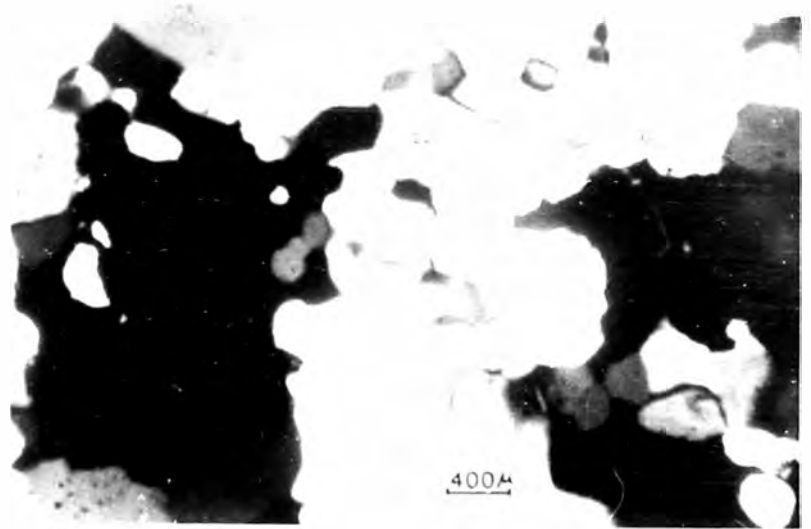


MUESTRAS DE MANO Y FOTOMICROGRAFIAS.

- **FOTO N°6** Muestra del casquete de cuarzo poroso granular con limonitas intersticiales del intrusivo Tanta Huatay.
- **FOTO N°7** Fotomicrografía del cuerpo de cuarzo poroso granular con limonitas intersticiales que aflora cerca del cerro María. Nícoles cruzados.
- **FOTO N°8** Skarn de la mina Lambayeque. Roca mostrando bandeamiento relicto. Minerales principales: pirita, granates, esfena y calcita.
- **FOTO N°9** Fotomicrografía de una muestra de skarn de la mina Lambayeque. Nícoles paralelos. Cristales subhedrales de granates con núcleos algo alterados (epídota) y cortados por venillas de carbonatos. Esfalerita y minerales opacos (pirita y calcopirita) rellenan espacios entre granates. Calcita y cuarzo rellenan espacios entre granates y minerales opacos.
- **FOTO N°10** Comparación entre caliza fresca (izquierda) y granatita (derecha) del cerro María. La granatita proviene del sureste y parte baja del cerro María (mina Cañón). En la muestra de la derecha, las bandas claras son de tono verdoso y están formadas principalmente por granates y calcita intergranular; también presenta fuertes diseminaciones de pirita siguiendo el bandeamiento.
- **FOTO N°11** Muestra de la mina Tres Amigos. Pirita granular porosa, cuarzo en granos anhedrales y cristales de enargita de hasta 1.5 cm. La muestra presenta una alteración pulverulenta de color amarillo.



b

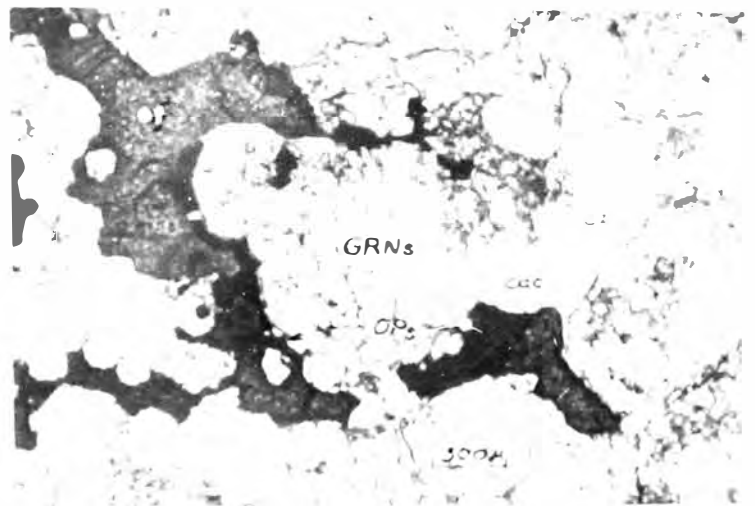


7



py

ef-GRNs



GRNs

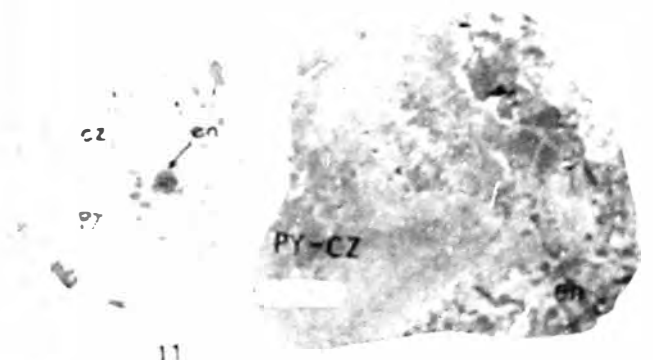
COC

OPs

300μ



10



CZ

en

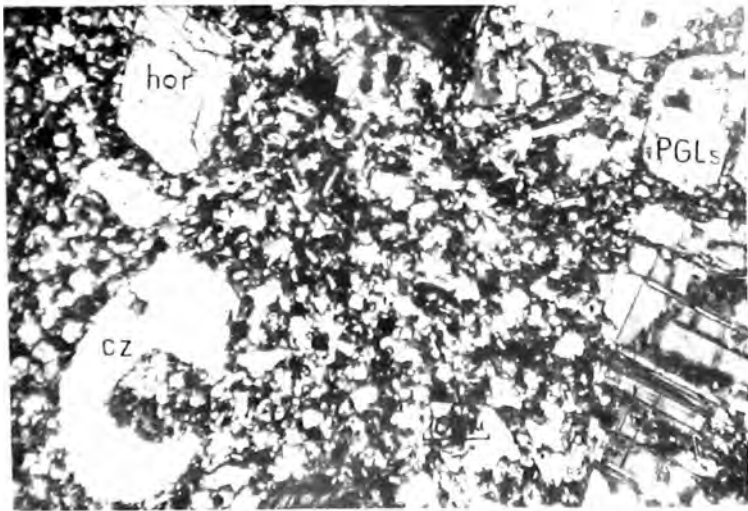
PY

PY-CZ

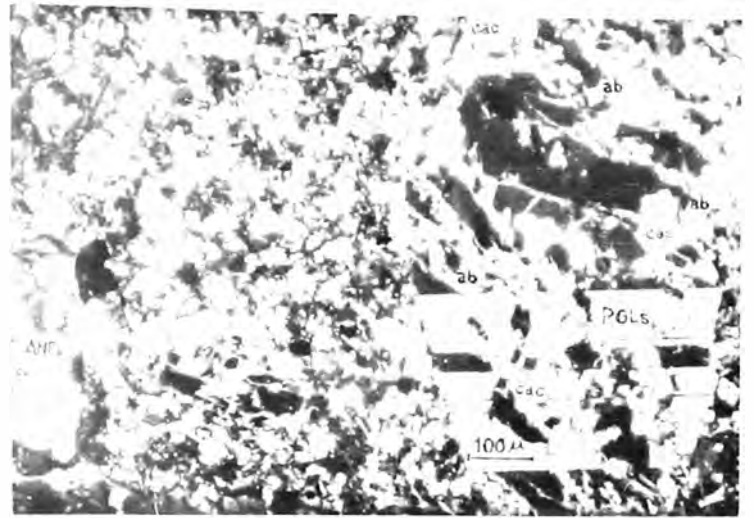
11

FOTOMICROGRAFIAS.

- **FOTO N°12** Intrusivo Tanta Huatay. Nícoles cruzados. Hornblenda euhedral maclada. Cuarzo ovalado con bordes corroídos. Plagioclasas macladas con bordes corroídos e incipiente alteración a carbonatos. Entre el cuarzo y la hornblenda se observa un pequeño fenocristal de feldespatos potásicos con el núcleo bastante alterado. La matriz es rica en plagioclasas.
- **FOTO N°13** Intrusivo San Miguel. Nícoles cruzados. Fenocristal de plagioclasa con alteración de calcita y albita. A la izquierda se observa un cristal tabular de anfíbol alterándose a carbonatos. Matriz felsosídica rica en cuarzo.
- **FOTO N°14** Intrusivo Tanta Huatay. Muestra de la falda sur del cerro Lomo de Corvina. Nícoles cruzados. Fenocristales de plagioclasas con bordes corroídos. Matriz felsosídica de granulometría fina.
- **FOTO N°15** La vista anterior en nícoles paralelos ligeramente desenfocada para resaltar la diferencia de relieve entre los componentes de la matriz; la cual está compuesta por cuarzo en granos anhedrales y subhedrales (gris oscuros), microcristales de feldespatos potásicos (gris claro) y en menor proporción plagioclasas y minerales opacos.
- **FOTO N°16** Intrusivo del cerro Jesús. Nícoles paralelos. Roca fuertemente alterada. Esfena en arreglo esquelético y sericita completando el molde euhedral. Pirita anhedral a subhedral en matriz felsosídica rica en cuarzo y sericita. En la parte superior se observa un molde de anfíbol reemplazado completamente por un agregado afieltrado denso de sericita.
- **FOTO N°17** Intrusivo del cerro Jesús. Nícoles cruzados. A la derecha se observa un molde de feldespatos reemplazado completamente por un agregado afieltrado denso de sericita y al centro, anfíbol fuertemente alterado a sericita. La matriz es cuarzo sericítica. La roca se presenta fuertemente alterada (sericitización, silicificación y disseminaciones de pirita).



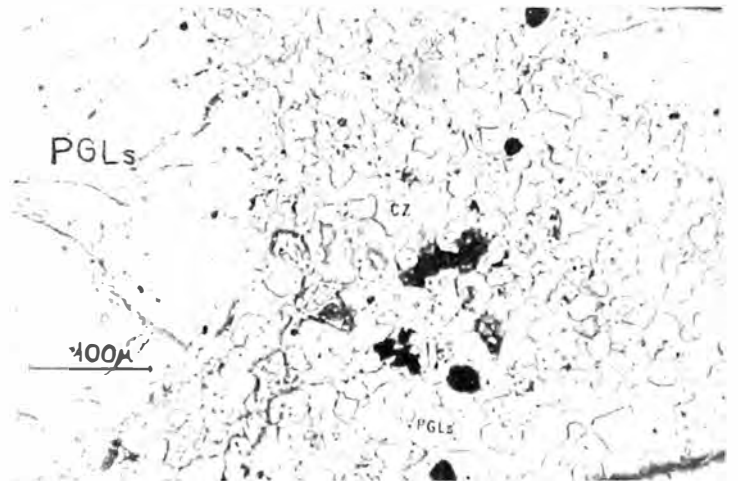
12



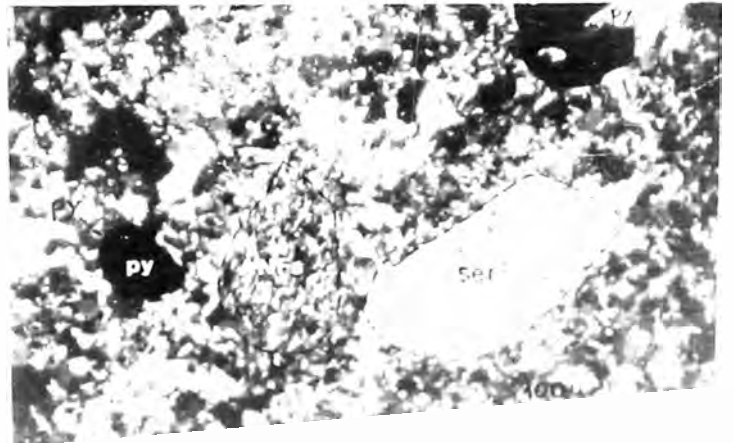
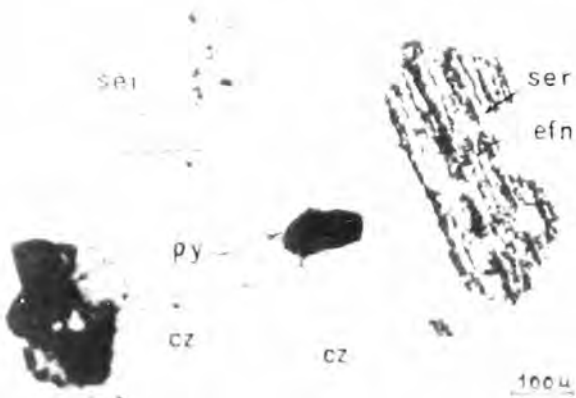
13



14



15



FOTOMICROGRAFIAS

- **FOTO N°18** Sill Mercedes. Nícoles cruzados.
Roca porfirítica fuertemente alterada. A la izquierda y al centro se observa plagioclasa alterada a sericita y a la derecha un anfíbol alterado a cloritas y sericita. Los granos de cuarzo presentan los bordes corroídos y la matriz está constituida por cuarzo de silicificación, feldespatos, sericita, cloritas y minerales opacos.

- **FOTO N°19** Sill California. Nícoles cruzados.
Fenocristales de plagioclasas y feldespatos potásicos argilitizados y con incipiente epidotización. Matriz rica en feldespatos potásicos y plagioclasas.

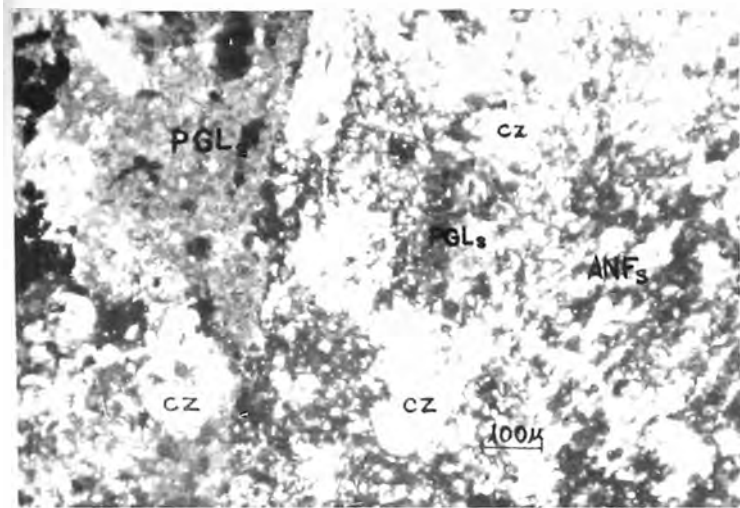
- **FOTO N°20** Stock del cerro María. Nícoles cruzados.
Fenocristales idiomorfos de hornblenda. Fenocristales de plagioclasas macladas y zonadas. Matriz seriada donde se observan pequeños granos de plagioclasas, feldespatos potásicos, cuarzo y material criptocristalino.

- **FOTO N°21** Stock del cerro María. Nícoles paralelos.
Granos corroídos de biotita alterándose a minerales opacos. Cristal esquelético de ilmenita con inclusión de piroxeno idiomorfo. Anfíbol alterándose a cloritas.

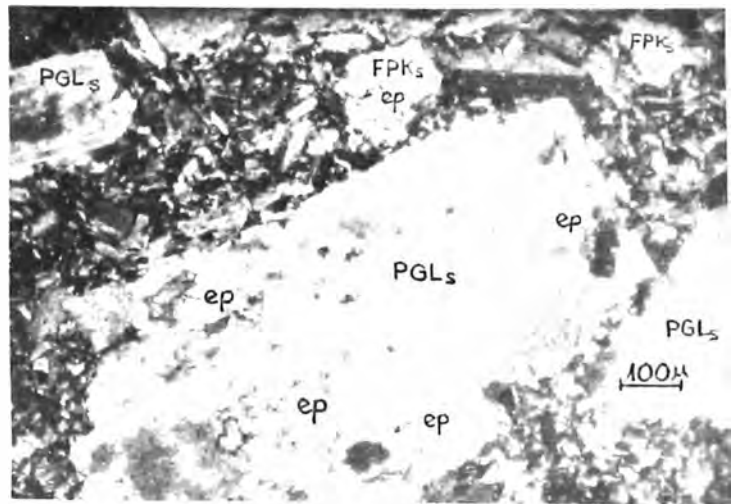
- **FOTO N°22** Intrusivo Coymolache. Nícoles cruzados.
Fenocristales de plagioclasas macladas y zonadas en matriz felsosídica muy rica en plagioclasas.

- **FOTO N°23** Intrusivo Coymolache. Nícoles cruzados.
Fenocristales de plagioclasas y cuarzo con bordes corroídos.

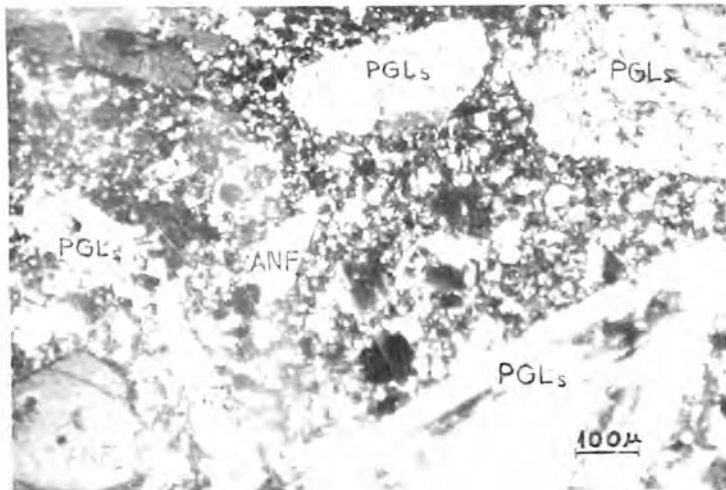
- **FOTO N°24** Domo de Hualgayoc. Nícoles cruzados.
Fenocristales de cuarzo redondeados y con bordes corroídos. Biotita en cristales curvados y matriz de granulometría submicroscópica con presencia de vidrio. Se reconocen también feldespatos potásicos como manchas blanquecinas



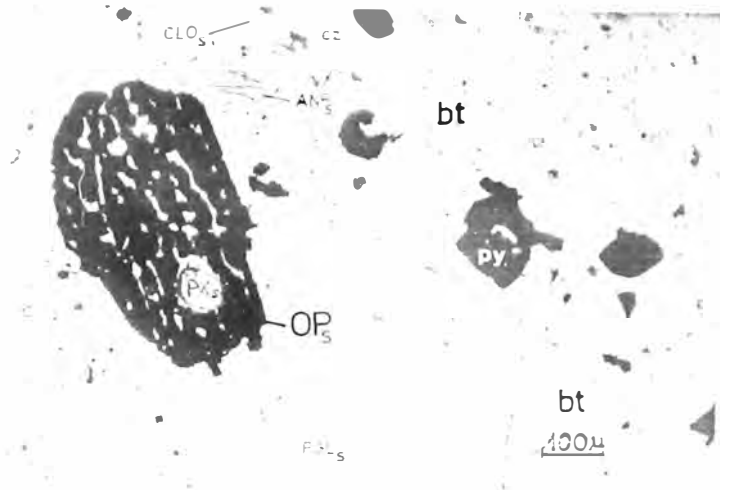
18



19



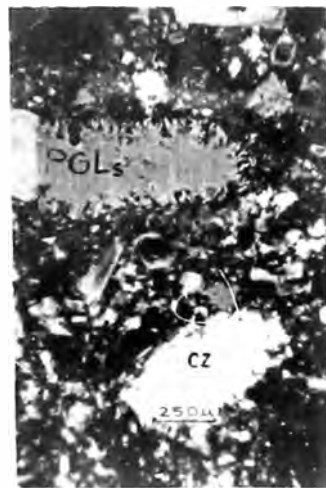
20



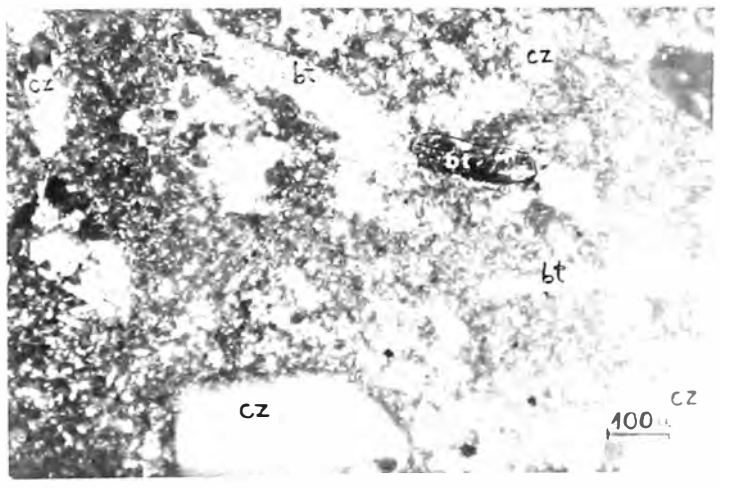
21



22



23



24

4. ESTUDIO GEOQUIMICO DEL MAGMATISMO.

El presente estudio geoquímico parte de los resultados del análisis químico global por óxidos de once muestras representativas de las principales unidades ígneas de Hualgayoc. Con estos resultados, y siguiendo las normas petrográficas de Niggli y de C.I.P.W. se han calculado los respectivos minerales normativos. Con estos datos, en el párrafo 5.5 se ha clasificado y tipificado el magma según diferentes diagramas, y finalmente se ha estudiado su evolución composicional.

4.1. Presentación de muestras.

Durante el trabajo de campo se recorrieron las principales unidades ígneas y atendiendo a la morfología de los afloramientos y a las variaciones petrográficas macroscópicas, se recolectaron muestras representativas de cada unidad ígnea, lo más exentas posibles de alteraciones hipógenas y supérgenas.

Todas las muestras fueron estudiadas al microscopio de luz polarizada y a tres de ellas se les hizo análisis químico por óxidos, como un complemento a las ocho muestras presentadas en los trabajos de JANJOU (1981) y BORREDON (1982).

Las once muestras en las que se basa este estudio representan a las siguientes unidades ígneas: Tanta Huatay (TH), San Miguel (SM), Jesús (Je), María (Ma), Coymolache

(CM1 y CM2), sill Mercedes (M), sills Centinela y California (C), domo Hualgayoc (DH), derrames volcánicos de la zona de la mina Mansita (VM) y volcánicos del cerro Palo de Fierro (PF).

La ubicación de cada una de estas muestras se indica en la figura IX.

4.2. Análisis químico por óxidos.

Las ocho muestras tomadas de los trabajos de JANJOU (1981) y BORREDON (1982) fueron analizadas por los siguientes óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 y H_2O ; en el Laboratorio de Geología Aplicada de la Universidad Pierre y Marie Curie en Francia, por D. Dubarry y A.M. de Kersabiec.

Las muestras del cerro Palo de Fierro y de los intrusivos Tanta Huatay y San Miguel fueron analizadas en el Laboratorio del INGEMMET. Se utilizó el método volumétrico para SiO_2 y Al_2O_3 , el método de absorción atómica para el Fe total, MgO , CaO , Na_2O y K_2O y el método gravimétrico para calcular la pérdida por calcinación.

Para poder reunir estas dos colecciones en una sola, no se consideró el MnO , P_2O_5 ni H_2O de las ocho primeras muestras; y de las tres restantes no se consideró la pérdida por calcinación, además, se le asignó un valor de TiO_2 en función a los valores de TiO_2 de las ocho primeras muestras (0.70 para intrusivos y 0.33 para volcánicos) y el Fe total fué desplegado en Fe_2O_3 y FeO (esto fué

posible estimando con el microscopio los porcentajes de minerales férricos y ferrosos presentes en cada muestra. Una explicación detallada del procedimiento se expone en el anexo 3).

El cuadro V muestra los resultados, corregidos tal como se ha indicado, de los análisis químicos por óxidos de las once muestras. corregidos como se ha indicado.

4.3. Análisis Normativos.

Conociendo los porcentajes de los óxidos componentes de las muestras y siguiendo las normas petrográficas de Niggli y de C.I.P.W. se pudo calcular los respectivos minerales normativos. Los cálculos de normas se han realizado siguiendo las indicaciones de BARTH (1962) con algunas modificaciones de HUTCHISON & JEACOCKE (1971). El cuadro VI muestra los resultados de dichos cálculos, incluyendo los parámetros de Niggli, para las once muestras.

Las composiciones normativas corresponden a cuarzo latíandesitas, dacitas y riódacitas.

En la figura X podemos observar una comparación entre las composiciones normativas y modales en el diagrama AQP.

	TH	SM	Je	Ma	CM1	CM2	M	C	DH	VM	PF
SiO2	59.00	58.50	62.40	62.20	60.80	59.00	56.00	63.00	71.00	69.40	69.00
Al2O3	18.80	18.40	17.11	16.84	17.34	16.60	15.60	16.95	14.83	17.01	17.50
Fe2O3	3.63	3.78	2.28	2.48	2.37	2.41	1.52	1.42	1.13	1.16	0.41
FeO	1.52	1.52	2.30	2.16	2.44	2.87	7.90	1.15	0.57	0.43	0.99
MgO	2.58	2.55	2.27	2.52	2.42	4.13	3.22	2.10	0.61	1.05	0.38
CaO	5.88	5.75	4.25	5.05	5.15	6.50	4.63	5.27	2.13	2.24	1.82
Na2O	4.40	4.38	3.65	4.14	3.83	3.26	3.60	4.45	3.38	3.42	4.31
K2O	2.29	2.18	2.44	2.22	2.28	2.01	2.22	3.18	4.16	3.53	3.43
TiO2	0.70	0.70	0.78	0.70	0.68	0.70	0.90	0.62	0.35	0.31	0.33
TOTAL	98.80	97.76	97.48	98.31	97.31	97.48	95.59	98.14	98.16	98.55	98.17

CUADRO V. ANALISIS QUIMICO POR OXIDOS.

		TH	SM	Je	Ma	CM1	CM2	M	C	DH	VM	PF
MINERALES	q	9.25	9.49	18.80	15.44	15.02	12.92	13.04	12.44	29.86	29.98	25.95
	pgl	61.99	61.15	52.08	55.73	55.88	35.77	50.17	54.45	39.41	39.97	45.61
	or	13.36	12.80	14.47	13.36	13.36	11.69	13.36	18.92	24.49	20.60	20.04
NORMATIVOS	di	3.46	3.68	---	3.50	1.77	5.96	2.80	7.36	---	---	---
	hy	4.82	4.62	6.68	5.34	6.50	9.53	18.37	1.81	1.50	2.61	1.83
DE	c	---	---	0.71	---	---	---	---	---	0.82	3.57	3.47
C.I.P.W.	mt	2.78	2.78	3.24	3.70	3.47	3.47	2.32	1.85	0.93	0.46	0.69
	hm	1.76	1.92	---	---	---	---	---	0.16	0.48	0.80	---
	il	1.36	1.36	1.52	1.36	1.37	1.36	1.67	1.21	0.61	0.61	0.61
MINERALES	q	13.45	11.87	17.40	15.76	15.49	13.32	10.74	15.27	24.09	19.73	22.23
	pgl	50.06	56.70	47.95	48.48	47.59	42.06	44.32	47.87	44.07	50.73	53.89
	or	12.05	10.16	14.04	12.05	12.59	10.88	12.36	16.51	25.37	23.16	20.66
NORMATIVOS	di	22.09	19.11	15.82	20.10	20.58	28.13	19.64	18.33	5.13	3.81	1.05
	hy	TRAZAS	0.03	2.63	1.59	1.78	3.64	11.00	---	0.27	1.48	1.47
DE	Wo	---	---	---	---	---	---	---	0.62	---	---	---
NIGGLI	mt	1.40	1.29	0.99	1.01	0.98	0.98	0.63	0.55	0.51	0.55	0.18
	il	0.95	0.84	1.17	1.01	0.99	0.99	1.31	0.85	0.56	0.53	0.52
PARAMETROS	al	35.80	35.50	37.70	35.20	36.10	31.00	29.10	36.80	45.50	48.20	50.70
	fm	25.40	25.90	26.30	26.30	26.20	32.80	39.70	19.00	11.70	13.50	8.40
DE	c	20.30	20.20	17.00	19.20	19.50	22.10	15.70	20.80	11.90	11.50	9.60
NIGGLI	alk	18.50	18.40	19.00	19.30	18.20	14.10	15.50	23.40	30.90	26.80	31.30
	si	190.60	191.50	233.30	220.60	214.60	187.00	177.20	232.20	370.10	333.90	339.40

CUADRO VI. RESULTADOS DEL ANALISIS NORMATIVO.

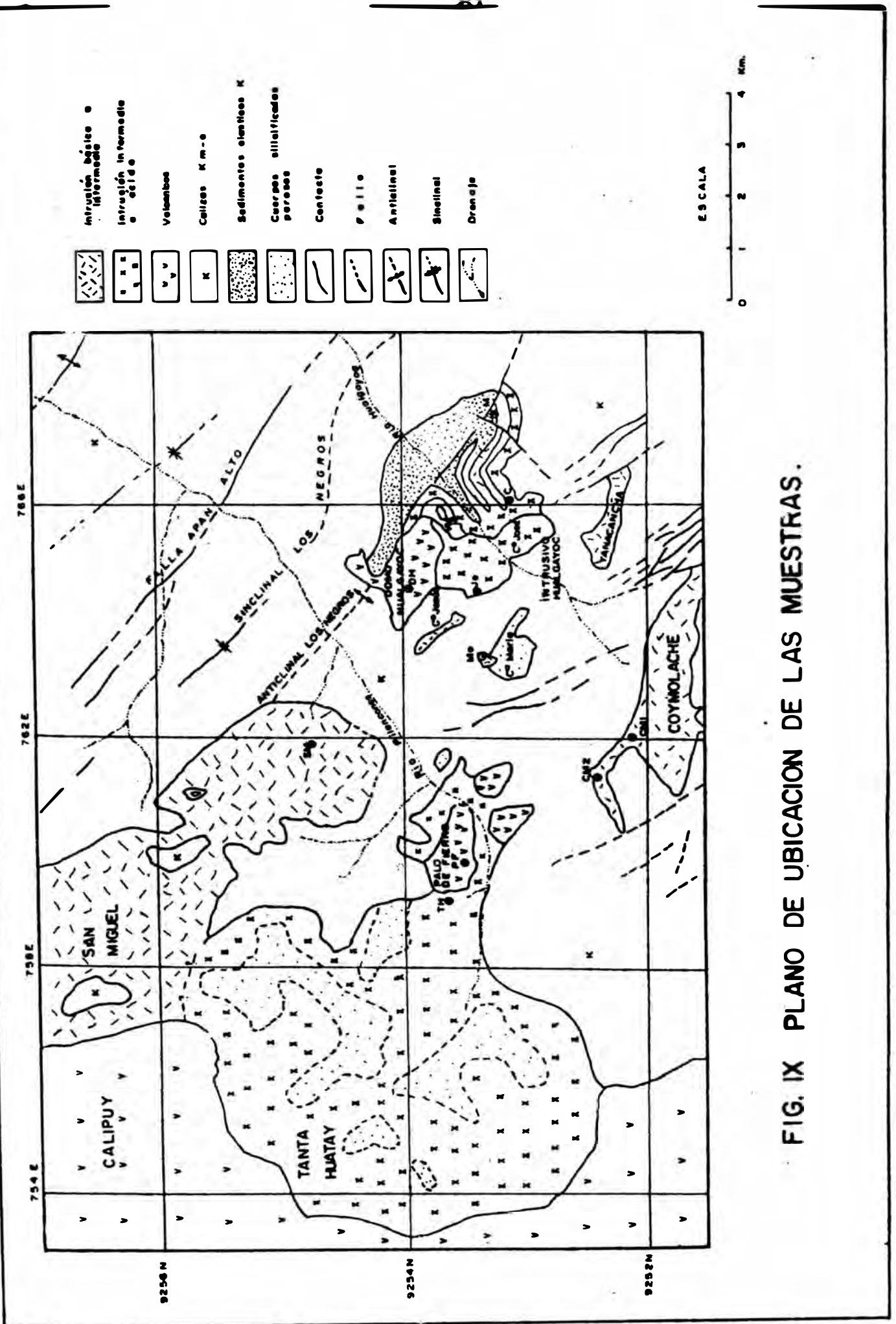
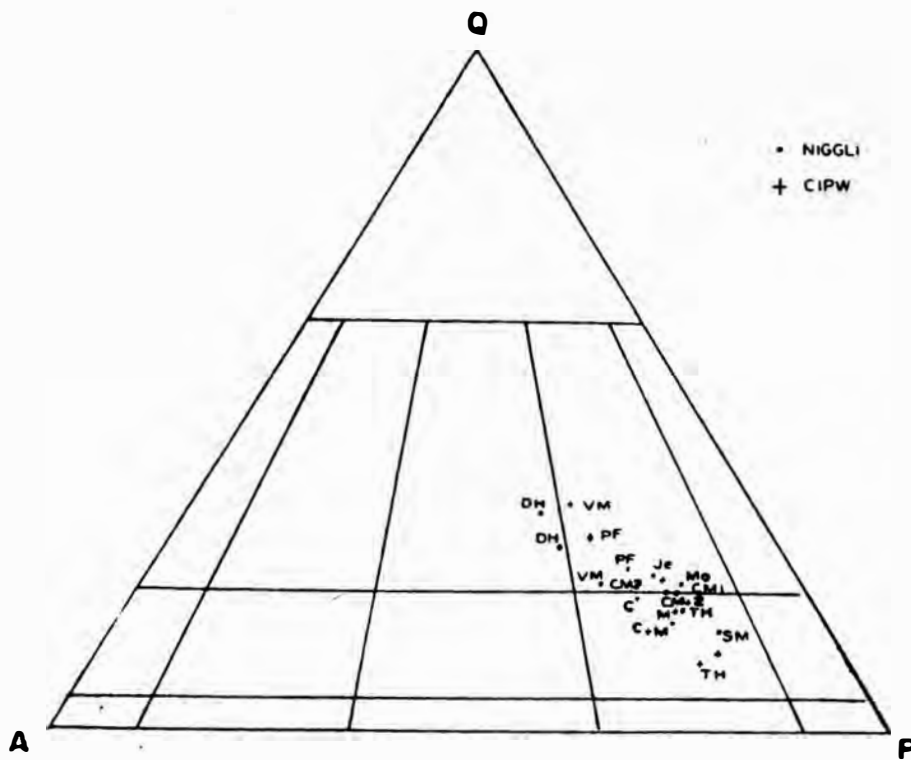
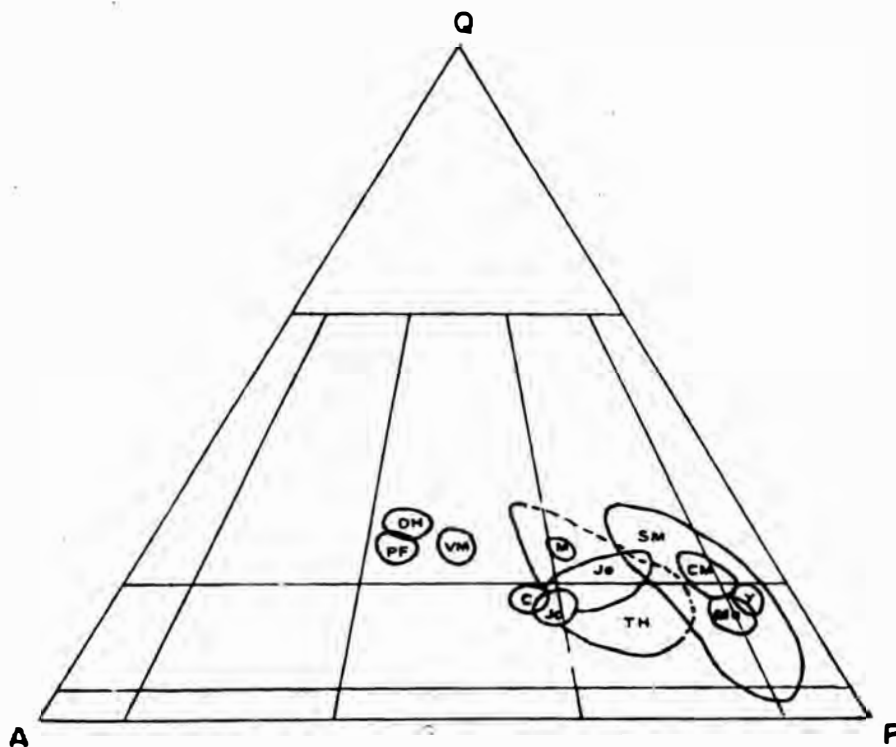


FIG. IX PLANO DE UBICACION DE LAS MUESTRAS.



(A) COMPOSICIONES NORMATIVAS



(B) COMPOSICIONES MODALES

FIG. X . COMPARACION ENTRE LAS COMPOSICIONES NORMATIVAS (A) Y MODALES (B) EN EL DIAGRAMA AQP.

5. INTERPRETACION Y DISCUSION.

5.1. Petrología.

Las unidades ígneas del distrito de Hualgayoc, con excepción del domo Hualgayoc y del cerro Palo de Fierro, presentan textura porfirítica, generalmente con matriz felsosídica, con diferentes proporciones de cuarzo y feldespatos; los fenocristales de plagioclasas (mayormente andesina) se presentan siempre maclados, zonados y con frecuencia con bordes ligeramente corroídos; los fenocristales de cuarzo son escasos, pequeños, redondeados y siempre con bordes corroídos. Estas características, principalmente la textura porfirítica y los fenocristales redondeados y corroídos, nos sugieren un cambio del nivel de emplazamiento durante la cristalización. Condiciones de altas presiones y enfriamiento lento (niveles profundos) han favorecido la formación de los fenocristales; y un descenso brusco de la presión con un decremento de la temperatura (niveles subvolcánicos) habrían favorecido la formación de una gran cantidad de núcleos de cristalización, los que no habrían tenido el espacio suficiente para desarrollarse, constituyendo así una masa fundamentalmente de grano fino.

Estas rocas ígneas también presentan fenocristales de hornblenda y biotita, y disseminaciones de minerales opacos en porcentajes menores al 1%.

Los estudios microscópicos nos indican que los minerales

opacos primarios son principalmente magnetita y hematita. Leucoxeno, esfena e ilmenita se presentan como alteraciones sucesivas, al parecer reemplazando a minerales ferromagnesianos. Probablemente las formas esqueléticas de los agregados de esfena o ilmenita (ver por ejemplo foto N°16) se deban a que éstos minerales se formaron siguiendo los planos de clivaje de anfíboles o piroxenos. También hay disseminaciones y hasta venillas de pirita.

El domo Hualgayoc y las coladas del cerro Palo de Fierro presentan pseudoestratificación, así como textura fluidal y presencia de vidrio, lo cual nos indica facies típicamente volcánicas.

En la figura VIII se observa que la composición de las unidades ígneas varía de diorita a riodacita, pudiéndose reconocer hasta tres grupos composicionales:

- a) De naturaleza básica a intermedia (cuarzo diorita a dacita). Ejemplos: sill Yanacancha, stock del cerro María, intrusivo Coymolache e intrusivo San Miguel.
- b) De naturaleza intermedia a ligeramente ácida (cuarzo latiandesita y cuarzo latita a dacita y riodacita). Ejemplos: intrusivo Hualgayoc, intrusivo Tanta Huatay y los sills Mercedes, Centinela y California.
- c) De naturaleza ácida (riodacita). Ejemplos: domo Hualgayoc y los afloramientos al norte del cerro Jesús y el cerro Palo de Fierro.

5.2. Relación entre la formación de las diferentes unidades ígneas y la diferenciación magmática.

STEWART et al. (1974), basados en observaciones de campo y dataciones K-Ar, afirman que los volcánicos Calipuy datan de no más de 33 M.A. y no menos de 10 M.A.

El intrusivo San Miguel se encuentra claramente cortando a los volcánicos Calipuy (ver figura IV), lo cual nos indica que su emplazamiento corresponde al Terciario superior. Por otro lado, el alineamiento entre el intrusivo Hualgayoc y el intrusivo San Miguel, siguiendo aproximadamente la falla regional Hualgayoc, nos hace suponer que ambos intrusivos se habrían emplazado casi al mismo tiempo.

En cuanto a la mineralización hidrotermal podemos notar que ha afectado a los sills del cañón del río Hualgayoc, pero no ha afectado al domo ni a los volcánicos asociados a éste, por lo cual le podemos asignar una edad entre 10.5 y 7.2 M.A.

Con estas interpretaciones y con los resultados de las dataciones radiométricas (cuadro III) podemos establecer el siguiente ordenamiento cronológico del emplazamiento de los cuerpos ígneos, incluyendo a la mineralización hidrotermal:

- Volcánicos Calipuy..... Tm-s.
- Intrusivo Hualgayoc (Jesús y José)..14.3 ± 0.7 M.A.
- Intrusivo Tanta Huatay.....12.4 ± 0.4 M.A.
- Intrusivo Coymolache.....11.8 ± 0.6 M.A.

- Sills del cañón del río Hualgayoc...10.5 ± 0.5 M.A.
- Mineralización hidrotermal.....De 10.5 a 7.2 M.A.
- Domo y volcánicos Palo de Fierro.... 7.2 ± 0.35 M.A.

Del intrusivo San Miguel simplemente podemos decir que se ha emplazado durante el Terciario superior, después de los volcánicos Calipuy.

Si relacionamos este ordenamiento cronológico con la evolución composicional, desde básico hasta ácido, de la diferenciación magmática, veremos que el emplazamiento de los intrusivos Hualgayoc, Tanta Huatay, Coymolache y San Miguel no guarda una buena correspondencia con la secuencia teórica de diferenciación (ver figura XVII A y B). Para esto habría dos explicaciones:

- a) La diferencia de edad entre los intrusivos es muy corta como para establecer una relación con la diferenciación.
- b) El proceso conjugado de asimilación de la roca encajonante jugó un papel relativamente importante durante la cristalización de algunas unidades.

Si bien las unidades ígneas, tratadas en forma individual, no reflejan una tendencia clara, sin embargo, si las agrupamos en función de su composición y morfología, veremos que se puede establecer una mejor correspondencia entre la variación composicional (diferenciación básico a ácido) y el orden cronológico de formación (ver figura XVII A y C).

5.3. Relación entre el magmatismo y la mineralización.

Algunos tipos de yacimientos existentes en el Distrito Minero de Hualgayoc guardan una estrecha relación espacial y/o genética con los intrusivos del Terciario superior. A continuación se analiza la relación que pudiera tener cada uno de los diferentes tipos de yacimientos con los intrusivos.

El cuadro VIII resume las hipótesis planteadas para explicar la génesis de los diferentes tipos de yacimientos en Hualgayoc.

5.3.1. Relación entre el magmatismo y los yacimientos concordantes.

ERICKSEN et al. (1956) se refieren a los yacimientos concordantes como producto de reemplazamiento, relacionándolos genéticamente con el magmatismo.

Posteriormente otros geólogos defienden esta hipótesis basándose en la silicificación de la caliza encajonante y en la asociación con cuerpos discordantes a los que interpretaban como vetas hidrotermales que constituyeron la fuente de alimentación de mantos susceptibles a ser reemplazados. Estudios de la mineralogía, texturas y de las relaciones con la fisiografía demuestran que los cuerpos discordantes, asumidos como vetas, son en realidad rellenos intracársticos, los cuales no tienen relación genética con el magmatismo. Sólo en la zona sur del

distrito se verifica claramente la superposición de eventos hidrotermales a los yacimientos concordantes. TUMIALAN (1975) indica que cuando la veta Paccha corta a los sills es angosta, pero cuando corta a las calizas dolomíticas interestratificadas con lutitas calcáreas se hace mas ancha; plantea además que es posible la ocurrencia de mantos que nacen a partir de dicha veta.

En el campo se observa que los yacimientos concordantes no tienen una estrecha relación, genética ni espacial, con los intrusivos. Por otro lado, la presencia de figuras sedimentarias, que comprometen tanto a la roca como a la mena; la mineralogía (pirita, esfalerita, galena, carbonatos, chert y materia orgánica); la ausencia o muy débil alteración de la roca encajonante y en algunos casos la asociación de horizontes mineralizados con capas tufáceas, nos estarían indicando que estos yacimientos son singenéticos de origen vulcanogénico distal. CANCHAYA (1980), JANJOU (1981), BORREDON (1982), PAREDES (1982) y TUMIALAN & NUÑEZ (1989) apoyan esta hipótesis singenética. Sin embargo, hace falta mayores estudios para dilucidar claramente la génesis de dichos mantos.

5.3.2. Relación entre el magmatismo y los yacimientos discordantes.

Los yacimientos discordantes, con excepción de los cuerpos de relleno intracárstico, tienen una estrecha relación espacial con los intrusivos de naturaleza intermedia a

ligeramente ácida (intrusivo Tanta Huatay, intrusivo Hualgayoc, parte sur del intrusivo San Miguel y sills del cañón del río Hualgayoc) y no así con los intrusivos básicos (sill Yanacancha, intrusivo Coymolache, stock del cerro María e intrusivo San Miguel). Esto plantea la posibilidad de que también tengan relación genética.

5.3.2.1. Vetas.

En Hualgayoc existen hasta tres tipos de vetas:

- a) De relleno intracárstico (Pozos Ricos, Predilecta, Porcia)
- b) Formadas por soluciones superficiales descendentes.
- c) Hidrotermales de filiación magmática.

Las vetas de relleno intracárstico solo se han reconocido en rocas calcáreas. Se asocian espacial y genéticamente con la superficie Puna; presentan mineralogía simple y arreglos texturales típicos (ver CANCHAYA et al. 1990). No tienen relación espacial ni genética con el magmatismo. PAREDES (1979) y BORREDON (1982) consideran que algunas vetas del intrusivo Jesús se han formado por soluciones superficiales descendentes. Reconocen estas vetas por su poca profundidad y por su mineralogía y texturas (por lo general colofome y terrosa).

Las vetas ubicadas al sur del intrusivo San Miguel, en el intrusivo Hualgayoc y cortando a los sills y a la secuencia sedimentaria en el Sur del distrito, si parecen

tener relación genética con el magmatismo.

ERICKSEN et al. (1956) basados en que la naturaleza de la mineralización de las vetas no cambia cuando cruzan rocas ígneas o rocas sedimentarias, afirman que el tipo de roca encajonante tuvo sólo un ligero efecto sobre las soluciones mineralizantes sugiriendo así que las principales fuentes de mineralización fueron las soluciones hidrotermales de origen magmático.

TUMIALAN (1975) indica que la veta Paccha es más rica en cobre hacia el oeste y hacia abajo (hacia el intrusivo José) y es más rica en plomo, zinc y plata hacia el este (lejos del intrusivo), concluyendo así que los intrusivos constituyen la fuente de las soluciones hidrotermales.

A favor de esta hipótesis tenemos tres aspectos:

- a) La presencia de alteraciones hidrotermales en los intrusivos asociados.
- b) La existencia en las vetas de sulfosales de cobre cuya composición aniónica (S, As, Sb) es propia de fuentes magmáticas y cuya composición catiónica (sobre todo el Cu) no puede provenir de las rocas encajonantes puesto que en los mantos de Hualgayoc el cobre es escaso.
- c) La presencia de ciertos elementos calcófilos en los sills del cañón del río Hualgayoc en concentraciones superiores al background (ver cuadro IX).

Una segunda hipótesis resalta el papel de la asimilación

indicando que los magmas pueden enriquecerse en mayor o menor grado con distintos elementos, incluso metales, de las rocas encajonantes, los que durante la cristalización posterior pueden ser reconcentrados como parte de los yacimientos hidrotermales.

SMIRNOV (1982) señala que los yacimientos formados por fuentes magmáticas de asimilación son propios predominantemente de los estadios medio y tardío de los ciclos geosinclinales, que es justo el marco geotectónico que imperó en la zona desde el Cretáceo al Terciario.

MACFARLANE (1988) en un estudio de isótopos de plomo de muestras de la veta Atahualpa y de los mantos Lola y Mansita sugiere una fuente común de plomo para los tres yacimientos, pero también manifiesta que es poco probable que haya ocurrido dos eventos de mineralización superpuestos: uno singenético en el Cretáceo y otro epigenético en el Mioceno, ya que las diferencias de valores isotópicos de plomo entre los mantos (Cretáceo) y la veta que estudió (Mioceno) no corresponden a la diferencia que debería haber como consecuencia de la evolución isotópica durante los casi cien millones de años que existen entre estas dos épocas metalogenéticas.

Un modelo mixto de vetas formadas por soluciones hidrotermales de origen magmático, con iones metálicos provenientes del magma mismo y de las rocas asimiladas parece ser el más apropiado. Una mejor definición del problema del origen de los elementos metálicos se puede obtener con un mayor número de estudios isotópicos.

5.3.2.2. Yacimientos tipo skarn.

Los yacimientos tipo skarn han sido clasificados como tales debido a su ubicación, mineralogía y texturas. Están representados sólo por dos ocurrencias de alcance local; ambas en el contacto del intrusivo Jesús con las calizas de la formación Pariatambo.

La primera de ellas, la mina Lambayeque, está ubicada en el contacto noroeste del cerro Jesús. A nivel macroscópico presenta bandeamiento residual (ver foto N°8) y a nivel microscópico se observan cristales automórficos y zonados de granates en porcentajes mayoritarios, mineralización de pirita, calcopirita y esfalerita y finalmente calcita y cuarzo rellenando los intersticios (ver foto N°9).

La otra ocurrencia consiste de granatitas bandeadas (ver foto N°10) que se localizan en la parte inferior del flanco sureste del cerro María, probablemente asociada a un apófisis del intrusivo del cerro Jesús. HUDSON et al. (1980) reportan una serie de venillas menores de esfalerita y galena atravesando a las granatitas, pero no aseguran que se trate de mineralización propia del proceso de skarnificación.

En ambos casos el aclaramiento de las calizas y la presencia de granates estaría indicando que se trata de la fase prógrada de un skarn cálcico.

5.3.2.3. Cuerpos irregulares de py-cz-en.

Los cuerpos irregulares de py-cz-en, ubicados en el contacto noreste del intrusivo Tanta Huatay con las rocas calcáreas, parece tener no sólo una relación espacial con ese intrusivo, ya que la fuerte alteración de las calizas y la presencia de sulfosales de cobre de alcance mesotermal (ver foto N° 11) nos permite relacionarlos también genéticamente.

5.4. Evolución composicional y geoquímica del magma.

Entre las generalidades geoquímicas de las rocas ígneas de Hualgayoc destacan los contenidos relativamente altos de sílice (60 - 70%), de alúmina (15 - 19%) y de álcalis (6 - 7.7%). En cuanto al calcio, fierro total y magnesio, vemos que su valor decrece considerablemente en las rocas volcánicas.

El estudio de índices de correlación entre óxidos nos indica las relaciones que existen entre ellos. En el cuadro VII se presentan estos índices destacando la alta correlación positiva entre el SiO_2 y el K_2O y entre el MgO y CaO , y la fuerte correlación inversa entre el SiO_2 y CaO .

En los diagramas triangulares que relacionan los elementos con índices de correlación altos, se observa que la tendencia lineal es muy similar a la secuencia de formación establecida en el párrafo 5.2. (figura XVII C),

siendo la excepción a esta generalidad las muestras M (sill Mercedes; emplazado entre sedimentos pelíticos) y CM2 (brazo en forma de "L" al noroeste del intrusivo Coymolache; emplazado entre calizas).

La muestra M presenta un contenido de fierro total y magnesio superior al resto de las muestras, y la muestra CM2 presenta un alto contenido de calcio; lo cual nos sugiere que en ambos casos, la asimilación de la roca encajonante ha sido mayor que en los otros cuerpos ígneos. En el diagrama ternario $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO}$ (figura XVIII A) se puede observar que la diferenciación magmática (indicada por el enriquecimiento en sílice) va acompañada de un decremento de calcio y en menor grado magnesio.

En los diagramas $\text{SiO}_2\text{-MgO-K}_2\text{O}$ y $\text{SiO}_2\text{-CaO-K}_2\text{O}$ (figuras XVIII B y C) se puede observar que la diferenciación va acompañada de un enriquecimiento en potasio.

En el diagrama $\text{K}_2\text{O-MgO-CaO}$ (figura XVIII D) se observa que la diferenciación (esta vez indicado por el enriquecimiento en potasio), va acompañada de un decremento en calcio y magnesio.

Otro aspecto que destaca en los diagramas triangulares (figura XVIII) es que las rocas volcánicas son mucho más diferenciadas que las otras unidades ígneas. Por el contrario, la muestra CM2 aparentemente es la menos diferenciada, probablemente por la asimilación de calcio. Atendiendo a la variación de los parámetros de Niggli durante la diferenciación magmática (indicada por el incremento del parámetro si), vemos en la figura XIX, que

hay incremento en los parámetros al y alk , y hay decremento en los parámetros fm y c . Así mismo, las muestras M y CM2 son las menos diferenciadas, y la muestra del sill Centinela-California (C) difiere notablemente de las muestras de los intrusivos, presentando un alto valor de alk y un bajo valor de fm .

Entre las unidades volcánicas, PF parece ser ligeramente más diferenciada que DH y VM, por su ubicación en los diagramas triangulares y por tener un valor más alto del parámetro alk y más bajo en los parámetros c y fm que los otros volcánicos.

En el diagrama SiO_2 vs $(Na_2O + K_2O)$ (figura XII) se puede observar un incremento de **álcalis** durante la diferenciación magmática (indicada por el enriquecimiento en sílice), y en el diagrama SiO_2 vs (Na_2O/K_2O) (figura XX) se puede observar que durante la diferenciación disminuye el contenido de sodio respecto a potasio, siendo las rocas volcánicas las más diferenciadas, las más ricas en álcalis y a la vez las de menor contenido de sodio respecto a potasio. Por otro lado, MASON (1966) señala que los volátiles y los álcalis (principalmente sodio) favorecen la ruptura de los enlaces Si-O-Si y Si-Al disminuyendo así la viscosidad.

Estas observaciones nos sugieren que la viscosidad del magma que dió origen a las unidades ígneas de Hualgayoc fué relativamente baja (alto contenido de álcalis) y que durante la diferenciación disminuyó aun mas (enriquecimiento en álcalis con disminución del contenido

de sodio respecto a potasio).

5.5. Clasificación geoquímica y tipificación del magma.

Las diferentes unidades ígneas de Hualgayoc provienen de un magma calcoalcalino sobresaturado en sílice y con un alto contenido de alúmina. La representación de sus composiciones en diferentes diagramas de variación muestran ciertas particularidades.

El diagrama AFM (figura XI) y el diagrama sílice vs álcalis (figura XII) indican que este magma corresponde a la serie calcoalcalina con una composición cercana a la de las rocas alcalinas; el diagrama Al_2O_3 vs $(Na_2O + K_2O + CaO)$ (figura XIII) indica el carácter peraluminico, y el diagrama SiO_2 vs K_2O (figura XIV) indica el carácter ácido con un alto contenido de potasio.

Analizando las variaciones de los parámetros de Niggli, vemos que según el diagrama al vs alk (figura XV) el magma lo podemos clasificar como alcalino intermedio y según el diagrama al vs fm (figura XVI) lo podemos clasificar como magma sálico, lo cual se refleja en el carácter mesoleucocrático al que tienden las rocas.

Los índices de correlación altos entre el SiO_2 y K_2O , y bajos entre SiO_2 y Na_2O son característicos en las series calcoalcalinas de Arco Insular (JANJOU 1981).

A12O3	Fe2O3	FeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	
-0.31	0.69	-0.68	-0.90	-0.88	-0.18	0.86	-0.94	SiO2
	0.65	-0.32	0.12	0.39	0.68	-0.40	0.13	Al2O3
		0.04	0.61	0.79	0.31	-0.69	0.60	Fe2O3
			0.59	0.32	-0.24	-0.39	0.72	FeO
				0.90	-0.11	-0.83	0.85	MgO
					0.24	-0.80	0.80	CaO
						-0.14	0.10	Na2O
							-0.82	K2O

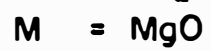
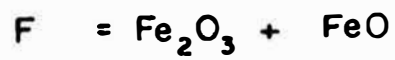
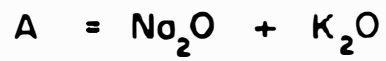
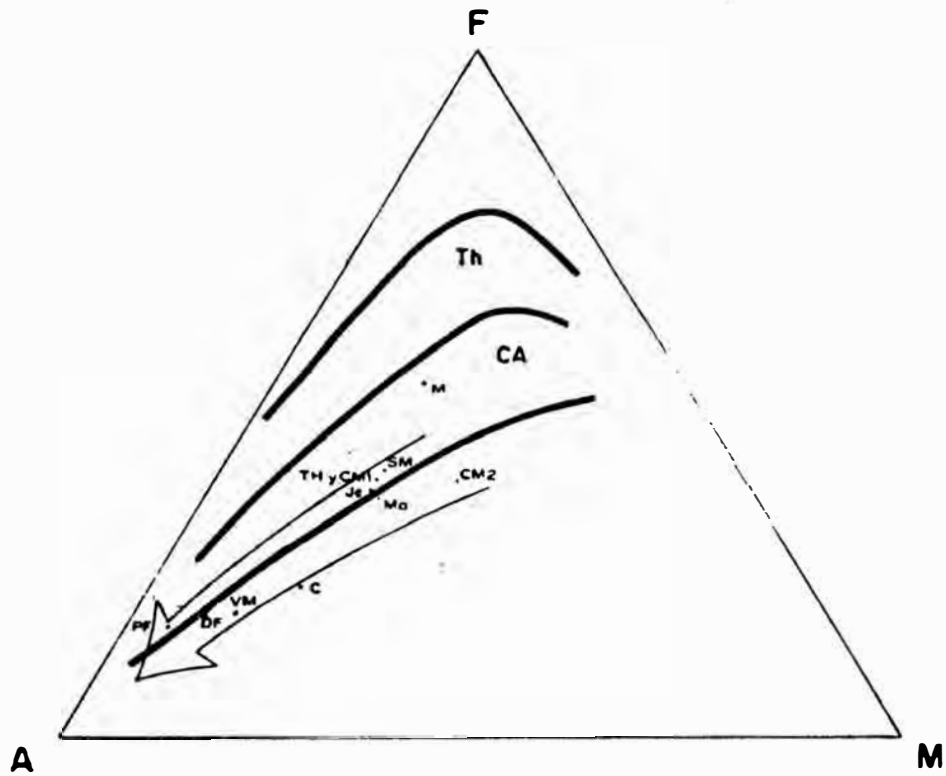
CUADRO VII. INDICES DE CORRELACION ENTRE OXIDOS.

MANTOS Y YACIMIENTOS ESTRATOLIGADOS	HIPOTESIS DE REEMPLAZAMIENTO (ASOCIADO A MAGMATISMO)	
VETAS HIDROTERMALES	HIPOTESIS HIPOGENA	MAGMA ES LA UNICA FUENTE DE MINERALIZACION. MINERALIZACION PROVIENE DE ELEMENTOS REMOVILIZADOS DESDE LOS MANTOS. MINERALIZACION DE ORIGEN MIXTO (MAGMATICO Y DE ASIMILACION).
SKARN	YACIMIENTO CLASIFICADO COMO SKARN EN FUNCION A SU RELACION ESPACIAL CON INTRUSIVO Y A SU MINERALOGIA Y TEXTURAS	
CUERPOS IRREGULARES	HIPOTESIS HIPOGENA	

CUADRO VIII. HIPOTESIS SOBRE GENESIS DE LOS YACIMIENTOS ASOCIADOS AL MAGMATISMO.

MUESTRA UBICACION	ELEMENTOS MAYORES > 10%	ELEMENTOS MENORES (10 - 1)%	TRAZAS (1 - 0.001)%	VESTIGIOS < 0.001%	Au ppm			
MM1 Sill Mercedes	Si	Al Fe	K Mg Na Ti	Ca V Mn	Cu Zn Pb	Ag Ni Sn Au	0.27	
MM2 Sill Mercedes	Si	Al Fe Mg Ca Na	K	Mn	V Ti	Cu Ni Zn Pb	Ag Co Sn Au	0.27
MM3 Sill Mercedes	Si	Fe Ca Na K Al	Mg	Ti Mn	<u>Cu</u> V Zn Pb	V Zn Pb	Ag Sn Zr Au	0.10
MM4 Sill Mercedes	Si	Al Fe Mg Ca	K	Mn	V <u>Cu</u> Ti	Co Ni Zn Pb	Ag Sn Au	0.36
MT6 Sill Mercedes	Si	Al Fe Ca K Mg		Na Ti Mn	V <u>Cu</u> <u>Zn</u> <u>Pb</u>	V Zn Pb	Ag Zr Au	0.02
MT15 Sill Centinela	Si	Fe Na K Al Mg		Ca Mn	V <u>Pb</u>	Cu Zn Ti	Ag Au	0.04
MT18 Sill Centinela	Fe Si	Al		K Mn	<u>Cu</u> Na Ti	Ca V Ag Zn Pb	Zr Sn Au	0.21

CUADRO IX. RESULTADOS DEL ANALISIS ESPECTROGRAFICO POR MULTIELEMENTOS.
Realizado en el Laboratorio de Espectrometría de la UNI.



Th = Dominio de la serie Tholeítica

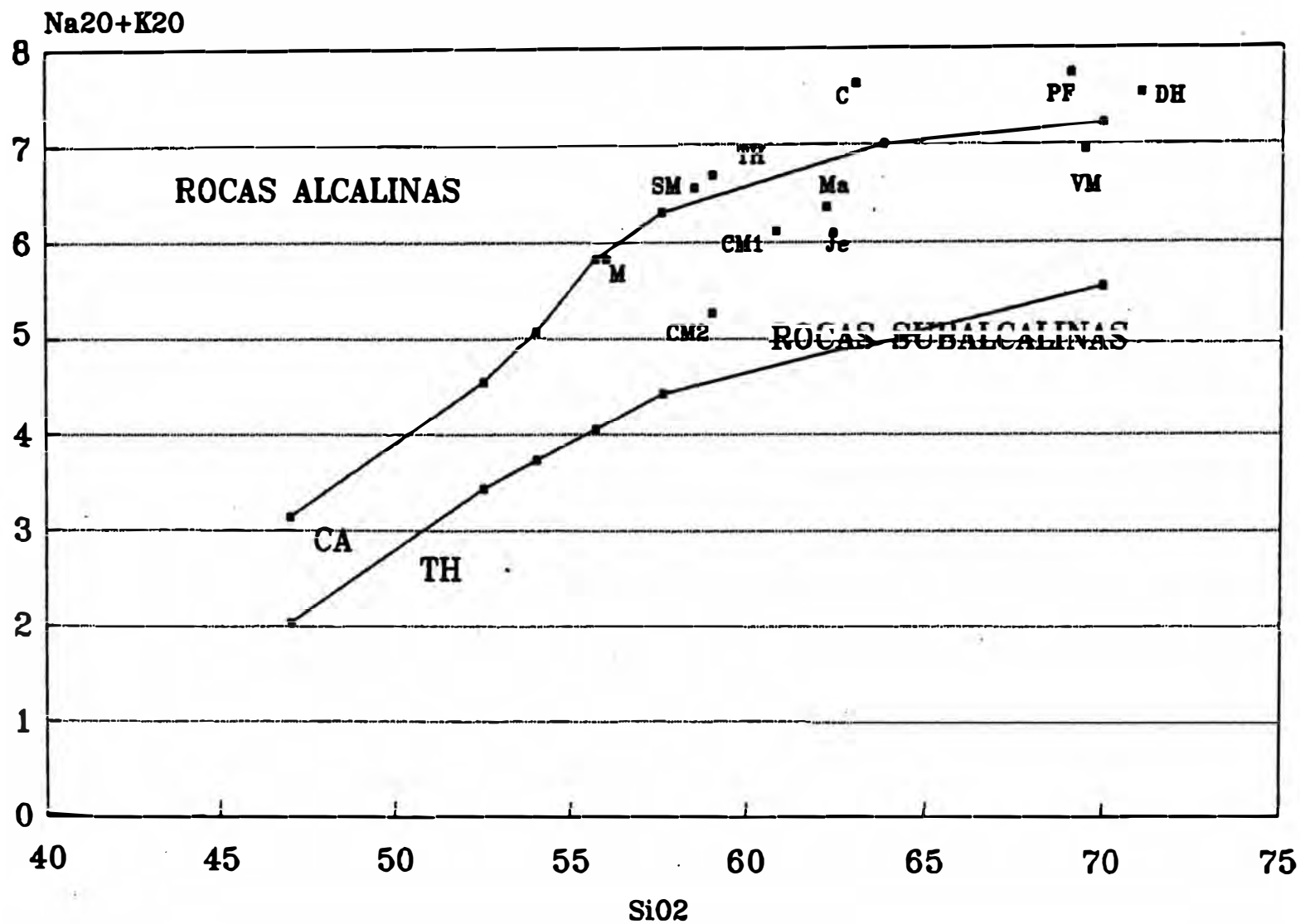
CA = Dominio de la serie Calcálcica

KUNO (1968)

FIG. XI. DIAGRAMA AFM

CLASIFICACION DEL MAGMA

Según diagrama (Na₂O+K₂O) vs SiO₂

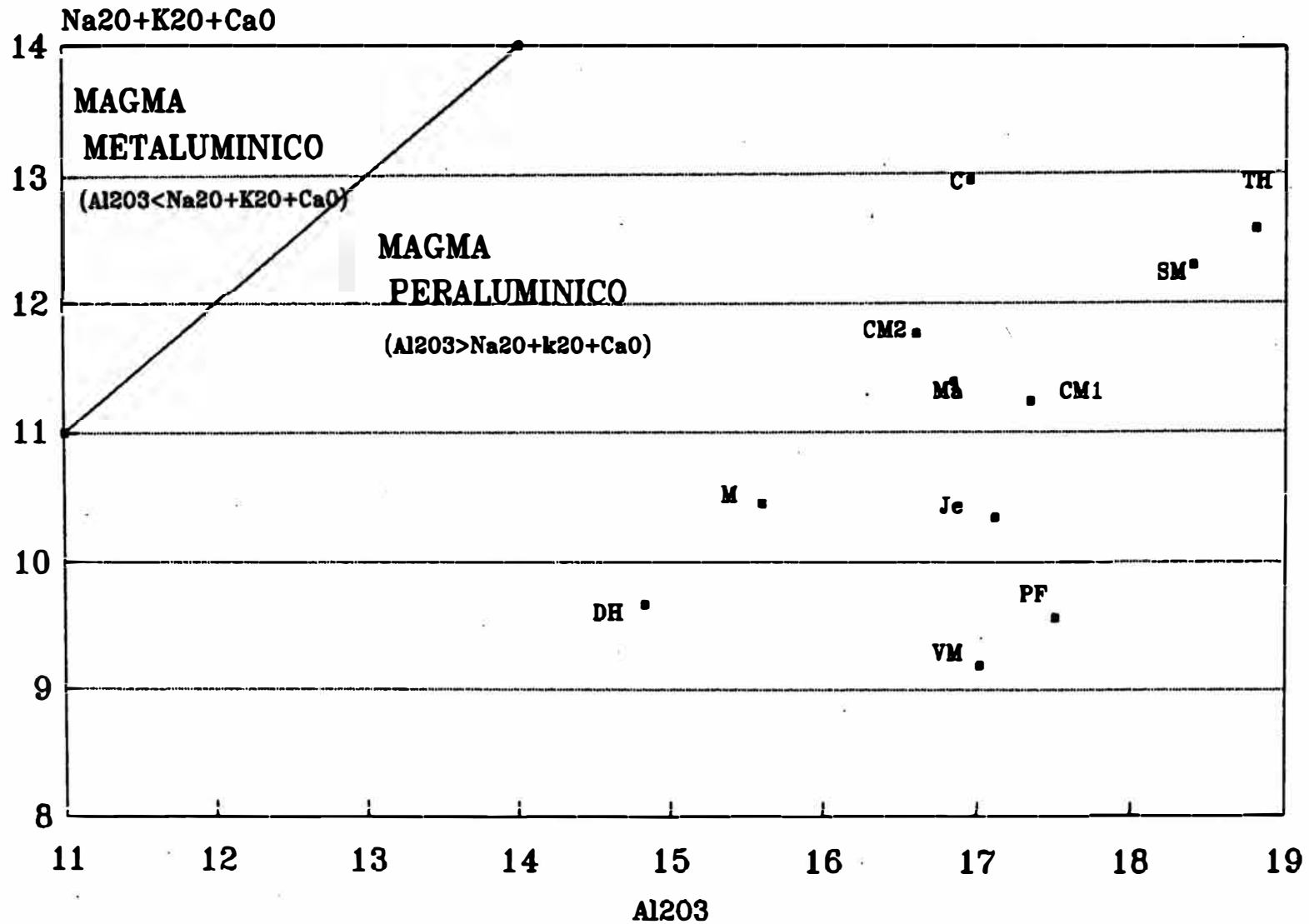


Kuno (1968).

FIG. XII

CLASIFICACION DEL MAGMA

Según diagrama (Na₂O+K₂O+CaO) vs Al₂O₃

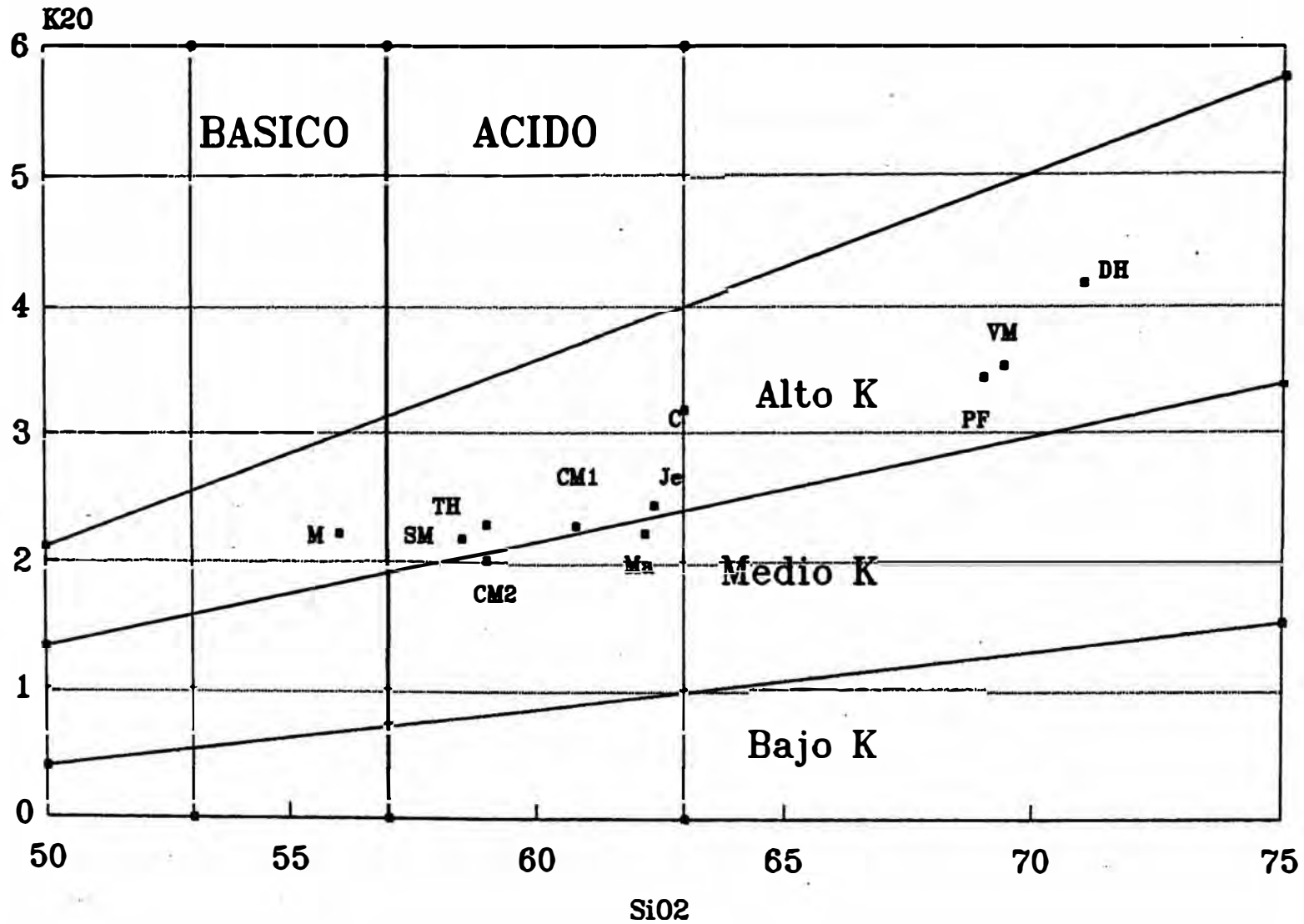


Shand (1947).

Al₂O₃
FIG. XIII

CLASIFICACION DEL MAGMA.

Según diagrama K2O vs SiO2

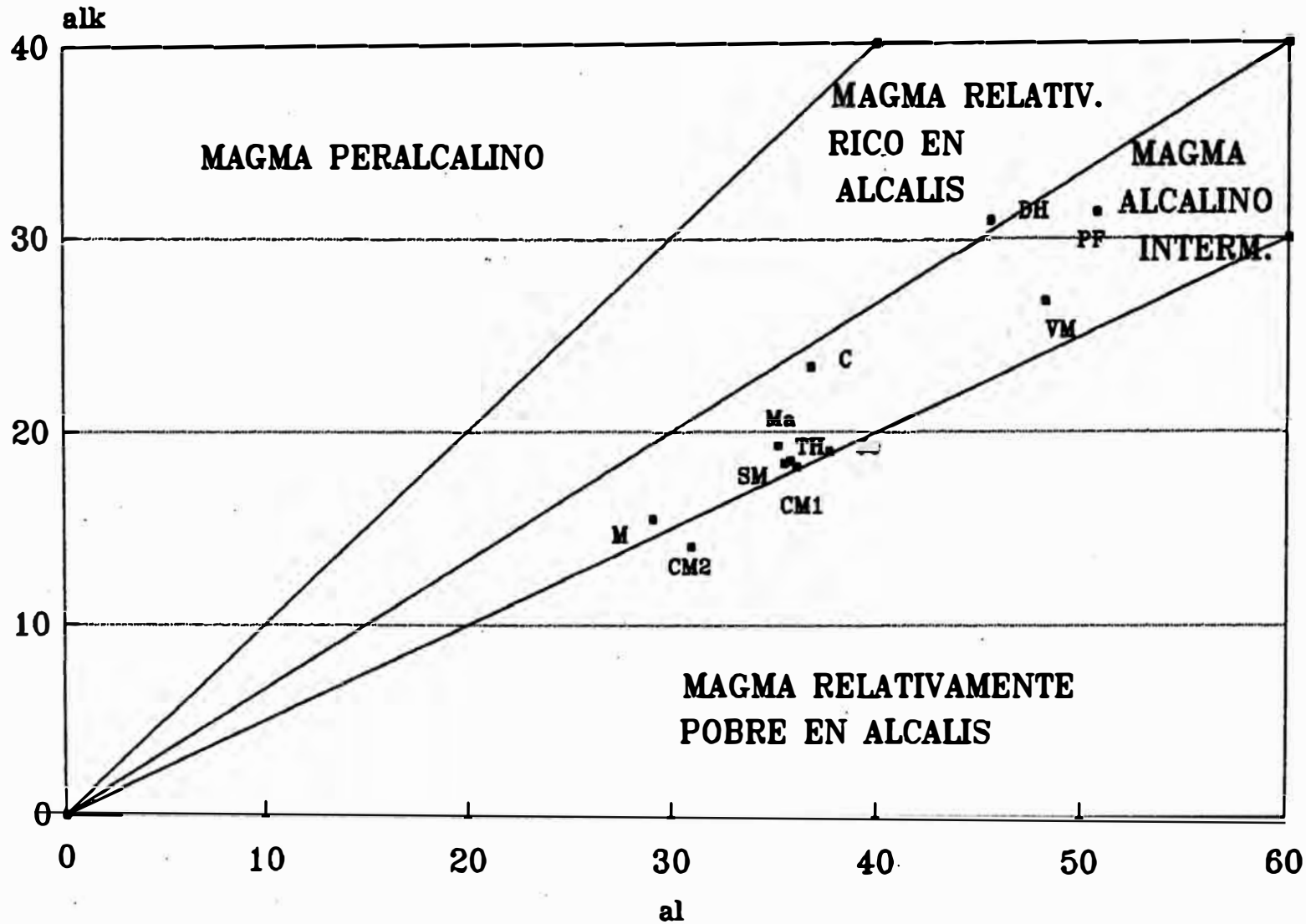


Kuno (1968).

FIG. XIV

CLASIFICACION DEL MAGMA.

Según diagrama alk/al

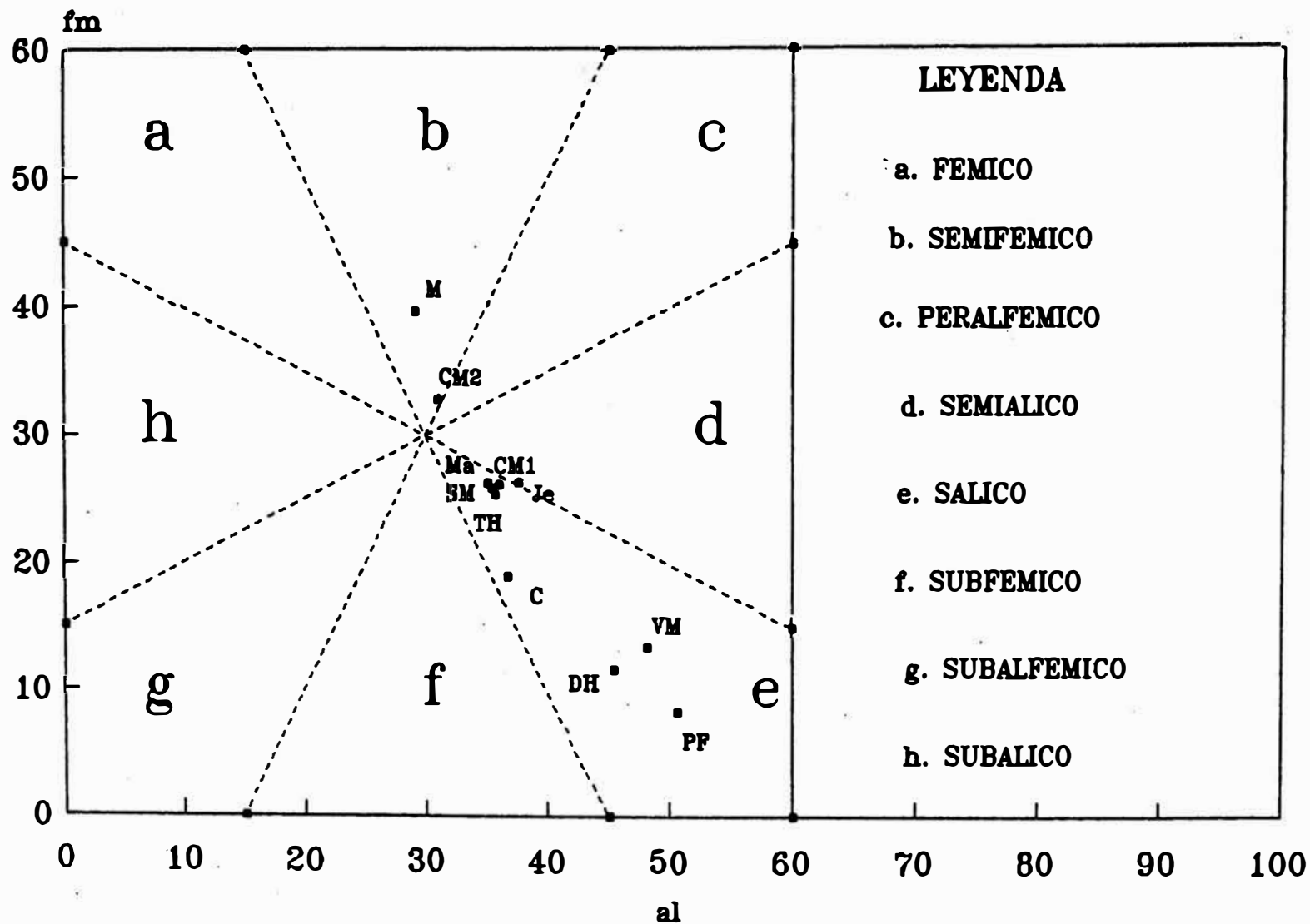


Niggli & Burri (1945).

FIG. XV

CLASIFICACION DEL MAGMA

Según diagrama fm/al



Niggli & Burri (1945).

FIG. XVI

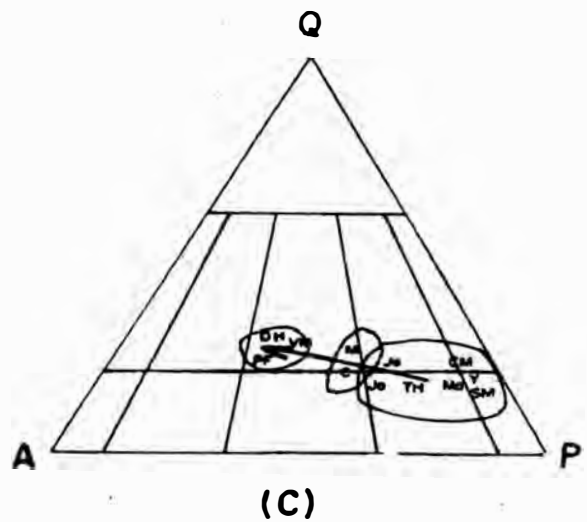
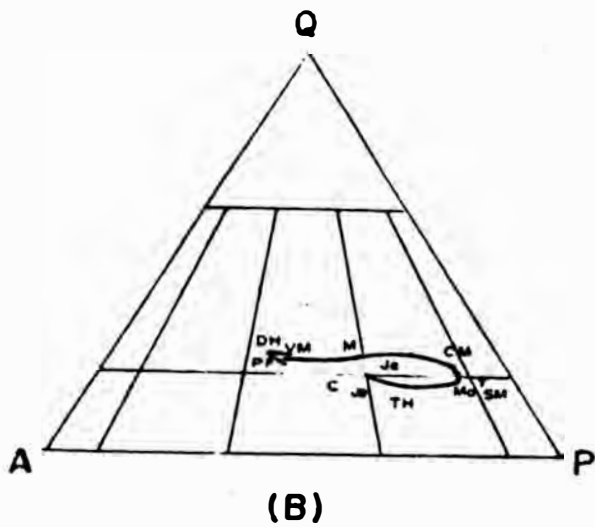
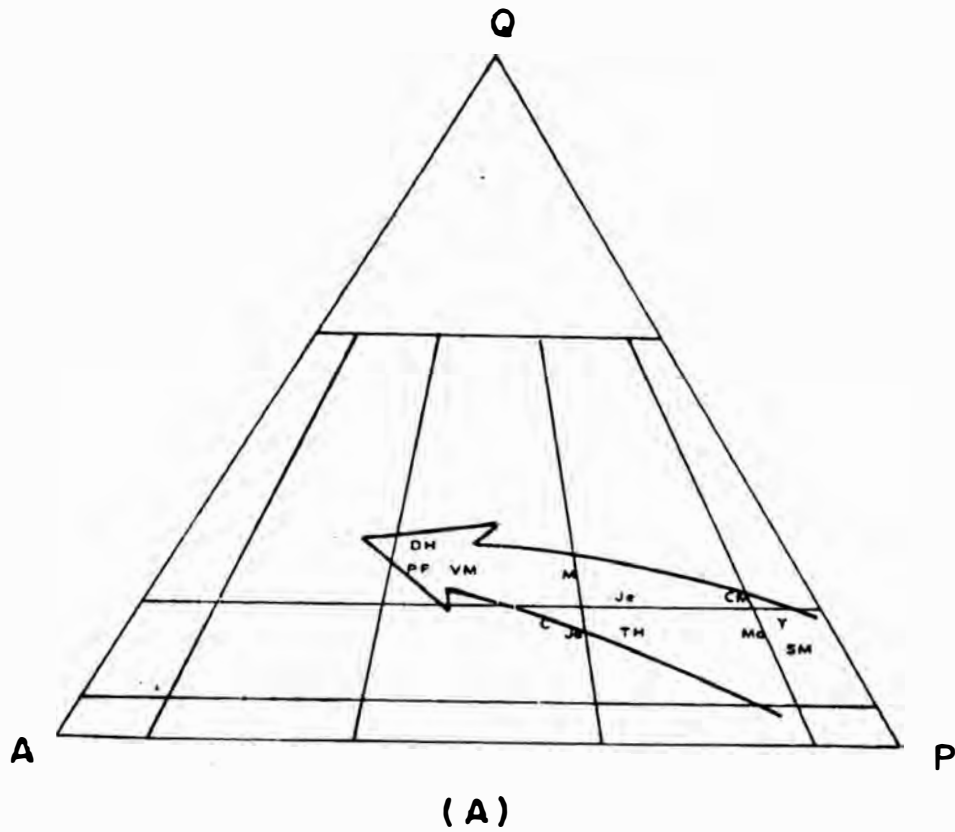


FIG. XVII DIAGRAMAS AQP MOSTRANDO LA COMPOSICION DE LAS DIFERENTES UNIDADES IGNEAS Y (A) LA TENDENCIA GENERAL DE LA DIFERENCIACION, (B) EL ORDEN CRONOLOGICO DE FORMACION Y (C) UNA SECUENCIA DE FORMACION GENERALIZADA: INTRUSIVOS - SILLS - VOLCANICOS.

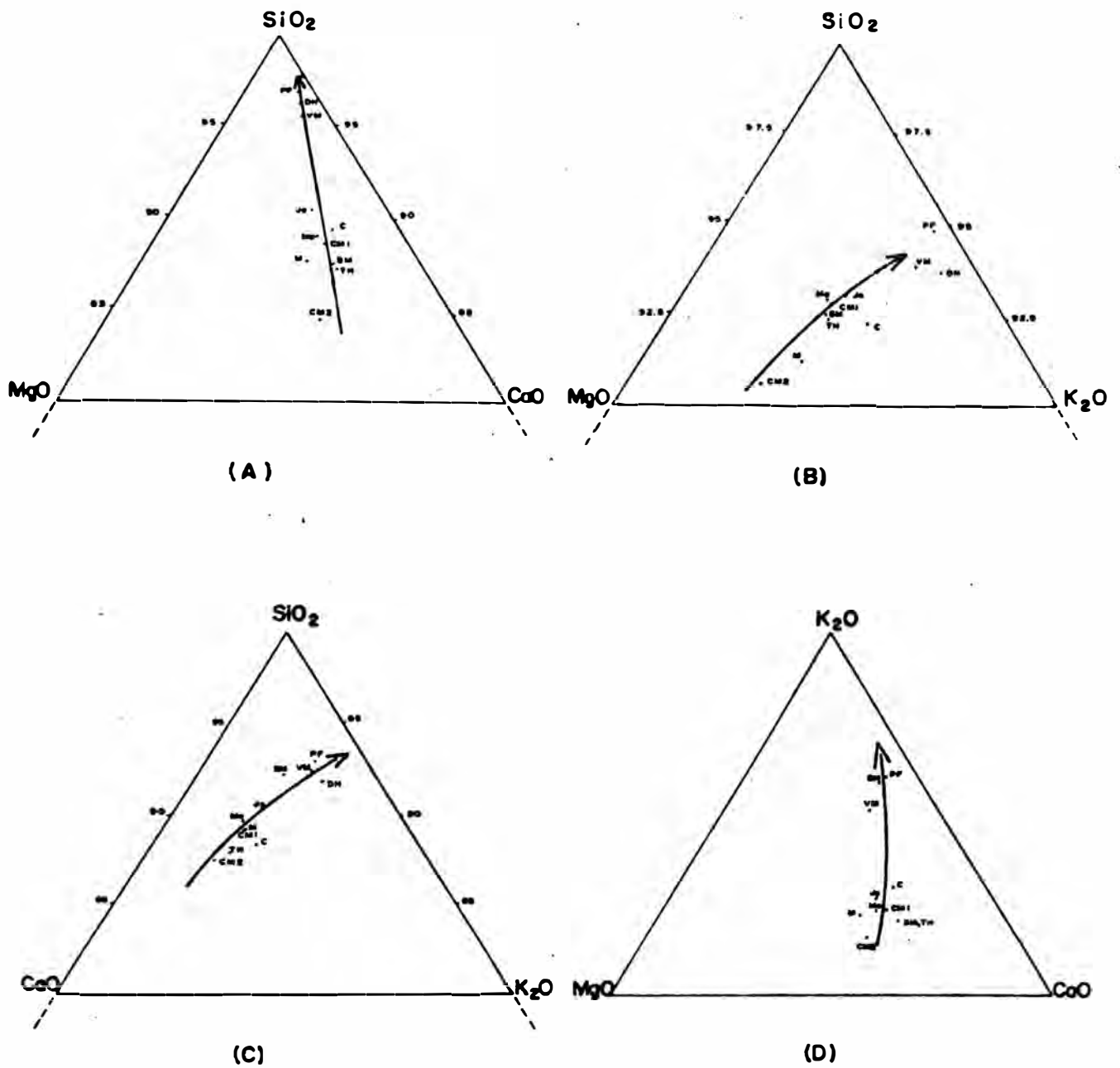


FIG. XVIII. DIAGRAMA TRIANGULARES MOSTRANDO LAS RELACIONES ENTRE OXIDOS CON ALTA CORRELACION. SE INDICA ADEMAS LA TENDENCIA DE DIFERENCIACION.

VARIACION DE LOS PARAMETROS DE NIGGLI. (al,alk,c,fm) vs si

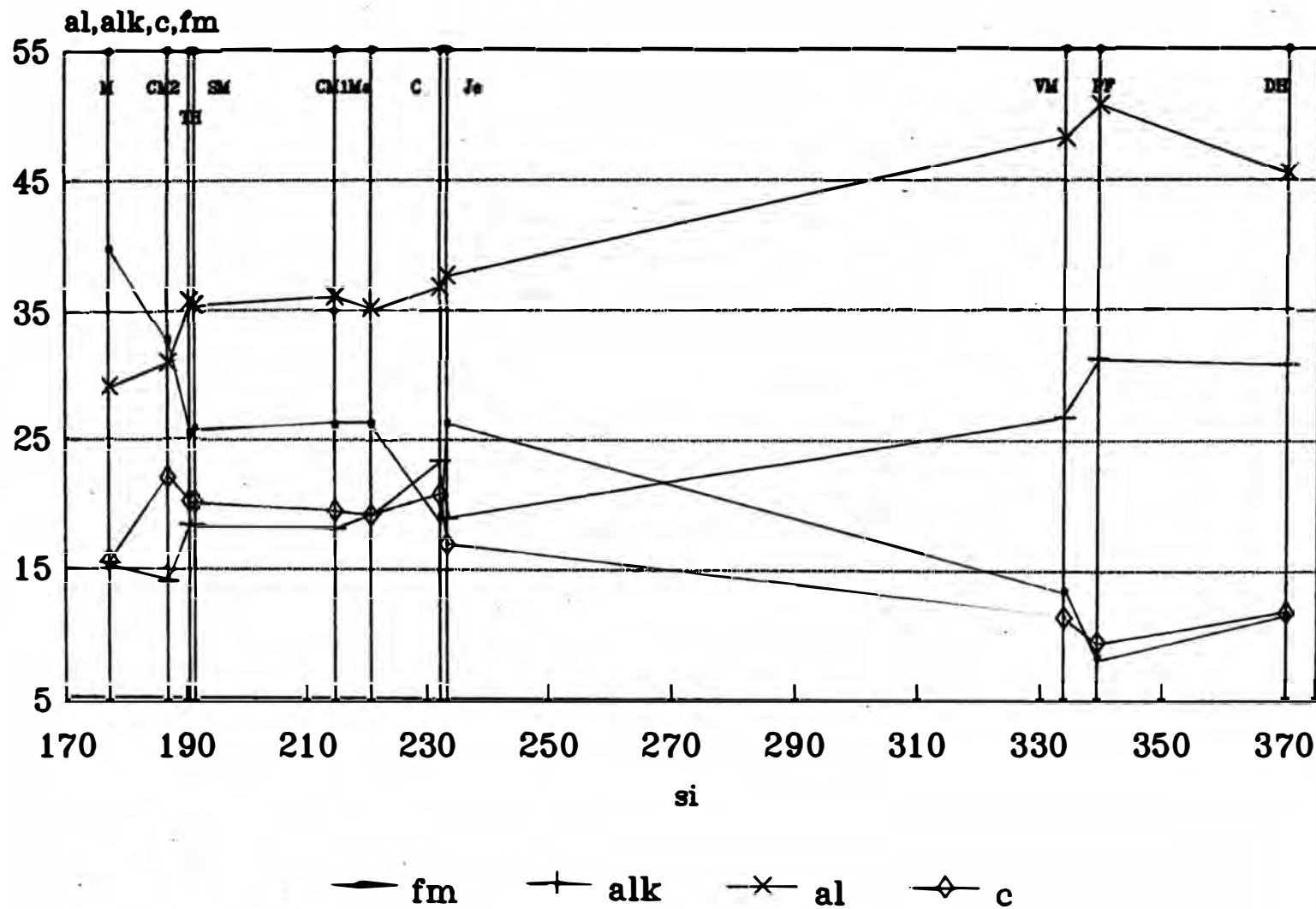


FIG. XIX

Variación del cociente (Na₂O/K₂O)
durante la diferenciación magmática

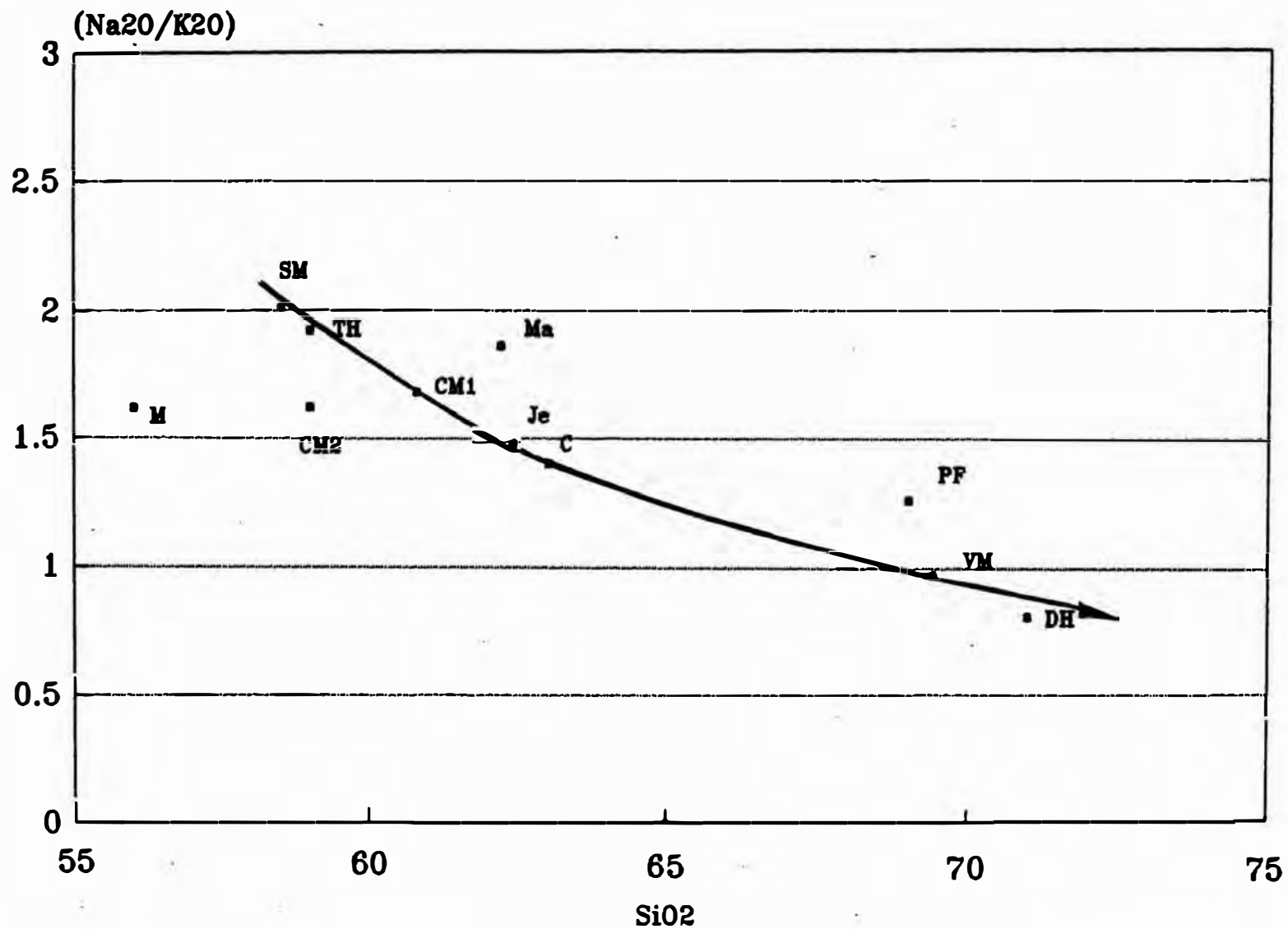


FIG. XX

6. CONCLUSIONES.

- Las unidades ígneas de Hualgayoc son de facies hipoabisales subvolcánicas y de facies volcánicas extrusivas.
- Las composiciones varían entre cuarzo diorita y riodacita.
- Se puede agrupar a las diferentes unidades en función de sus composiciones, reconociéndose los siguientes grupos: a) unidades básicas a intermedias (intrusivo San Miguel, intrusivo Coymolache, sill Yanacancha, stock del cerro María); b) unidades intermedias a ligeramente ácidas (intrusivo Tanta Huatay, parte del intrusivo San Miguel, intrusivo Hualgayoc, sills del cañón del río Hualgayoc); c) unidades ácidas (volcánicos del cerro Palo de Fierro, domo Hualgayoc y derrames volcánicos asociados).
- Las unidades ígneas de naturaleza intermedia a ligeramente ácida tienen relación genética con la mineralización.
- No se puede establecer una buena relación entre el orden de emplazamiento de los intrusivos con la evolución básica a ácida de la diferenciación, debido probablemente a la corta diferencia de edad entre los intrusivos y al hecho que la asimilación de la roca encajonante afectó de forma distinta la composición de cada unidad.
- Si agrupamos a las distintas unidades en tres grupos

(intrusivos, sills y volcánicos), veremos que de esta forma el orden de emplazamiento es perfectamente relacionable con la evolución básico a ácido de la diferenciación.

- El magma que dió origen a las unidades ígneas de Hualgayoc es de carácter calcoalcalino con un contenido de alúmina y álcalis relativamente alto.
- La diferenciación evoluciona en la dirección de un enriquecimiento en potasio y un decremento en calcio y magnesio.
- Las rocas volcánicas son mucho más diferenciadas que las otras unidades ígneas.
- El sill Mercedes y el brazo occidental del intrusivo Coymolache muestran características químicas distintas, que se podrían explicar considerando un proceso de asimilación de las respectivas rocas encajonantes.

7. RECOMENDACIONES.

- Realizar más estudios petrográficos del intrusivo Tanta Huatay y del intrusivo San Miguel para definir mejor las variaciones de su composición.
- Estudiar con más detalle los contactos norte y occidental del intrusivo Tanta Huatay con los volcánicos Calipuy.
- Muestrear los volcánicos Calipuy para realizar la investigación de su composición química y así poder encuadrarlos en la caracterización geoquímica presentada en este trabajo.
- Se debe tener mucha atención con los intrusivos de naturaleza intermedia a ligeramente ácida, ya que está demostrado su filiación espacial y probablemente genética con varios tipos de yacimientos. En particular, explorar cuidadosamente los contactos del intrusivo Tanta Huatay y del intrusivo Hualgayoc con las calizas.
- Delimitar mejor la morfología del stock del cerro María. De tratarse de un apófisis del cerro Jesús, en profundidad podría estar relacionado con yacimientos tipo skarn.
- Aprovechar los afloramientos de roca ígnea como fuente de material de construcción; sin embargo, los afloramientos calcáreos son los mas empleados para la

construcción de carreteras, fundamentalmente debido a su dureza relativamente menor y al hecho del buzamiento alto de los horizontes calcáreos, lo cual permite obtener taludes estables; la única desventaja radica en su relativamente buena solubilidad, la cual es aún mayor con el contenido de lutitas en ciertos horizontes. Esto plantea la necesidad de un mantenimiento constante de las carreteras.

Otra de las particularidades de la fisiografía de la zona, es la presencia de sistemas actuales de carstificación (por ejemplo la pampa de Quilcate), lo cual debe tenerse en cuenta en la planificación de cualquier tipo de construcción. Para la edificación de represas, plantas, cajas de fuerza u otras instalaciones especiales, es recomendable elegir afloramientos de intrusivos, especialmente los de rocas de composición básica a intermedia; mientras que los de rocas volcánicas, como los de la formación Huambos, son los menos recomendables.

REFERENCIAS.

- BARTH, T. (1962) Theoretical Petrology.- 2nd ed., John Wiley & Sons, New York; 416 p.
- BORREDON, R. (1982) Etude geologique et metallogénique du district minier de Hualgayoc (Perou Septentrional) a plomb-zinc-cuivre-argent.- Thèse Dr. 3^{er} Cycle, Univ. Paris; 287 p.
- CANCHAYA, S. (1976) Plano geológico de la región minera de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. Escala 1/25000. No publicado.
- CANCHAYA, S. (1980) Estudio geológico económico de la mina Bella Unión, Hualgayoc.- Inf. Priv. Bella Unión Minas S.A.; 74 p.
- CANCHAYA, S. et al. (1990) Estudio Geológico del Distrito Minero de Hualgayoc, Cajamarca.- Prom. Ing. Geol. UNI-1987; 100 p.
- ERICKSEN, G., IBERICO, M. y PETERSEN, U. (1956) Geología del Distrito Minero de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca.- Min. Fomento y Obras Públicas. Inst. Nac. de Investigación y Fomento Mineros, bol. 16; 99 p.
- HOLLISTER, V. y SIRVAS, E. (1979) La formación Calipuy del Norte del Perú.- Bol. Soc. Geol. Perú, 64: 1-15.
- HUDSON, C., CABOS, R. y CUADROS, P. (1980) Minas Punto

- Victoria Seis y Cañón Hualgayoc.- Inf. Int. geol.
Bella Unión Minas S.A., Tecnominas S.R.L.
- HUTCHISON, C. & JEACOCKE, J. (1971) FORTRAN IV Computer programme for calculation of the Niggli Molecular Norm.- Bull. Geol. Soc. Malasia, 4: 91-95.
- JANJOU, D. (1981) Données géologiques pour un modèle d'évolution des Andes nord-peruviennes entre 5°S et 7°S. Les écailles du Marañon, le district minier de Hualgayoc et la région de Jaen - Cutervo.- Thèse Dr. 3^{or} Cycle, Univ. Paris; 170 p.
- KUNO, H. (1968) Differentiation of basaltic magma.- In Hess H.H. et Roldervaart A., édit., Basalts, 2: 623-688. Interscience Publ. New York.
- MACFARLANE, A. (1988) Isótopos de Plomo en el Distrito Minero de Hualgayoc.- An. VI Cong. Geol. Perú, Bol. Soc.Geol. Perú, 78: 81-86.
- MACFARLANE, A. (1989) Lead, sulfur and strontium isotopes in the Hualgayoc area, Perú and lead isotope provinces of the central Andes: Unpub. Ph. D. thesis, Harvard Univ.; 395 p.
- MASON, B. (1966) Principles of Geochemistry.- third edit, John Wiley & Sons, New York; 329 p.
- NIGGLI, P. & BURRI, C. (1945) Die jungen Eruptivgesteine des Mediterranen Orogens I.- Vulkaninstitut Immanuel Friedlaender, Zürich.
- PAREDES, J. (1979) Estudio Geológico del Distrito Minero de Hualgayoc.- Inf. Priv. B.R.G.M.
- PAREDES, J. (1982) Los yacimientos tipo Hualgayoc del

- sector Norandino.- Rep. B.R.G.M.
- SHAND, S. (1947) Eruptive Rocks.- 3ª ed., John Wiley & Sons, New York.
- SMIRNOV, V. (1982) Geología de Yacimientos Minerales.- Ed.MIR; 654 p.
- STRECKEISEN, A. (1967) Classification and nomenclature of igneous rocks.- Neues Jb. Miner. Abh., 107: 144-240.
- STEWART, J., EVERENDEN, J. & SNELLING, N. (1974) Age determinations from Peru and their significance.- Geol. Soc. America, Bull. 85, pp 1107-1116.
- TUMIALAN, P., DUNIN, E. y VAIZ, L. (1975) Controles de mineralización de la veta Paccha. Hualgayoc - Cajamarca.- An. XIII Conv. Ing. Minas, Arequipa; 9 p.
- TUMIALAN, P. y NÚÑEZ, F. (1989) Oro en Los Mantos del Distrito Minero de Hualgayoc (Cajamarca).- An. VI Cong. Geol. Perú, Bol. Soc. Geol. Perú, 79: 33-40.
- VIDAL, C. (1982) Estudio Petrográfico de la alteración hidrotermal en el Distrito Minero de Hualgayoc.- Inf. Priv. B.I.S.A. para Cía. Minera Colquirrumi; 24 p.
- VIDAL, C. y CABOS, R. (1983) Zoneamiento Regional de las alteraciones y menas hidrotermales en Hualgayoc - Cajamarca.- Bol. Soc. Geol. Perú, 71: 117-123.

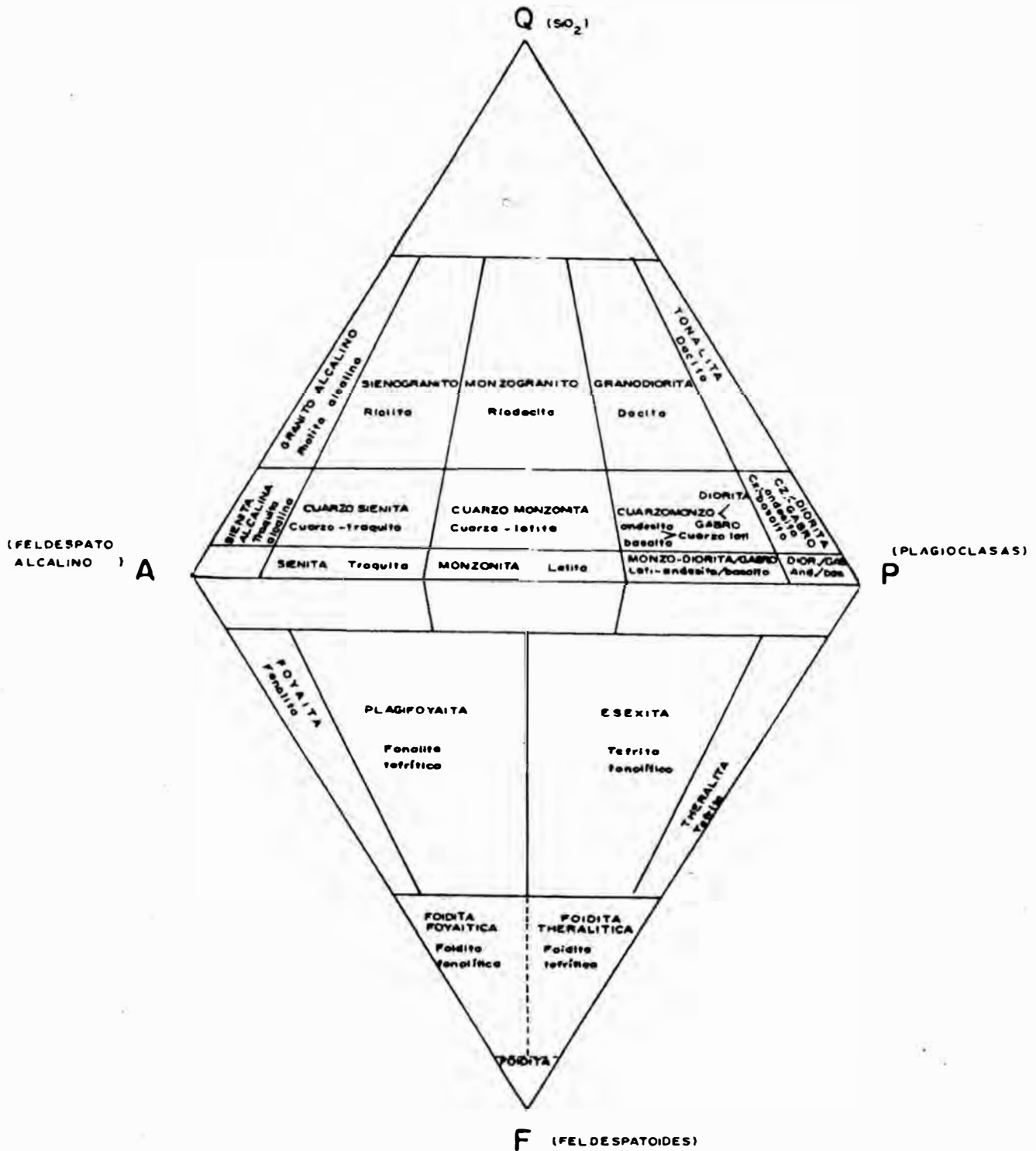
ANEXOS

ABREVIATURAS DE GRUPOS MINERALOGICOS

ANFIBOLES	ANFs	MICAS	MCs
ARCILLAS	ARCs	MINERALES OPACOS	OPs
CARBONATOS	CBs	OXIDOS	OXs
CLORITAS	CLOs	PLAGIOCLASAS	PGLs
COBRES GRISES	CGRs	PIROXENOS	PXs
FELDESPATOS POTASICOS	FPKs	SULFATOS	SFTs
GRANATES	GRNs	SULFOSALES	SFSs
LIMONITAS	LIMs	SULFUROS	SULs

ABREVIATURAS DE ESPECIES MINERALES

Albita	ab	Esfena	efn
Alunita	al	Hematita	hm
Andesina	and	Hornblenda	hor
Anortita	an	Ilmenita	il
Apatito	ap	Leucoxeno	lcx
Arsenopirita	apy	Magnetita	mt
Baritina	bar	Marcasita	mc
Biotita	bt	Muscovita	mus
Calcita	cac	Ortosa	ort
Calcopirita	cp	Pennina	pnn
Caolinita	kao	Pirita	py
Circón	zir	Pirofilita	prf
Covelita	cv	Pirrotita	po
Cuarzo	cz	Rutilo	rt
Diópsido	dp	Sanidina	san
Enargita	en	Sericita	ser
Epídota	ep	Vidrio	vd
Esfalerita	ef		



ANEXO 2. DIAGRAMA AQPF PARA CLASIFICACION DE ROCAS IGNEAS CON M < 90%

STRECKEISEN (1967)

Recomendado por la I.U.G.S. (Montreal 1972)

PROCEDIMIENTO PARA HALLAR LOS PORCENTAJES DE Fe_2O_3 Y FeO
A PARTIR DEL ANALISIS MODAL Y CONOCIENDO EL PORCENTAJE
DE FIERRO TOTAL

1. Expresar las fórmulas de los minerales férricos y ferrosos como combinaciones de óxidos. Asumir que los minerales que forman series férrico-alumínicas son 100% férricas y los minerales que forman series ferroso-magnesianas son 100% ferrosas.
2. Pasar los porcentajes en volumen del análisis modal a porcentajes en peso.
3. Dividir el porcentaje en peso entre el peso molecular del respectivo mineral, para determinar así la unidad de peso de ese mineral.
4. Multiplicar la unidad de peso de cada mineral por el peso molecular del Fe_2O_3 y por el coeficiente estequiométrico de ese óxido en la fórmula del mineral; determinando así el porcentaje parcial de Fe_2O_3 por mineral.
5. Repetir el paso 4 para el FeO .
6. Sumar los parciales de Fe_2O_3 y los parciales de FeO y comparar esta suma con el fierro total del análisis químico. Las diferencias nos servirán para corregir las fórmulas en las que haya series isomórficas.
7. Luego de hacer las correcciones pertinentes, repartir el fierro total del análisis químico proporcionalmente a los parciales de Fe_2O_3 y FeO .

METODO PARA CALCULAR LOS PARAMETROS DE NIGGLI

1. Determinar las proporciones catiónicas de cada óxido, dividiendo su porcentaje en peso entre el peso molecular respectivo (para una explicación detallada, ver BARTH 1962 y HUTCHISON & JEACOCKE 1971).
2. Las siguientes fórmulas para hallar los parámetros de Niggli están en función de las proporciones catiónicas calculadas en el paso 1.

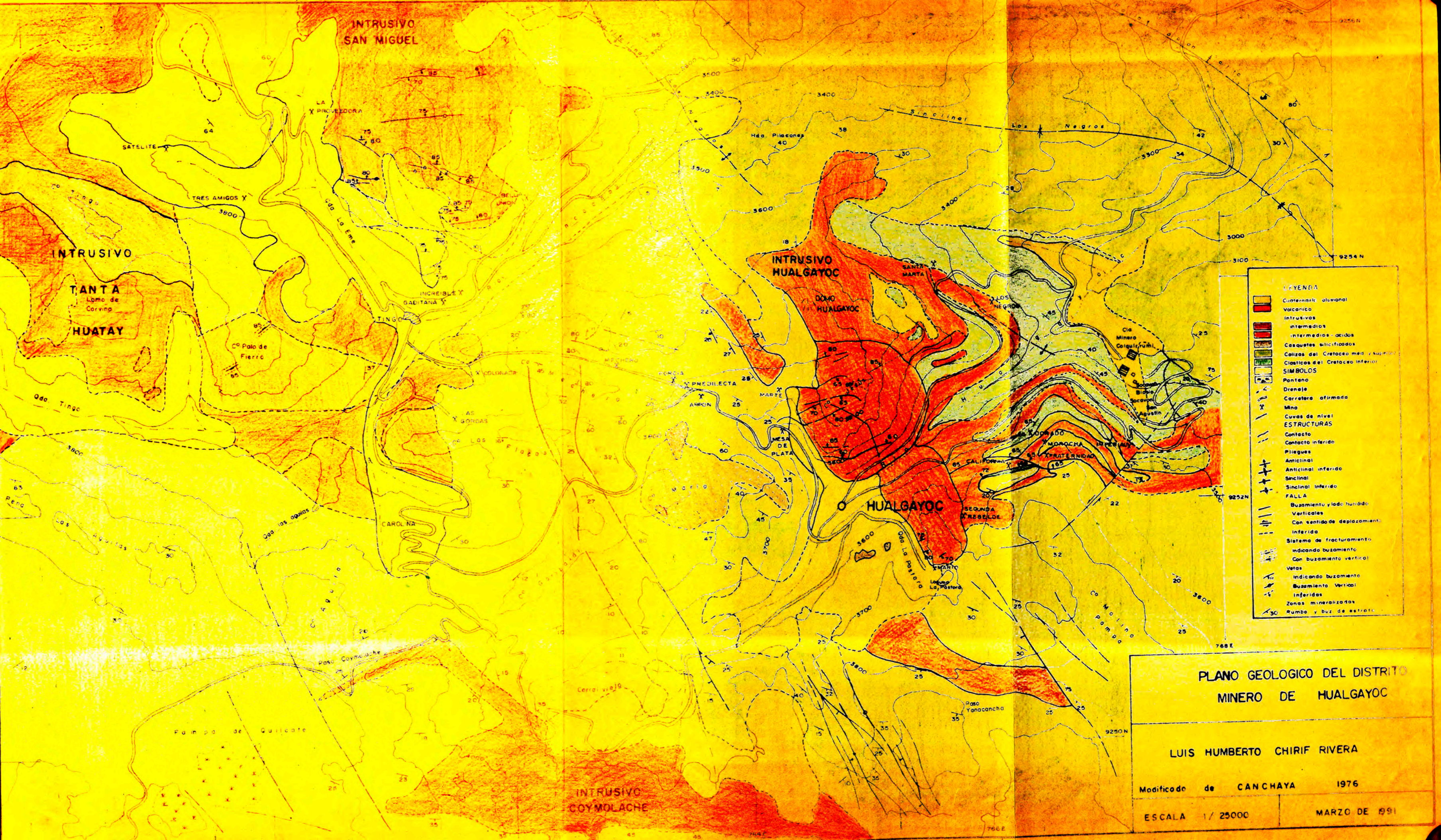
$$al = \frac{Al_2O_3 \times 100}{Al_2O_3 + FeO + MgO + 2Fe_2O_3 + CaO + K_2O + Na_2O}$$

$$fm = \frac{(FeO + MgO + 2Fe_2O_3) \times 100}{Al_2O_3 + FeO + MgO + 2Fe_2O_3 + CaO + K_2O + Na_2O}$$

$$c = \frac{CaO \times 100}{Al_2O_3 + FeO + MgO + 2Fe_2O_3 + CaO + K_2O + Na_2O}$$

$$alk = \frac{(Na_2O + K_2O) \times 100}{Al_2O_3 + FeO + MgO + 2Fe_2O_3 + CaO + K_2O + Na_2O}$$

$$si = \frac{SiO_2 \times 100}{Al_2O_3 + FeO + MgO + 2Fe_2O_3 + CaO + K_2O + Na_2O}$$



INTRUSIVO
SAN MIGUEL

INTRUSIVO

TANTA
Loma de
Corving
HUATAY

INTRUSIVO
HUALGAYOC

DOMO
HUALGAYOC

HUALGAYOC

INTRUSIVO
COYMOLACHE

LEYENDA

- Cuaternario aluvial
- Volcanico
- Intrusivos
- intermedios
- intermedios-acidos
- Casquetes silicificados
- Calizas del Cretaceo medio superior
- Clasticos del Cretaceo inferior

SIMBOLOS

- Pantano
- Drenaje
- Carretera afirmada
- Mina
- Cuvas de nivel

ESTRUCTURAS

- Contacto
- Contacto inferior
- Pliegues
- Anticlinal
- Anticlinal inferido
- Sinclinal
- Sinclinal inferido
- FALLA
- Buzamiento y lado hundido
- Verticales
- Con sentido de desplazamiento
- inferida
- Sistema de fracturamiento
- indicando buzamiento
- Con buzamiento vertical
- Vetas
- indicando buzamiento
- Buzamiento Vertical
- Inferidas
- Zonas mineralizadas
- Rumbo y buz de estrati

**PLANO GEOLOGICO DEL DISTRITO
MINERO DE HUALGAYOC**

LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA

Modificado de CANCHAYA 1976

ESCALA 1/ 25000

MARZO DE 1991