



ESTUDIO DE CORRELACION DE LOS PORFIDOS



DE COBRE DEL SUR DEL PERU:

EDADES RADIOMETRICAS DE LOS PRINCIPALES EVENTOS

GEOLOGICOS DE LOS PORFIDOS DEL SUR DEL PERU .

Por: F. Estrada Ch.

1978

INDICE

RESUMEN

I INTRODUCCION

II METODO ISOTOPICO

III MINERALES UTILIZADOS

IV MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y LOCAL

- Cerro Verde

Muestras datadas y discusión

- Quellaveco

Muestras datada y discusión

- Toquepala

Muestras datadas y discusión

V DATACION DE ROCAS VOLCANICAS DEL GRUPO TOQUEPALA

VI DATACION DE LAS ROCAS POSTERIORES AL EMPLAZAMIENTO DE LA FASE INTRUSIVA E HIDROTHERMAL HIPOGENA.

VII EDAD DEL ENRIQUECIMIENTO SUPERGENICO

VIII CONCLUSIONES

IX BIBLIOGRAFIA.

EDADES RADIOMETRICAS DE LOS PRINCIPALES EVENTOS
GEOLOGICOS DE LOS PORFIDOS DEL SUR DEL PERU

■ F. Estrada

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra, discute y correlaciona los resultados de los primeros análisis radiométricos efectuados en minerales primarios y secundarios pertenecientes a rocas asociadas a los principales eventos y procesos geológicos de los pórfidos de cobre del Sur (Cerro Verde, Cuajone, Quellaveco, Toquepala).

Los resultados obtenidos indican valores que están agrupados en un rango de 54 a 58 millones de años. Se postula que este rango representa la época que tuvo lugar el emplazamiento y procesos de alteración y mineralización hipógena de los pórfidos del Sur del Perú.

Las rocas volcánicas del grupo Toquepala datadas por el método Rb/Sr arrojan una edad de 69.4 millones de años.

Las rocas volcánicas emplazadas después de los eventos alteración, mineralización hipógena de Cobre Molibdeno, datadas por el método K-Ar reportan edades que se agrupan en dos rangos uno del 17-25 millones de años (Oligoceno Superior Mioceno Inferior) u otro de 8-14 millones de años (Mioceno medio). Un miembro de la formación Huaylillas datado por el método Rb/Sr reporta 12.5 millones de años.

I. INTRODUCCION

Por intermedio de este trabajo se presenta los datos radiométricos K-Ar efectuados en los pórfidos de cobre del Sur del Perú desde 1967 hasta 1978. La mayoría de las muestras de las edades correspondientes a los eventos geológicos relacionados a los procesos de alteración-mineralización hipógena de estos yacimientos han sido tomados por el autor después de detallados estudios de campo y laboratorio.

Se han obtenido otros datos radiométricos K-Ar de los mismos eventos mencionados, de los trabajos realizados por P.E.Damon, B.N.Watson, A.W.Laughlin (1967); y de Sandra McBride (1977).

Richard Tosdal (1978) en sus tesis reporta edades K-Ar posteriores a la edad de los procesos alteración mineralización hipógena.

D.E.James, C.Brooks y A.Cuyubamba han efectuado dataciones radiométricas por el método Rb/Sr en las rocas volcánicas del grupo Toquepala de edad anterior a la edad de mineralización, así mismo, efectuaron dataciones en nuestras de la formación Huaylillas.

II METODO ISOTOPICO

Para las determinaciones radiométricas del autor se ha utilizado el método K-Ar. Este método está basado en la variación natural de un isótopo radiactivo en relación a formas estables, en este caso se trata del isótopo Ar 40 como elemento inestable con relación al K-40 en forma estable. Los análisis han sido efectuados por Geochron Laboratories en Cambridge, Massachusetts, USA. Asimismo, los datos tomados en P.E.Dawson, B.N.Watson, A.W.Laughlin (1967), Sandra McBride (1977) y Richard Tosdal (1978), han sido determinados por el método K-Ar.

El método Rb/Sr ha sido utilizado por D.E.James, C.Brooks y A. Cuyubamba para datar las rocas volcánicas del grupo Toquepala y los volcánicos Huaylillas.

III. MINERALES UTILIZADOS

Para la datación radiométrica se han utilizado los siguientes tipos de minerales:

- Minerales secundarios: (biotita, sericita) asociados al proceso de alteración-mineralización hipógena.
- Minerales primarios: (biotita, faldespato) de las principales rocas del marco local y regional.

IV. MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y LOCAL

Los pórfidos de cobre del Sur del Perú están ubicados en un marco geológico de rocas albergantes del precámbrico y mesozoicas en la zona de Cerro Verde (Arequipa) y rocas volcánicas del grupo Toquepala en la zona de Cuajone, Quellaveco y Toquepala. Estas rocas han sido intruidas por cuerpos batolíticos y stocks de composición granodiorítica y dacítica, los cuales están asociados a los procesos hidrotermales hipógenos de alteración mineralización.

En el área de Cerro Verde las rocas ígneas son de ambiente predominante plutónico, excepto las zonas correspondientes a los stocks y brechas que pertenecen a un ambiente sub-volcánico y volcánico. Hacia el sur se aprecia la predominancia del ambiente subvolcánico y volcánico; el yacimiento que muestra más claramente esta característica es Toquepala.

CERRO VERDE

En el área de Cerro Verde el Gneis precámbrico es la roca basal del área y de la región sur del Perú, sobre esta ro-

ca y mediante superficie de erosión están los conglomerados y brechas Tinajones de edad pre-jurásico inferior. Sobre esta roca y en discordancia yace una secuencia de flujos y brechas volcánicas andesíticas intercaladas con algunos horizontes sedimentarios principalmente de calizas correspondientes a la formación chocolate.

Una secuencia de calizas de la formación Socosani de edad Jurásico medio, sobreyace a la formación Chocolate, areniscas, cuarcitas, lutitas y calizas de un miembro del grupo Yura de edad Jurásico superior, que constituye la última formación mesozoica que aflora en el área de Cerro Verde.

La anterior secuencia es intruida por diques, plutones y stocks de composiciones que varían de diorítica a granítica. Los cuerpos de brecha y los procesos de alteración mineralización hipógena están asociados al emplazamiento de los stocks de pórfido dacítico monzonítico cuarcífero.

MUESTRAS DATADAS Y DISCUSION

Para la datación radiométrica se ha tomado muestras de las rocas asociadas a los procesos de emplazamiento de los cuerpos ígneos y deposición de la mineralización hipógena.

Se ha datado una muestra de la granodiorita Yarabamba que arroja una edad de 58.9 ± 2.0 millones de años que concuerda con las relaciones de campo. Una muestra de la granodiorita Tiabaya reporta 56.8 ± 2.0 millones de años igualmente concordante con las relaciones de campo. Ambas granodioritas están muy asociadas a los procesos de mineralización hipógena de Cerro Verde.

La edad obtenida de la biotita de una muestra del pórfido dacítico es de 58.3 ± 2.4 millones de años. A esta roca está asociado mayormente los procesos de alteración mine-

realización hipógena de Cerro Verde.

De la zona de alteración potásica se ha tomado una muestra de testigo de perforación que contiene abundante biotita secundaria asociada a sulfuros de cobre y hierro que en el presente trabajo se le denomina roca "M". La edad obtenida de esta muestra es de 56.9 ± 1.9 millones de años y se considera la edad de uno de los principales eventos de mineralización hipógena.

En el Cuadro Nº1 se muestran los datos analíticos de las muestras datadas.

En el cuadro que muestra las relaciones de composición y textura de las rocas ígneas de Cerro Verde y Sta. Rosa se puede observar de que a las rocas de composición más ácido le corresponde una menor edad.

CUADRO Nº 1

ROCA	MINERAL	Edad M.A.
Granodiorita	biotita	58.9 ± 2.0
Yarabamba		
Granodiorita	biotita	56.8 ± 2.0
Tiabaya		
Pórfido		
dacítico	biotita	58.3 ± 2.4
Roca "M"	biotita	56.9 ± 1.9

QUELLAVECO

En el yacimiento de Quellaveco las rocas más antiguas corresponden a una secuencia volcánica de riolitas en su parte inferior denominada localmente pórfido cuarcífero y una intercalación de andesitas brechas andesíticas y riolitas en su parte superior. Estas rocas fueron intruidas por un plutón granodiorítico-tonalítico y un stock

de composición pórfido dacítico monzonítico cuarcífero al que está relacionada los cuerpos de brecha hidrotermales y los procesos hidrotermales de alteración y mineralización hipógena. Cuerpos intrusivos menores principalmente diques, intruyen al pórfido dacítico y están asociados a una menor actividad hidrotermal.

Se identifica un largo período de erosión posterior a la actividad intrusiva e hidrotermal, representado por conglomerados y brechas correlacionables con la formación Moquegua. Sobre estas rocas se depositaron los tufos é ignimbritas riolíticas de la formación Huaylillas de Edad Terciario Superior. Sobre éstas últimas se depositó una secuencia intercalada de flujos volcánicos, material piroclástico y clástico de la formación Barroso de posible edad Plioceno.

Un rasgo resaltante de este yacimiento es que la zona de enriquecimiento supergénico ha sido cortada por los conglomerados y brechas Quellaveco, lo cual nos señala que el enriquecimiento supergénico se inició antes o simultáneamente con la deposición de los conglomerados.

MUESTRA DATADA Y DISCUSION

Se ha datado la sericita del pórfido dacítico de una muestra de testigo de perforación ubicado a una profundidad de 270 metros en la zona de mineralización primaria.

La sericita está asociada a calcopirita, pirita (corta a estos) y molibdenita.

El resultado obtenido es de 54.1 ± 2.1 millones de años.

Esta edad obtenida representa la edad del principal evento de mineralización hipógena del depósito.

TOQUEPALA

El yacimiento de Toquepala está constituido en su parte basal por una serie de flujos volcánicos correspondientes al grupo Toquepala. El pórfido cuarcífero Quellaveco es la roca basal que es una riolita. Sobre esta roca se han depositado en forma secuencial flujos de dolerita, riolita, andesita, riolita y andesita. Esta secuencia volcánica ha sido intruida por cuerpos de composición grano--diorítica y dacítica asociado a los procesos de alteración-mineralización hipógena del yacimiento y formación de los cuerpos de brechas. Los diques de latita porfirítica representan el evento intrusivo posterior al emplazamiento de los cuerpos intrusivos mayores así como, del evento hidrotermal y de cuerpos de brecha.

MUESTRA DATADA Y DISCUSION

P.E.Damon, B.N.Watson, A.W.Laughlin (1968), dataron en este yacimiento una biotita primaria de una muestra de granodiorita ubicado lejos de la alteración hidrotermal.

Sandra Mc. Bride (1977), ha datado una biotita primaria de una muestra de granodiorita localizada en las cercanías del tunel de ferrocarril de Cimarrona que arroja una edad 57.2 ± 1.9 millones de años. Esta muestra está ubicada lejos de la influencia de los procesos hidrotermales de alteración-mineralización hipógena.

La misma autora ha datado una moscovita de una muestra con alteración hidrotermal tomada del yacimiento de Cujone obteniendo la edad de 51.0 ± 1.6 millones de años.

En el siguiente cuadro se muestran los datos analíticos de estas dos muestras datadas.

DATOS ANALITICOS DE LA GRANODIORITA TOQUEPALA Y SERICITA DE CUAJONE (1)

Muestra Nº	Localidad	Boca	Material Analizado	%K	⁴⁰ Ar R/D cc/g STP (x 10-5)	% ATW Cont.	Edad y Error (millones de años)
SP 137	Toquepala	Gd	Biot.	7.903	1.836	10.4	57.2 $\pm$ 1.9
SP 76	Cuajone	Metas	Muscov.	8.696	1.799	2.7	51.0 $\pm$ 1.6

(1) S. Mc Bride, 1977.

V DATACION DE ROCAS VOLCANICAS DEL GRUPO TOQUEPALA

David E. James, Christopher Brooks y Arturo Cuyubamba en su trabajo "Strontium Isotopic Composition and K, Pb, Sr Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks of Central Andes" - (1974) reportan dataciones radiométricas por el método Rb/Sr en las rocas volcánicas del grupo Toquepala. La edad obtenida ha sido de 69.4 millones de años. Esta edad es concordante con las relaciones geológicas de campo.

VI. DATACION DE LAS ROCAS VOLCANICAS POSTERIORES AL EMPLAZAMIENTO DE LA FASE INTRUSIVA E HIDROTHERMAL HIPOGENA.

Las rocas volcánicas, tufos, ignimbritas y lavas emplazadas sobre la formación Moquegua y los sobre conglomerados Quellaveco, que se correlaciona con la formación Moquegua, han sido datadas por David E. James, Christopher Brooks y Arturo Cuyubamba (1974) y por Richard Tosdal. (1978).

Los primeros dataron por el método Rb/Sr tres muestras de la formación Huaylillas en un corte de la carretera cerca a Moquegua. La edad obtenida ha sido de 12.5 millones de años cuyo resultado se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Richard Tosdal (1978) en su trabajo de Tesis para la Univ. de Quesen's reporta una serie de edades radiométricas obtenidas por el método K-Ar utilizando biotitas.

Los resultados obtenidos se pueden clasificar, separar, agrupar en dos grupos:

- a) Un grupo de edades del Oligoceno Superior Mioceno inferior cuyas edades oscilan de 17 a 25 millones de años.

..//

-9.-

- b) Un grupo de Mioceno Medio cuyas edades oscilan de 8 a 14 millones de años. Ambos grupos corresponden a la región de Toquepala, Quellaveco y Cuaajone.

En los próximos cuadros se resume los resultados analíticos de las muestras datadas.

De acuerdo a los datos reportados la edad obtenida por los primeros autores se correlaciona con los resultados obtenidos por Richard Tosdal (1978), clasificados en el grupo del Mioceno medio de 8 a 14 millones de años. Es indudable que las formaciones volcánicas que se han depositado sobre la formación Moquegua lo han hecho a lo largo de un amplio período de tiempo geológico como se puede apreciar cualitativamente en las zonas circundantes a los yacimientos de Cuaajone y Quellaveco, de acuerdo a los trabajos de A. Plazolles y J. Manrique (1972) y F. Estrada (1972).

Es muy probable que David E. James, Christopher Brooks y Arturo Cuyubamba hayan tomado sus muestras en un miembro superior de la serie volcánica de Huaylillas.

VII. EDAD DEL ENRIQUECIMIENTO SUPERGENICO

Como se ha mencionado, en el área de Quellaveco se ha observado que la zona de enriquecimiento suergénico (zona de calcocita, covelita, digenita, calcopirita) ha sido cortada por los conglomerados y brechas Quellaveco correlacionables con la formación Moquegua, sobre la cual se ha depositado la formación Huaylillas datada por D. James, Christopher C. Brooks y A. Cuyubamba en 12.5 millones de años de un miembro posiblemente superior.

..//

DATOS ANALITICOS PARA ROCAS VOLCANICAS DEL **MIOCENO** MEDIO DE LA ZONA
DE TOQUEPALA - QUELLAVECO Y CUASONE

Muestra Nº	Lat.	Long	Localidad	Material Analizado	%K	⁴⁰ K RAD cc/g STP (x 10 ⁻⁵)	%ATM Cont.	Edad y Error (millones de años)
SPT 330	17°36'	71°12'		Biotita	6.962	0.3855	24.7	14.19 ± 0.44
SP 65	17°07'	70°38'		Biotita	5.756	0.2944	72.48	13.11 ± 0.66
SP 73	17°02'	70°42'		Biotita	6.445	0.3293	44.2	13.10 ± 0.42
SPT 333	17°04'	70°37'		Biotita	5.486	0.2668	70.4	12.47 ± 0.58
SPT 211	17°17'	70°44'		Biotita	5.570	0.2422	88.9	11.17 ± 1.34
SPT 323	17°27'	71°00'		Biotita	7.334	0.2972	32.2	10.39 ± 0.92
SPT 324	17°36'	70°53'		Biotita	7.401	0.2952	38.0	10.23 ± 0.61
SPT 316	17°18'	71°07'		Biotita	7.199	0.2847	38.7	10.15 ± 0.33
SP 41	17°05'	70°37'		Biotita	5.885	0.2170	72.1	9.46 ± 0.45
SPT 308	17°24'	71°03'		Biotita	5.446	0.1896	82.9	8.94 ± 0.61

-01-

Richard Tosdal, 1978

DATOS ANALITICOS DE ROCAS VOLCANICAS DEL Oligoceno Superior Mioceno Inferior
DE LA ZONA DE TOQUEPALA, QUELLAVECO Y CUADONE (1)

Muestra Nº	Localidad		Material Analizado	%K	⁴⁰ Ar RAD cc/g SPT (x 10 ⁻⁵)	%ArTN Cont.	Edad y Error (millones de años)
	Lat.	Long					
SPT 112 ✓	17°06'	70°51'	Biotita	7.245	0.7171	34.3	25.29± 0.80
SP 143 ✓	17°23'	70°48'	Biotita	7.133	0.6487	29.9	23.25± 0.80
SPT 127 ✓	17°05'	70°44'	Biotita	7.439	0.6641	27.9	22.83± 0.70
SPT 102 ✓	17°14'	70°55'	Biotita	7.174	0.6361	60.5	22.68± 0.82
SPT 122 ✓	17°17'	70°13'	Biotita	6.267	0.5283	54.5	21.56± 0.74
SPT 105 ✓	17°09'	70°39'	Biotita	7.272	0.5226	29.16	18.40± 0.58
SPT 124 ✓	17°25'	70°36'	Biotita	6.755	0.4832	28.28	18.32± 0.56
SPT 113 ✓	17°02'	70°41'	Biotita	7.271	0.5005	33.8	17.63± 0.56

Richard Tosdal, 1978

Richard Tosdal obtiene 2 grupos de edades (uno de 17.25 millones otro de 8-14 millones de años), para los eventos volcánicos del cerrozoico inferior. Estas últimas dataciones nos indican que el período de erosión post Eoceno se inician en el Mioceno inferior (22 a 18 millones de edad), que se considera la edad en que se inicia el levantamiento de la región sur y el proceso de enriquecimiento secundario, el cual continúa hasta el presente.

VIII CONCLUSIONES

Las edades de los principales eventos geológicos de los pórfidos de cobre del sur del Perú son los siguientes:

- La Edad del emplazamiento de las rocas volcánicas del grupo de Toquepala es de 69.4 - 70 millones de años.
- El emplazamiento de los cuerpos plutónicos granodiorita tonalita tuvo lugar a los 58-56 millones de años.
- Los procesos de alteración mineralización hipógena tuvo lugar en los 56-54 millones de años.
- La deposición de los volcánicos cenozoicos es a partir de los 24 millones de años hasta los 8 millones de años. El proceso de enriquecimiento supergénico se inicia a partir de los 24 millones de años, proceso que continúa hasta el presente.

BIBLIOGRAFIA

- Aldrich L.T., G.M. Wetherill, G.R. Tilton and G.L. Davis, 1956. Half-life of Rb^{87} . Phys. Rev. 103, 1045-1047.
- Armstrong R.L. and S.M. Hein, 1973. Computer simulation - of Pb and Sr isotope evolution of the Earth's crust and -- upper mantle. Geochim. Cosmochim. Acta 37, 1-19. Treats lead and strontium evolution in terms of plate tectonic models.
- Armstrong R.L. and J.A. Cooper, 1971. Lead isotopes in is land arcs. Bull. Vol. 35, 27-63. Lead data for andesitic lavas from North Island, N.Z. and the Lesser Antilles. New Zealand data show probable contamination from continenatal sources.
- Banks Norman G., Cornwall Henry R., Silverman M.L., Crea--sey S.C. and Marvin Richard K., 1972. Chronology of intrusion and ore deposition at Ray Arizona: Part I K-Ar Ages Economic Geology, Vol.67, N°7.
- Banks Norman G., and Stuckless John S., 1972. Chronology of intrusion and ore deposition at Ray Arizona: Part II - Fission-TracksAges. Economic Geology. Vol.68, N°5.
- Bellido E. y Guevara C., 1963. Geología de los cuadrángu-los de la Punta de Bombón y Clemesí. Boletín N°5, de la - comisión Carta Geológica Nacional.
- Benavides V., 1964. Estratigrafía Pre-terciaria de la re- gión de Arequipa. Tesis de doctor de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Burham D.W., 1962. Facies and types of hydrothermal alte- ration: Economic Geology, Vol.57, pp.768-784.
- Creasey S.C., 1966. Hydrothermal alteration in geology of porphyry copper deposits Southwestern North America: S. Titley and Hicks ed. The University Arizona Press. pp.51-74.
- Church, S.E. and M. Tatsumoto, 1975. Pb isotope relations in oceanic ridge basalts from the Juan de Fuca-Gorda Ridge area, N.E. Pacific Ocean. Submitted to Contr, Mineral. Petrol. Evolution of terrestrial lead evaluated from ocea- nic basalt data. Open system models that account for the observations are given.

- Davis G.L., S.R. Hart and G.R. Tilton, 1968. Some effects of contact metamorphism on zircon ages. Earth Plan. Sci. Lett. 5, 27-34. Shows episodic disturbance of zircon ages in lead in contact aureoles of two Front Range Tertiary stocks.
- Damiani O., 1967. Algunos aspectos de la mineralización hidrotermal de Toquepala: X Convención de Ingenieros de Minas del Perú.
- Doe B.R., Lipman, P.W., and Hedge, C.E., 1969. Radiogenic tracers and the source of continental andesites: A beginning at the San Juan volcanic field, Colorado: Oregon Dept. Geology and Mineral Industries Bull., Vol.65, pp.103-149
- Estrada Ch.F., 1971. Estudio Geológico y edades radiométricas en los alrededores de Cerro Verde, Arequipa. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín. Inédita.
- Estrada Ch.F., 1975. Geología de Quellaveco. Sociedad Geológica del Perú. Tomo Nº46, Marzo-Abril.
- Estrada Ch.F., 1977. Edades K-Ar Precámbrica del gneis de Cerro Verde. Revista del Instituto Científico y Tecnológico Minero.
- Ewart A., and Stipp J.J., 1968. Petrogenesis of the volcanic rocks of the central North Island, New Zealand, as indicated by a study of Sr87 /Sr86 ratios and Sr, Rb, K, U and Th abundances: Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 32, pp.699-735.
- Eyzaguirre P. y Montoya, 1973. Geología del yacimiento de cobre diseminado de Toro Mocho, Morococha-Perú. II Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas.
- García W., 1968. Geología de los cuadrángulos de Mollendo y la Joya, servicio de Geología y Minería. Boletín Nº19 Lima.
- Gast P.W., Tilton G.R. and Hedge, Carl, 1964. Isotopic composition of lead and strontium from Ascension and Gough Islands: Science, v.145, pp.1181-1185.
- Geochron Laboratories, Inc. , 1968. The use of potassium argon determination in mineral exploration programs. Technical Bulletin Nº2.
- Gustafson L.B. and Hunt J.P., 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. Economic Geology, Vol.70 Nº5.

- Hollister F., 1973. Regional characteristic of porphyry copper deposits in South America. Mining Eng. Vol.25 N°8, pp 51-56.
- Hart S.R., 1964. The petrology and mineral age relations of a contact zone in Front Range, Colorado. Journal of Geology, Vol.72, pp.493-524.
- Hurley P.M., Hughes, H. Faure, G. Fairbairn, H.W., and Pinston, W.H., Jr., 1965. Radiogenic strontium-87 model of continental formation: Jour Geophys. Research, v.67, pp.5315-5333.
- Jaffey A.H., K.F. Flynn, L.E. Glendenin, W.C. Bentley and A.M. Essling, 1971. Precision measurement of the half-lives and specific activities of ^{235}U and ^{238}U , Phys. Rev. C4, 1889-1906.
- James D., 1961. Plate tectonic model for the evolution of the Central Andes. Geological Society of America Bulletin Vol.82, N°12, pp.3263-3298, New York.
- James D.E., Christopher Brooks, and Arturo Cuyubamba, 1974. Strontium isotopic composition and Rb-Sr geochemistry of Mesozoic volcanic rocks of the Central Andes. Carnegie Institution Year Book.
- James D.E., Christopher Brooks, and Arturo Cuyubamba, 1974. Andean Cenozoic Volcanism: Magma genesis in the light of strontium isotopic composition and trace element geochemistry. Carnegie Institution Year Book.
- Jenks W. y Harris E., 1955. Boletín N°26, Sociedad Geológica del Perú.
- Jenks W. 1948. Geología de la Hoja de Arequipa. Boletín del Instituto Geológico del Perú. N°9, pp.1-104, Lima.
- Lanphere M.A., Wasserburg G.J., Albee A.L., and Tilton G.R. 1964. Redistribution of strontium and rubidium isotopes - during metamorphism, World Beater Complex, Panamint Range, California, p. 269-320, in H. Craig, S.L. Miller, and G.J. Wasserburg, eds., Isotopic and cosmic chemistry, Amsterdam, North-Holland Publishing Co., 553 p.
- Laughlin A.W., Damon P.D. y Watson B.N., 1968. Potassium-Argon dates from Toquepala and Michiquillay, Perú. Economic Geology, Vol.63, N°2, pp.166-168.
- Livingston D.E., Mauger D.L. y Damon P.W. 1968. Geochro-

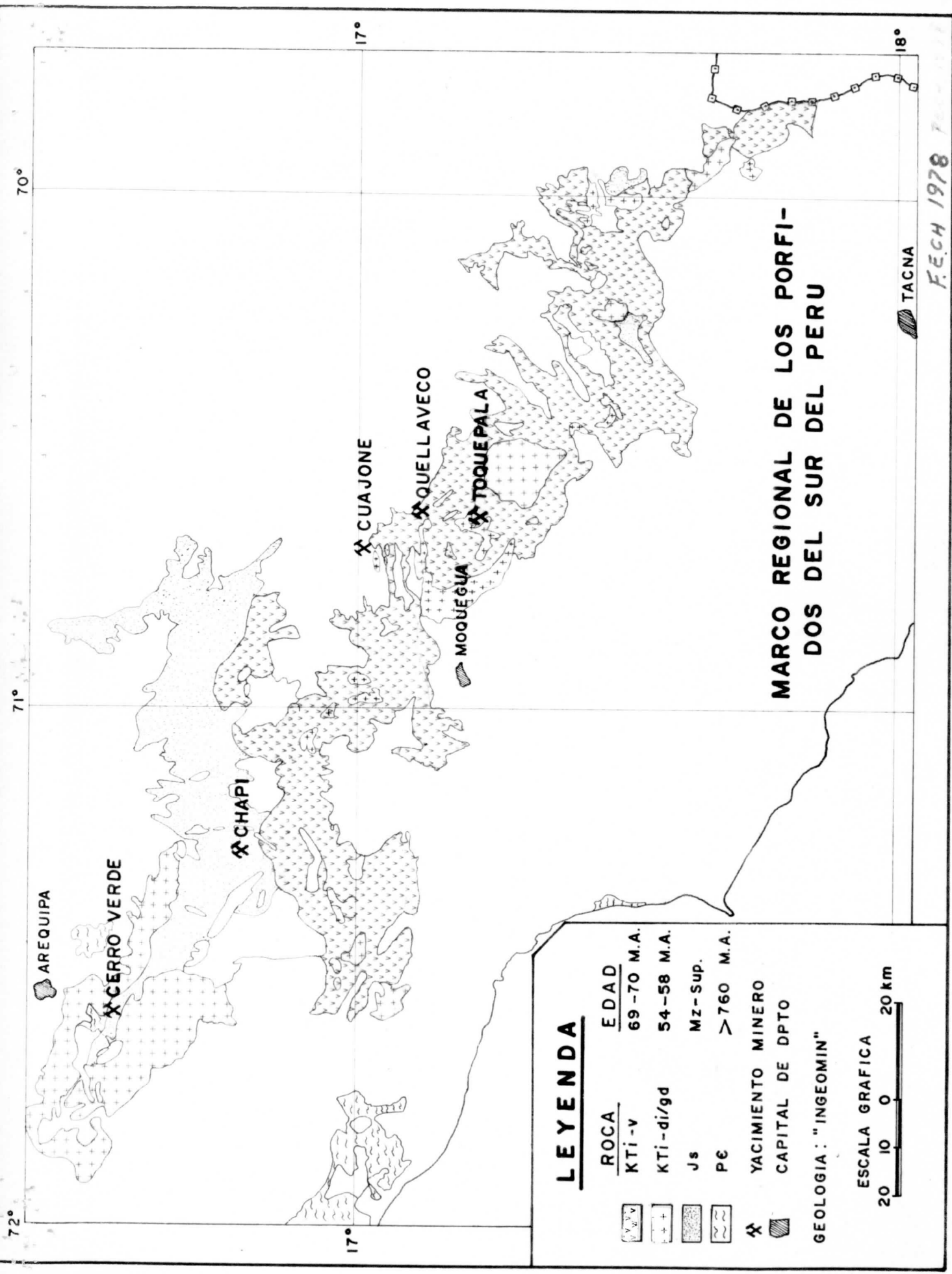
- nology of the emplacement enrichment and preservation of Arizona porphyry copper deposits. *Economic Geology*, Vol. 63, Nº1, pp.30-36.
- Manrique J., Plazolles A., 1974. *Geología de Cuaajone*. Boletín Sociedad Geológica del Perú, Tomo Nº46, pp.137-150, Lima.
- Meijer A., 1974. A study of the geochemistry of the Mariana island arc system and its bearing on the genesis and evolution of volcanic arc magmas. Ph.D. Thesis, Univ. Calif. Santa Barbara. Volcanic rock-sediment comparisons from the Mariana Arc.
- Moore W.J., Lamphere M.A. y Obradovich, 1968. Chronology of intrusion, volcanism and ore deposition at Bingham Utah. *Economic Geology*, Vol.63, Nº6, pp.612-621.
- Mc. Bride Sandra, 1977. A-K-Aw study of the Cordillera Real, Bolivia and its Regional setting. Ph.D thesis, Department of Geology, Queen's University.
- Nicolaysen L.O., 1961. Graphic interpretations of discordant age measurements on metamorphic rocks: New York Acad Sci. *Annals* vol.91, pp.198-206.
- Nicolaysen L.O., 1957. Solid diffusion in radioactive minerals and the measurement of absolute age. *Geochim. Cosmochim Acta* 11, 41-59.
- Noble C., McKee H., Farrar E. and Petersen U., 1974. Episodic cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Perú. *Earth Planetary Sci, Letters* 21. pp.213.^a
- Page B.W. and Mac. Dougall, Ian, 1973. *Geochronology of the Panguna porphyry copper deposit*. Bougainville island New Guinea, *Economic Geology*, Vol.67, Nº8.
- Paredes P., 1964. *Estratigrafía del Paleozoico en la costa del departamento de Arequipa*. Tesis de Bachiller de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Peterman Z.E., Carmichael, I.S.E., and Smith A.L., 1970. Sr87 /S86 ratios of Quaternary lavas of the Cascade Range, northern California: *Geol. Soc. America Bull.*, v.81, pp.311-318.

- Pidgeon R.T., J.R O'Neil and L.T. Silver, 1966. Uranium and lead isotopic stability in a metamict zircon under experimental hydrothermal conditions. *Science* 154, 1538-1540. Demonstrates removal of lead from zircon at 500°C.
- Richard K., y Courtringht H., 1958. *Geology of Toquepala, Perú Mining Engineering*, pp. 262-266.
- Riley G.H., and Compston W., 1962. Theoretical and technical aspects of Rb-Sr geochronology: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 26, pp. 1255-1281.
- Silberman L., Eyzaguirre R., Montoya D. and Novel D., 1973. Age of igneous activity and mineralization Morococha Distric Central Perú. *Economic Geology*, vol. pp.
- Sillitoe H., 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. *Economic Geology* vol. 68.
- Sinha A.K. and G.R. Tilton, 1973. Isotopic evolution of common lead. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 37 1823-1849. Discussion of model age aberrations and age of the earth.
- Sinha A.K. and S.R. Hart, 1972. A geochemical test of the subduction hydrothermal for generation of island arc magmas. *Carnegie Inst. Wash. Yearb.* 71, 399-312. Data for Tonga- and Kermadec Arcs.
- Suns. S., 1973. Lead isotope studies of young volcanic rocks from oceanic islands, mid-ocean ridges, and island arcs. Ph.D. Thesis, Columbia University. Sediment and volcanic rocks data from the Aleutian trench, Taiwan and other areas.
- Stanton R.D. and R.M. Farquhar, 1960. *Lead Isotopes in Geology*, Interscience, New York, 243pp.
- Stanton R.D. and R.M. Farquhar, 1960. *Lead Isotopes in Geology*, Interscience, New York, 243pp.
- Stueber A.M. and Murthy V.R., 1966. Strontium isotope and alkali element abundance in ultramafic rocks: *Geochim et Cosmochim. Acta* V,30, pp. 1243-1259.
- Tatsumoto M., Hedge C.E. and Engel A.E.J., 1965, Potassium rubidium, strontium-86 in oceanic tholeiitic basalt: *Science*, vol. 150 pp. 886-883.

- G.R. Tilton and S.E. Church, 1978. U-Pb Isotope Geochemistry - A Short Course.
- Tilton G.R. and M.H. Grönenfelder, 1968. Sphene: U-Pb ages. Science 159, 1458-1461. Examples of concordant U-Pb ages from sphene.
- Tilton G.R. 1960. Volume diffusion as a mechanism for discordant lead ages. J. Geophys. Res. 65, 2933-2945.
- Tosdal Richard, 1978. Estudio radiométrico K-Ar de rocas volcánicas del Oligoceno y Mioceno del área de Toquepala, Quellaveco, Cuajone. Ph.D. Thesis Department of Geology, Queen's University.

RELACION DE ILUSTRACIONES.

- Marco regional de los pórfidos del Sur del Perú.
- Mapa geológico mostrando principales formaciones volcánicas del Sur del Perú.
- Plano geológico de Cerro Verde.
- Columna geológica de Cerro Verde.
- Esquema mostrando las relaciones de composición y textura de las rocas ígneas de Cerro Verde y Santa Rosa.
- Cuadro mostrando las medidas Sr 87/Sr 86 Sb ploteados versus Rb/Sr para volcánicos de Toquepala y del Centro del Perú.
- Columnas geológicas de Toquepala.
- Sección geológica 38 de Quellaveco.
- Cuadro de edades K-Ar de los pórfidos de Cobre del Sur del Perú.
- Isocron de análisis Rb/Sr de toda la roca de muestras de la formación Huaylillas.



LEYENDA

ROCA	EDAD
KTi-v	69-70 M.A.
KTi-di/gd	54-58 M.A.
Js	Mz-Sup.
Pe	>760 M.A.
X	YACIMIENTO MINERO
[hatched box]	CAPITAL DE DPTO

GEOLOGIA : "INGEOMIN"

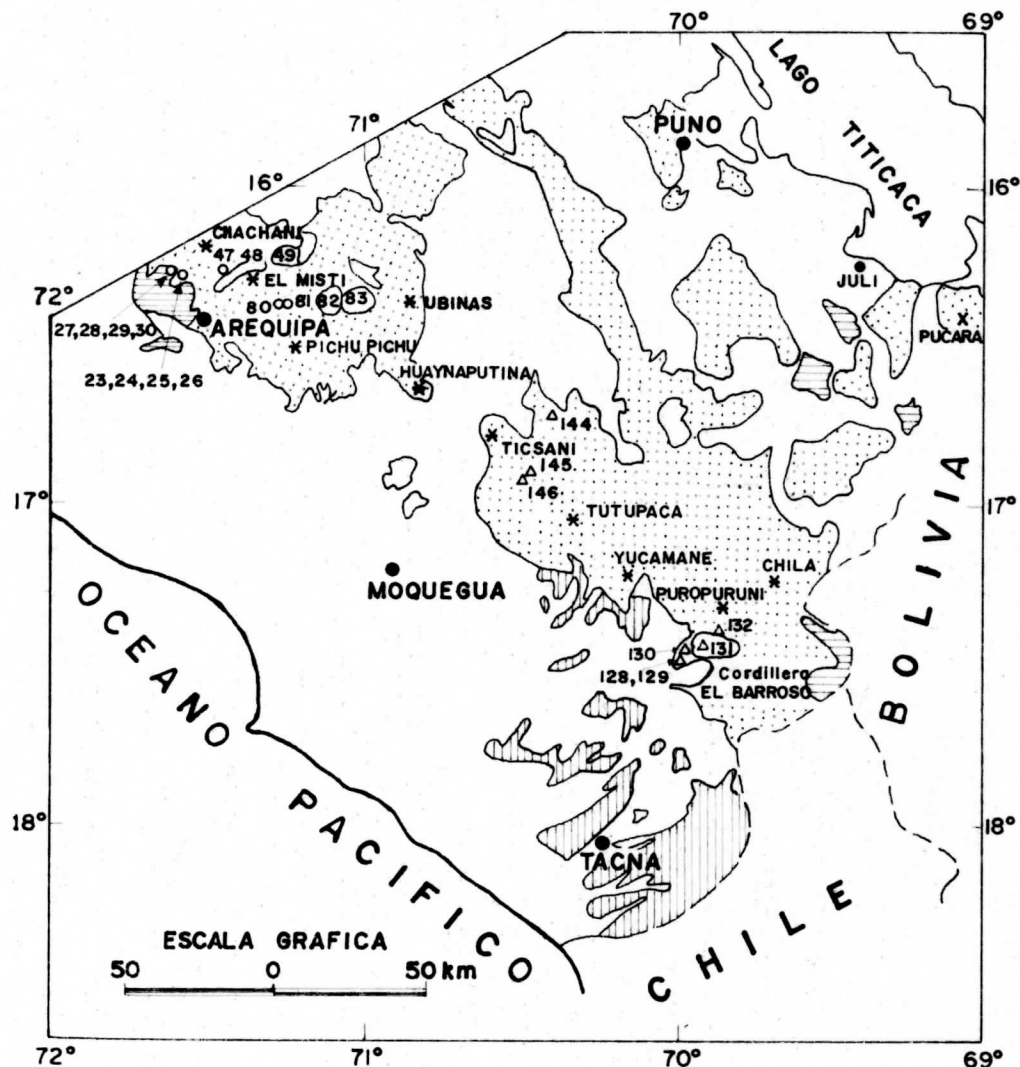


**MARCO REGIONAL DE LOS PORFI-
DOS DEL SUR DEL PERU**

TACNA

FECH 1978

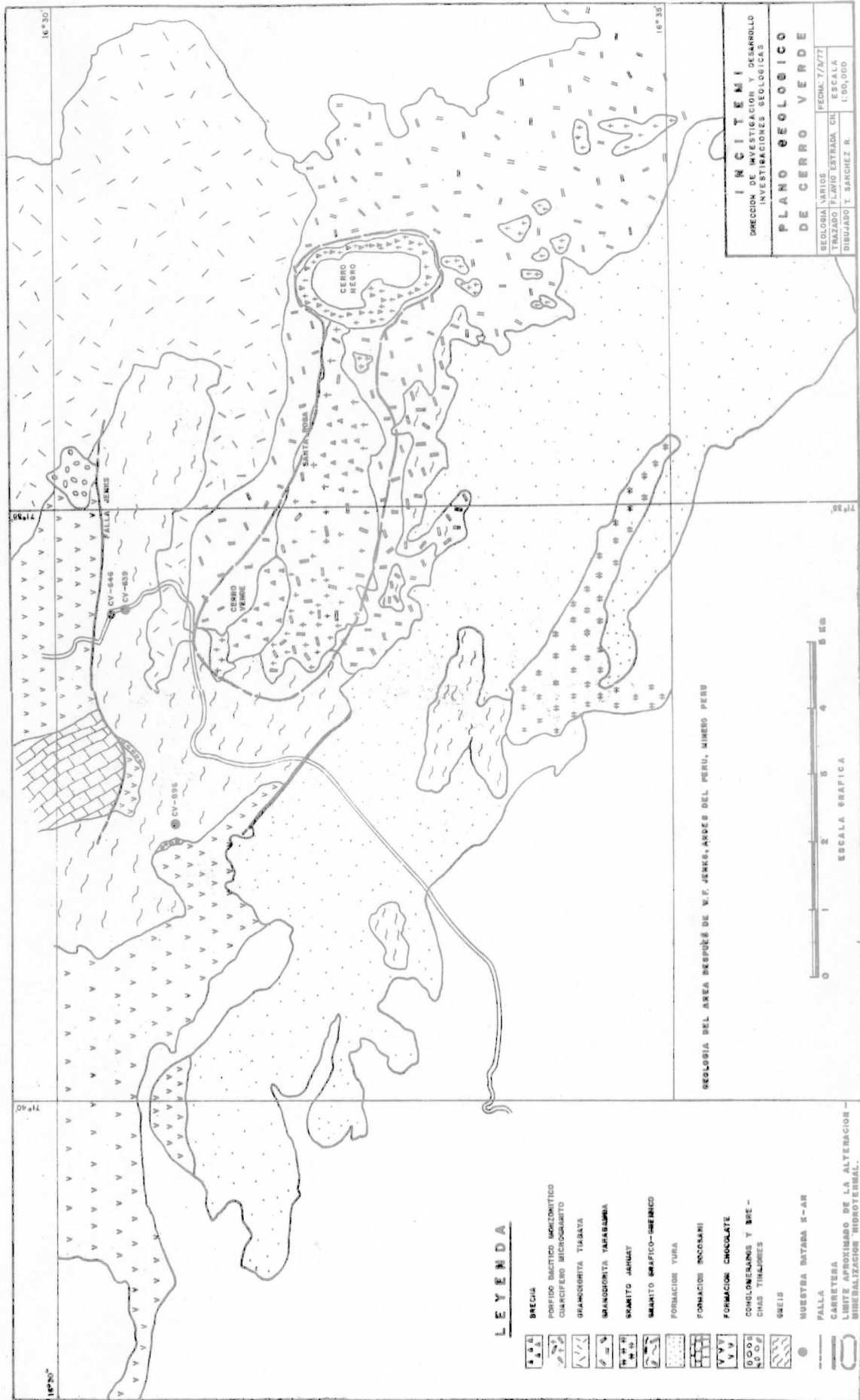
MAPA GEOLOGICO MOSTRANDO PRINCIPALES FORMACIONES VOLCANICAS DEL SUR DEL PERU

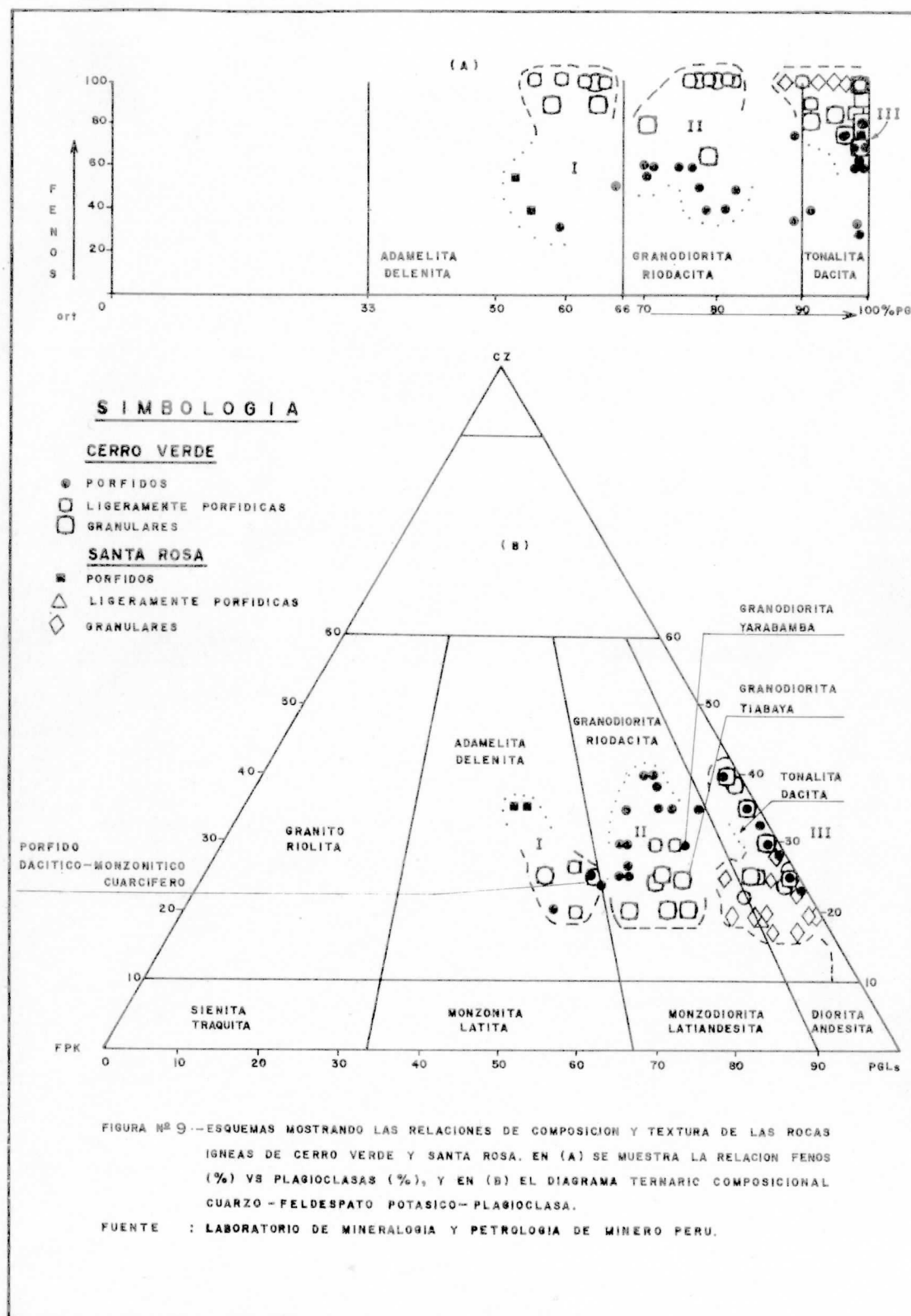


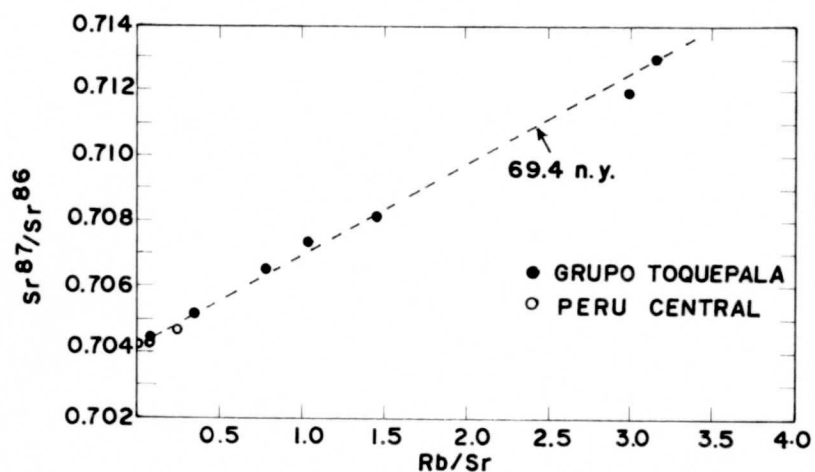
L E Y E N D A

-  VOLCANICOS DEL PLIOCENO-CUATERNARIO DE EL GRUPO BARROSO.
-  IGNIMBRITAS RIOLITICAS DEL PLIOCENO-CUATERNARIO DE LA FORMACION SENCA.
-  IGNIMBRITAS DACITICAS DE LA FORMACION HUAYLILLAS DEL MIOCENO-PLIOCENO.
-  FORMACIONES NO VOLCANICAS

D. JAMES, ET AL 1974







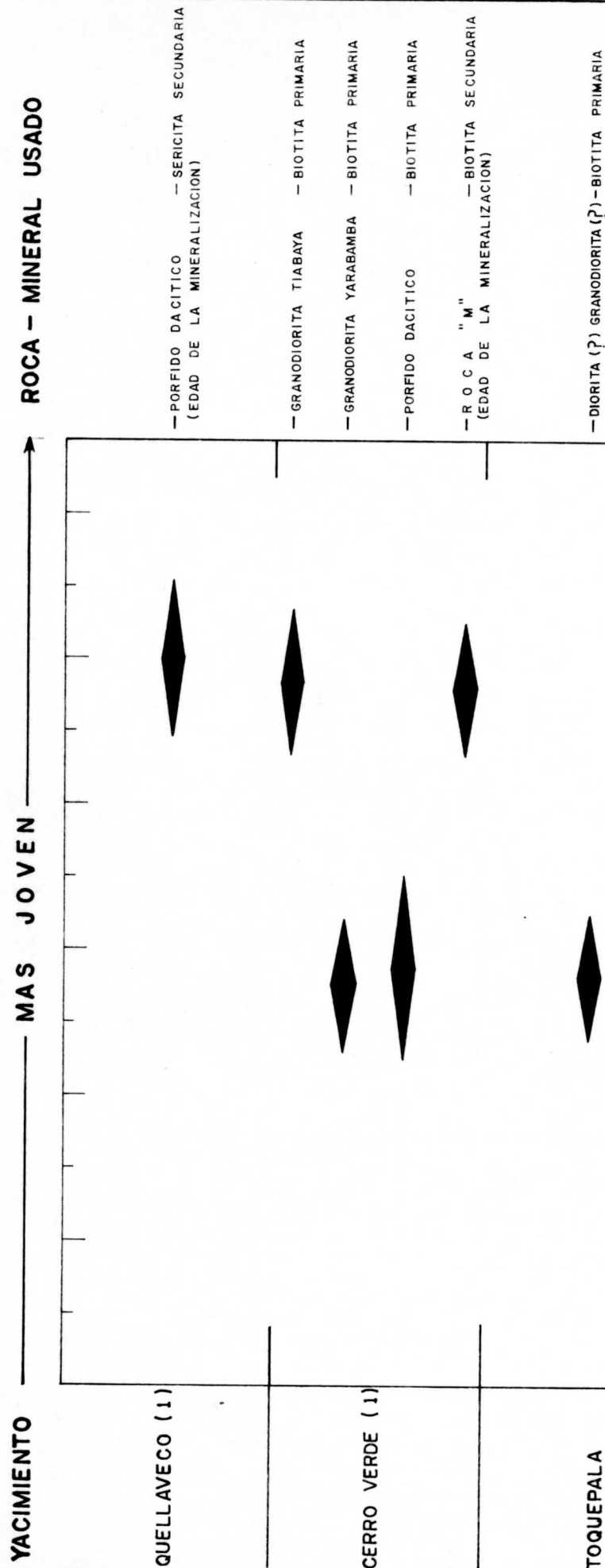
CUADRO MOSTRANDO LAS MEDIDAS $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ PLOTEADOS VERSUS Rb/Sr PARA VOLCANICOS DE TOQUEPALA Y DEL CENTRO DEL PERU.

LA LINEA ISOCRONICA ARROJA UN VALOR CERCANO A LOS 70'000,000 DE AÑOS.

FUENTE: TOMADO DE D.E. JAMES, C. BROOKS A. CUYUBAMBA

ERA & PERIODO.	GRUPO & FORMACION	MIEMBRO	C O L U M N A		DESCRIPCION		
			UNIDAD	POT.			
CUATERNARIO		DISCORDANCIA	Q - al	±20 mt.	ALUVIALES & CONGLOMERADOS INTERCALACION DE RIOLITAS, ANDESITAS & AGLOMERADOS NO CLASIFICADOS.		
CRETASICO SUPERIOR - Terciario inferior	GRUPO TOQUEPALA	Formación Quellaveco					
				Serie Alta	Ktaa		
				DISCORDANCIA		±900 mt.	RIOLITA TOQUEPALA. COLOR BLANQUECINO, TEXTURA FLUIDAL
					Ktqr	±75 mt.	ANDESITA TOQUEPALA. COLOR GRIS. TEXTURA AFANITICA.
					Ktqa	±60 mt.	PORFIDO CUARC. TOQUEPALA, CO- LOR BLANCO. TEXT. PORFIRITICA.
				Serie Toquepala	di	±100 mt.	
					lp		
					Kttq		
					Kttt		
					da	±130 mt.	DOLERITA TOQUEPALA, COLOR GRIS, TEXTURA AFANITICA/FINA.
				DISCORDANCIA			PORFIDO CUARC. QUELLAVECO, COLOR BLANCO, TEXT. PORF.
	Pórfido Cuarcífero Quellaveco	Ktqq	dp	bxs			
		di					
				±255 mt.	ACTIVIDAD INTRUSIVA		
TOQUEPALA							
COLUMNA			ESTRATIGRAFICA				
GEOLOGIA SPCG:			I. prieto a.				

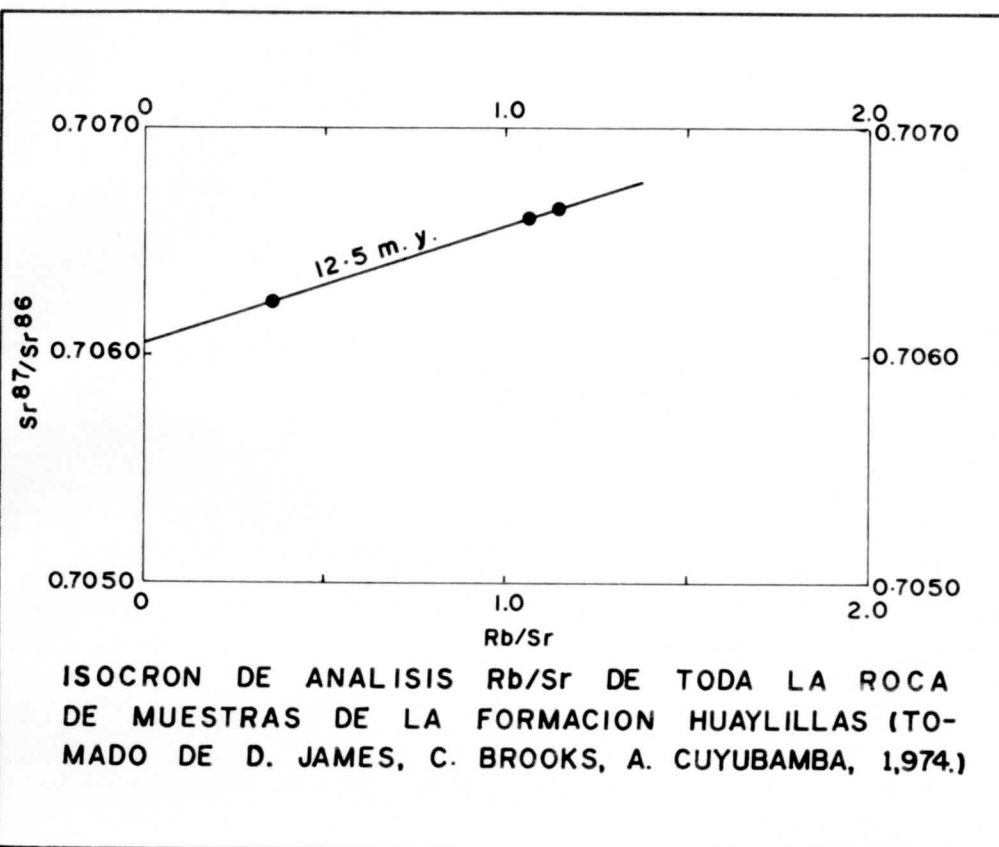
EDADES K-AR DE LOS PORFIDOS DE COBRE DEL SUR DEL PERU



EDAD EN MILLONES DE AÑOS

PALEOCENO | EOCENO INFERIOR

NOTA: EJE MAYOR DEL ROMBO: ERROR ANALITICO
(1) EDAD K-AR DETERMINADAS POR GEOCHRON LABORATORIES



3,900 mts.

3,800

3,700

3,600

3,500

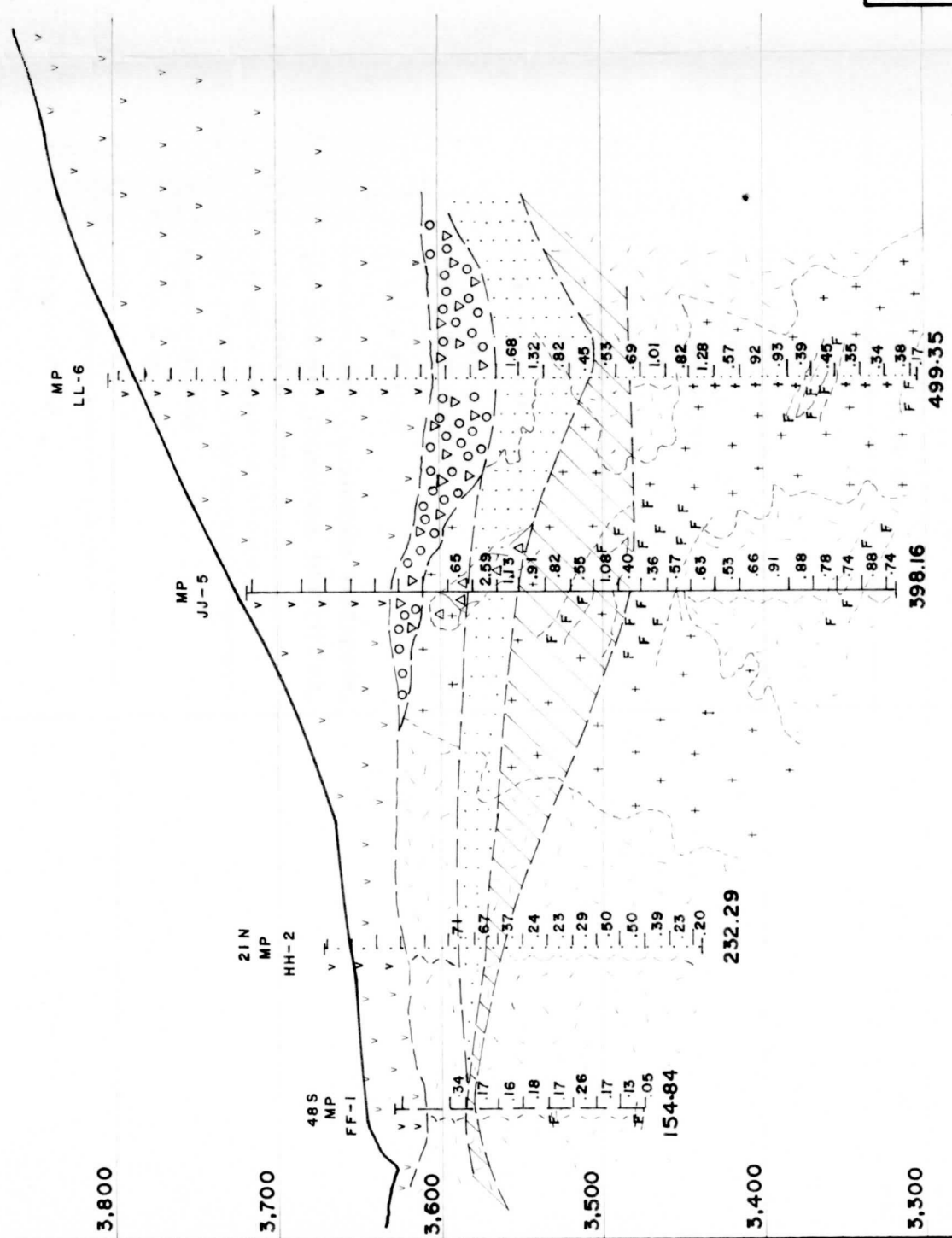
3,400

3,300

3,200 mts.

LE Y E N D A

- +++ Riolita
- Granodiorita-Tonalita
- Porfido Dacitico Monzonitico Cuarceifero
- Brecha de Ruptura
- Brecha de Colapso
- Brecha de Quijarras
- Dique tipo Porfido Dac.-Cuarzomonzonitico-Cuarzolditico
- Dique tipo Porfido Dioritico Cuarceifero
- Conglomerados Quellaveco
- Tufos Rioliticos "FORMACION HUAYLILLAS"
- Cuaternario Aluvial "FORMACION MOQUEGUA"
- Taladro en la Sección
- Taladro detras la Sección
- Ley Promedio de Banco
- Taladro delante de la Sección
- Zona Lixiviada
- Zona de Enriquecimiento Moderado-Fuerte (3-4)
- " " " Muy-debil a debil (2-1)
- Zona Primaria
- Zona con Oxido de Cobre
- Contacto Inferido
- Falla Inferida



INGEMMET

DIRECCION DE GEOLOGIA MINERA

DIVISION DE INVESTIGACIONES METALOGENICAS

QUELLAVECO

SECCION GEOLOGICA 38

MIRANDO AL NW

GEOLOGIA: ING.: FLAVIO ESTRADA CH.

DIBUJADO: TEODOSIO SANCHEZ R.

FECHA: DIC. 78

ESCALA: 1:4,000