

# OBSERVACIONES DE CAMPO, ANÁLISIS PETROGRAFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS LAVAS TAMBILLO.

FELIX ESPINOZA R. \*, PIERRE SOLER\*\*, EDDY BALDELLON P.\* & MICHEL FORNARI\*\*

\* Instituto de Investigaciones Geológicas, UMSA, CP 12198, La Paz, Bolivia

\*\* ORSTOM, UR1H, CP 9214, La Paz, Bolivia

## INTRODUCCION

La zona de estudio esta ubicada en el margen noreste del Salar de Uyuni en la serranía que se extiende por cerca de 70 Km. desde las cercanías de Tambo Tambillo al Norte hasta el Río Salado al Sur (Fig. 1).

En la region se hallan rocas igneas como sills, diques e intrusivos que pertenecen a la Formación Tambillo y constituyen un ejemplo de magmatismo de composición alcalina, en un ambiente geotectónico de subducción con un arco volcanico mayormente calco-alcalino.

Los sills Tambillo muestran un proceso evolutivo básico-ácido que esta marcado por el enriquecimiento de los contenidos de K<sub>2</sub>O, Rb, Zr y la disminucion progresiva de los contenidos de TiO<sub>2</sub>, V, Ni, Co y Sc. Las relaciones de elementos traza y espectros de tierras raras indican que estos sills estan asociados a un origen mantelico con granate, el cual habria sufrido diferenciación por cristalización fraccionada y proceso de fusión parcial.

Los diques al igual que el intrusivo de Yarhui Koya presentan contenidos de tierras raras que indican débiles procesos de fusión parcial del manto superior, estos diques muestran patrones de trazas coherentes con un proceso de diferenciación por cristalización fraccionada.

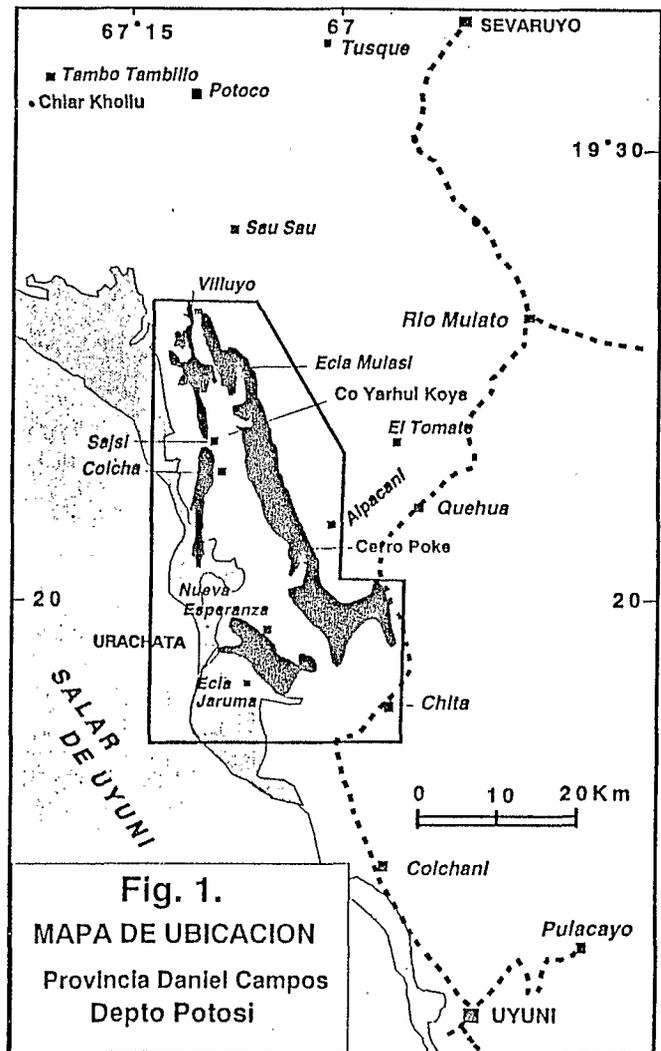
Rocas ígneas de composición ultrabásica e intermedia han sido identificadas en el área del Cerro Poke, dentro del conjunto de yesos diapíricos de la formación Campana; estas rocas presentan una mineralogía y una geoquímica particular, probablemente por la influencia de los sales del diapiro; estos cuerpos intrusivos no han sido incluido en este estudio.

### Marco geológico

En la zona afloran rocas desde el Mesozoico hasta el Actual con una secuencia completa desde el Cretácico.

Afloramientos de yesos diapíricos, atribuidos a la Formación Campana de edad Permo-Triásico (Perez M., 1963) se encuentran en el área del "Cerro Poke" y contienen rocas de composición básica y andesítica a veces muy alteradas. Estas rocas, incluidas dentro del diapiro en pequeños cuerpos o diques disturbados, se emplazaron a cierta profundidad y luego fueron arrastradas hacia arriba por el fenómeno diapírico.

El sistema Cretácico está representado por las formaciones Orinoca, Anta, Mulasi, Coroma, Pahua que tienen mas de 2500 m de potencia y marcan nitidamente las estructuras anticlinales y sinclinales de la zona.



El sistema Paleogeno comienza con una serie arcillosa y margosa de la Formación Candelaria; un paso abrupto es observado hacia la Formación Tusque compuesta por areniscas cuarcíticas.

La Formación Potoco que suprayace a la Formación Tusque es compuesta principalmente por limolitas y areniscas laminadas. Encima de la Formación Potoco, se encuentra en discordancia la Formación Tambillo en la cual se ha identificado dos miembros diferenciados de acuerdo a su composición litológica:



Fonds Documentaire IRD  
Cote : BX 21837 Ex : 1

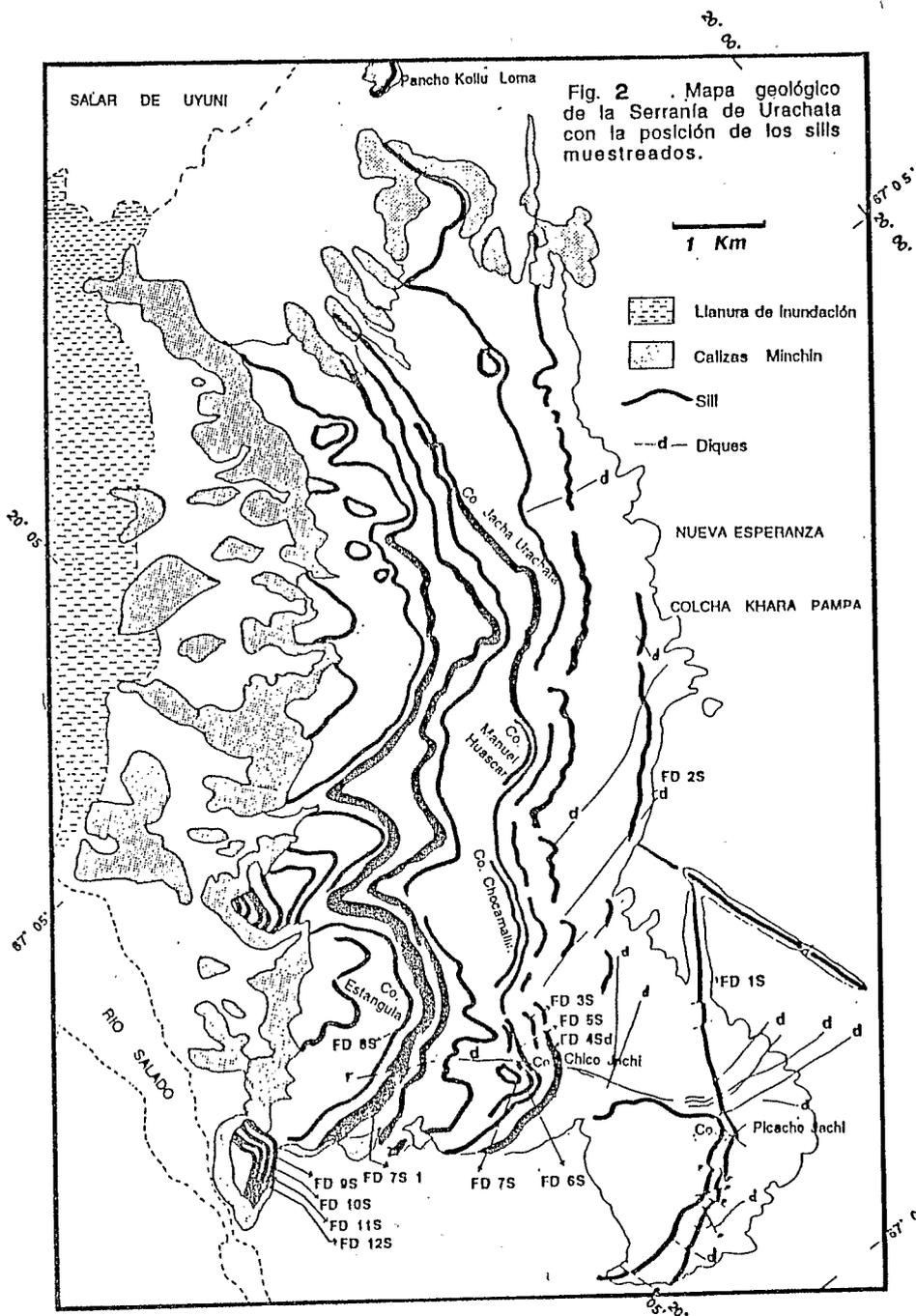


Fig. 2. Mapa geológico de la Serranía Urachata con la posición de los sills muestreados.

- El primer miembro de unos 1200 m de espesor, esta compuesto por intercalaciones de conglomerados (su base presenta un conglomerado basal con clastos de granitos precámbricos), areniscas; contiene numerosos sills de rocas básicas de extensión pluri-kilométrica; además existen horizontes delgados de tobas ácidas (Fig. 2)

La zona estudiada se encuentra en el dominio tectónico del Altiplano Central limitado por la Faja Plegada y Corrida de Sevaruyo-Chita al Este, el lineamiento de Sevaruyo-Incapugio al Norte y lineamiento Chita-Arica al Sur (Sempere *et al.*, 1988). Las capas han sido fuertemente plegadas en anticlinales estrechos y sinclinales amplios; además existen fallas paralelas a las estructuras con desplazamientos horizontales importantes y fallas de desgarre .

- El segundo miembro presenta intercalaciones de conglomerados con clastos de roca básica de los sills Tambillo de coloración algo rojiza con cristales de piroxeno no alterados, y areniscas; esta secuencia de mas de 1600 m de espesor no contiene intercalaciones de sill; es estratocreciente con rumbos y buzamientos similares al primer miembro.

Un sill Tambillo ha sido datado en 22 Ma. por el método K/Ar (Evernden *et al.*, 1977). El Cerro Chiar Kollu ubicado cerca la ruta de Huari a Salinas de Garci Mendoza consiste en rocas básicas que han dado edades radiométricas entre 27,4 y 25,2 Ma (Soler *et al.*, 1993a; Hoke *et al.*, 1993), confirmando la edad Oligoceno de la Formación Tambillo.

Una datación K/Ar de  $22,8 \pm 0,52$  Ma en el intrusivo de Yarhui Koya, intrusivo de composición intermedia podría indicar que la actividad magmática del episodio Tambillo finalizó en el Mioceno muy inferior. Estas lavas serían similares en edad a las lavas Rondal, Julaca, Abaroa

El Neogeno esta constituido por intercalaciones de conglomerados, areniscas y tobas de la Formación Quehua. En el área del Cerro Puma Iquiña esta formación es discordante sobre la Formación Tambillo, mientras que en las cercanías de Quehua presenta un contacto discordante sobre rocas cretácicas.

Calizas lacustres y estromatolíticas cubren los relieves marcando la extensión del episodio lacustre cuaternario Minchin, el cual se nota también por remanentes de niveles de playa.

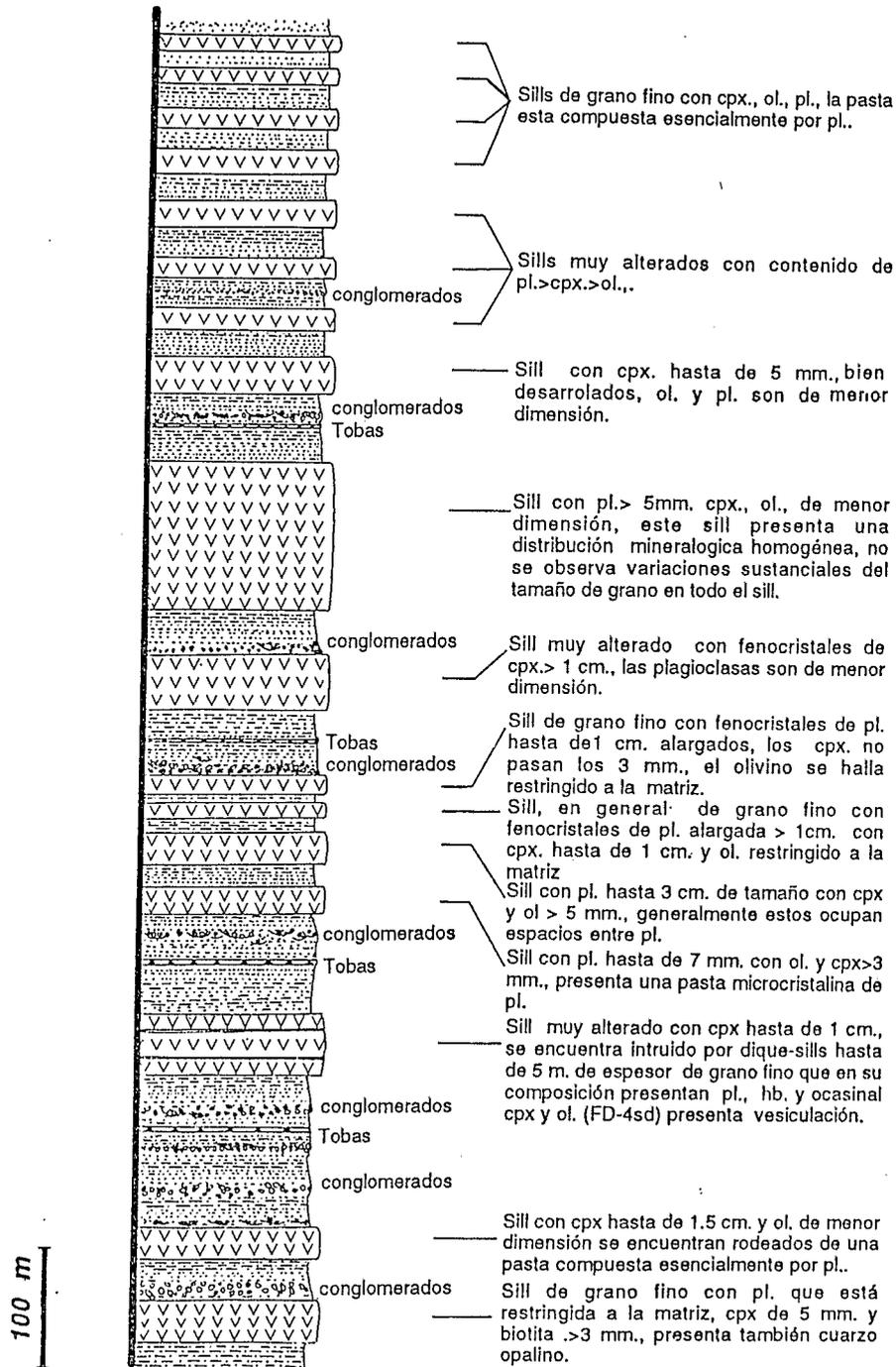


Fig. 3. Perfil esquemático de la Serranía de Urachata, mostrando la posición de los sills encajonados en los sedimentos detríticos principalmente areno-limosos de la Formación Tambillo.

### Observaciones de campo

Se ha establecido que una primera etapa de actividad ígnea corresponde al emplazamiento de los sills, una segunda etapa estaría marcada por el emplazamiento de diques que cortan los sills y una tercera marcada por el emplazamiento de un cuerpo intrusivo en el Cerro Yarhui Koya el cual estaría asociado a una falla longitudinal en la Formación Potoco.

Los sills se han emplazado únicamente en rocas de la Formación Tambillo; tienen espesores variables que pueden sobrepasar los 100 m. y presentan una marcada continuidad horizontal y vertical así con una gran homogeneidad en su composición mineralógica.

En la Serranía de Urachata, ubicada en la parte Sur de la zona de estudio, los sills representan una potencia acumulada de más de 500 metros y forman aproximadamente el 40 % del primer miembro de la serie sedimentaria Tambillo (Fig. 3).

Los sills muestran bordes contornados al contacto con el sedimento, a veces con material sedimentario incluido a manera de lentes. Los sills han "ladrillado" y "quemado" los sedimentos que los encajonan, tanto en la base como en el tope, evidenciando un claro proceso de metamorfismo de contacto, pero que no pasa de unos centímetros de potencia. Los fenocristales de plagioclasas alargados guardan su gran tamaño (de varios cm.) hasta el contacto con la roca caja.

Los sills no presentan una distribución espacial particular ya que los sills menos básicos muy frecuentemente están entre los más básicos; esto hace pensar en la posibilidad de la existencia de una cámara magmática que era continuamente rellenada y vaciada, haciéndose el magma cada vez algo más diferente.

Los diques presentan buzamientos fuertes, con orientaciones predominantes NE-SW y E-W y con menos frecuencia N-S. El espesor de estos diques es variable desde pocos centímetros hasta casi 10 m.; las longitudes varían desde pocos metros hasta cerca los 8 Km (como en el caso del dique de Para-Para de dirección E-W); estos diques recortan a los sills o los sedimentos de la Fm Tambillo pero no pasan en los terrenos más recientes. La mayor abundancia de diques se encuentra en la serranía de Urachata.

Los diques han desarrollado una franja de metamorfismo de contacto de hasta dos metros en las rocas sedimentarias que han sido intruidas. Ciertos diques presentan un borde de 1 m. de potencia muy rico en enclaves máficos micáceos. En la Serranía de Urachata existen diques con grandes cristales de biotita, que generalmente se encuentran muy alterados. En algunos casos los bordes de contacto entre los sills y diques han sido aprovechados para una mineralización secundaria de malaquita y azurita.

El intrusivo de Yarhui Koya de dirección NNW-SSE, tiene un ancho aproximado de 150 m. y una longitud aproximada de 1,8 Km.; este intrusivo ha producido un claro proceso de metamorfismo de contacto de hasta 5 m. de espesor en las rocas de la Formación Potoco.

### Petrografía

Generalmente las rocas ígneas han sufrido un fuerte proceso de alteración por meteorización que ha dificultado muchas veces la toma de muestras frescas. Los sills presentan a menudo una auto-alteración hidrotermal con el desarrollo de vesículas rellenas de zeolitas, sílice, opalo, carbonatos.

Los mejores afloramientos de los sills de la Formación Tambillo se encuentran en la Serranía de Urachata, lugar donde ha sido posible encontrar la mayor cantidad de muestras frescas.

Un muestreo sistemático de las rocas ígneas en material fresco ha permitido establecer sus características petrográficas y geoquímicas. Las observaciones petrográficas indican que tanto sills como diques tendrían una composición basáltica e intermedia mientras que el intrusivo de Yarhui Koya tiene una composición levemente más ácida.

a) **Los sills:** Las más básicas de las rocas han sido clasificadas como gabros noritas con olivino o troctolita en el caso de Chiar Kollu y como basaltos augíticos, dioritas y andesitas para los miembros más ácidos.

Los miembros más básicos presentan una fábrica dolerítica (micro-gabroica, poiquilitica (ofítica y subofítica), y también se pueden encontrar fábricas porfídica (felsófica) y la fábrica felsítica.

El gran tamaño de los fenocristales es una característica de estos sills; se observan sills con fenocristales de plagioclasa alargados (de hasta 3 cm.) a lo largo de toda la serranía, existen otros sills con cristales alargados de piroxeno de 1,5 cm.; sills con biotita y hornblenda solamente afloran en el Cerro Picacho Jhachi en la parte basal de la Formación Tambillo.

El olivino, de formas euhedrales, frecuentemente presenta alteración a serpentina (antigorita) en los bordes y fracturas. Este mineral es abundante en los miembros más básicos con un promedio de 20% y hasta 30% en el caso de Chiar Kollu. Presenta un tamaño variable de hasta 0,7 cm. que disminuye en los miembros menos básicos donde este mineral es escaso y de tamaño muy reducido. Es frecuente observar en rocas de composición basáltica-andesítica, esqueletos de piroxeno y olivino serpentinizados en los cuales ha recristalizado la plagioclasa.

Los piroxenos, en los miembros más básicos, se hallan intercrecidos con olivino; generalmente son euhedrales, también presentan fracturamientos y bordes serpentinizados. El piroxeno más frecuente en los sills Tambillo es la augita, aunque, la diopsida también está presente. Al igual que los olivinos, frecuentemente son rodeados por plagioclasa de menor tamaño; las augitas también presentan zonación, en las rocas menos básicas se observa que el piroxeno dominante es la augita y a menudo se encuentran a manera de inclusiones en plagioclasas.

Las plagioclasas en los sills Tambillo son de dimensiones variables, con fenocristales de hasta 3 cm. de longitud; generalmente presentan formas subhedrales, aunque también se

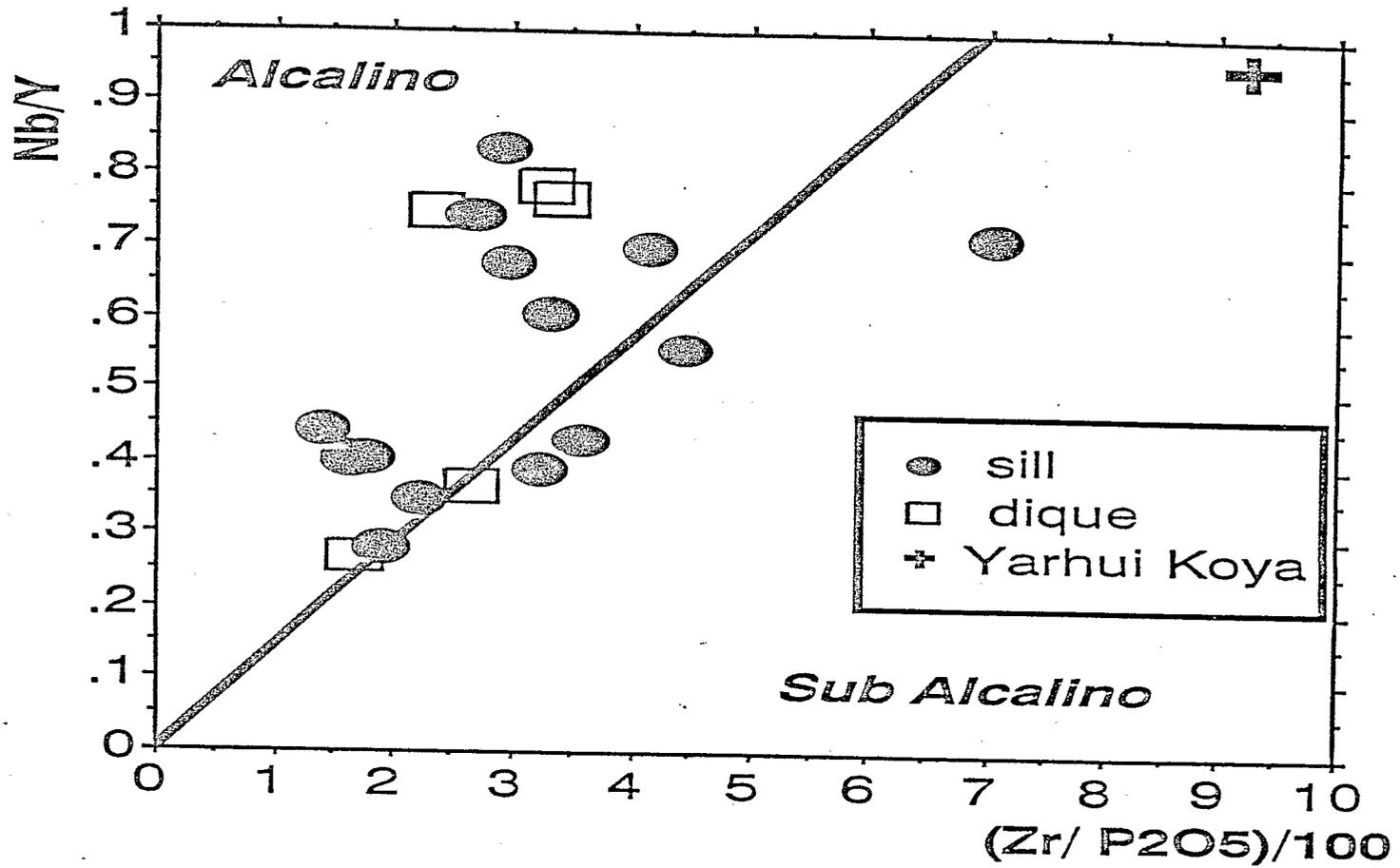


Fig. 4. Diagrama de discriminación de series alcalinas y subalcalinas de Winchester & Ford (1976). Note la tendencia alcalina de los sills.

encuentran fenocristales euhedrales (habito prismático) de labradorita (An60). La muestra de Chiar Kollu contiene la variedad más cálcica de plagioclasa (labradorita, An70). En las rocas más básicas se nota un poco de andesina (An48), generalmente de menor dimensión. En rocas básicas con tendencia a dioritas y andesitas la labradorita varia hasta un rango de An 57, y la andesina (An47) es mas frecuente.

Las plagioclasas muestran frecuentemente zonaciones características; muchas veces las plagioclasas tienen un nucleo sericitizado y a menudo presentan tambien bordes de reacción a plagioclasa menos cálcica y feldespato potásico. Esta última característica se nota en las rocas de transición básico-intermedio y en las rocas de composición intermedia.

La hornblenda y la mica (biotita), se encuentran solamente en rocas de composición intermedia (dioritas y andesitas); las hornblendas y micas son de formas subhedrales; generalmente se encuentran cloritizados, y frecuentemente las hornblendas y las micas estan rodeadas por una pasta microcristalina de plagioclasas.

Los opacos son en general euhedrales con caras bien desarrolladas, estos incluso pueden llegar a 2 mm en los miembros más básicos donde sobrepasan 5% de la roca, aunque con frecuencia se observan también a manera de inclusiones.

El apatito, es de formas euhedrales en las rocas de composición muy básica estos se encuentran incluso como cristales de tamaño regular.

El ópalo, producto de la auto alteración hidrotermal, se encuentra a veces en rocas de composición básica sin embargo es mas frecuente en las rocas de composición intermedia donde rellena vesículas.

**b) Los diques:** Los diques son similares a los sills en cuanto a su composición mineralógica pero generalmente presentan generalmente un grano mas fino aunque tambien existen diques afaníticos con fenocristales de piroxeno de hasta 1 cm.

La fábrica de los diques menos básicos es porfídica felsófica y traquítica afieltrada, mientras que los mas básicos tienen una fábrica dolerítica. Los diques muy básicos han sido clasificados como gabro noritas con olivino; generalmente los diques están dentro del rango de basaltos augíticos y andesitas.

Al igual que los sills, los diques mas básicos muestran intercrecimientos de piroxeno (augita-diopsida) y olivino (en una cantidad de mas o menos 18 % para los más básicos), muchas veces estos minerales tienen inclusiones de magnetita. Son de formas euhedrales y es mas frecuente encontrar esqueletos totalmente serpentinizados de olivino en los cuales ha recrystalizado la plagioclasa.

En los miembros intermedios, el olivino se encuentra en muy poca proporción, la augita es mas frecuente y generalmente en formas micro y criptocristalinas.

La plagioclasa en rocas de composición básica, es la labradorita (An57), aunque es posible encontrar andesinas (An48), mientras que en las rocas de composición intermedia la andesina es más frecuente (An46). Labradoritas zonadas, plagioclasa con extinción oscilante andesinas con bordes de reacción a feldespato potásico son frecuentes.

La hornblenda se encuentra sólo en los diques de pasta micro-criptocristalina, comunmente fracturados y cloritizados, diques muy alterados presentan biotitas de tamaños de hasta 3 mm. de longitud (Serranía de Urachata); las biotitas tienen formas subhedrales, y se hallan en proporciones variables.

El apatito, esta presenta en forma de inclusiones en piroxenos plagioclasas y hornblendas, en rocas más básicas son de mayor tamaño que en las menos básicas.

Los opacos son euhedrales y generalmente de tamaño pequeño y no sobrepasan el 3% de la roca.

Se ha encontrado cuarzo relleno vesículas en estos diques con bordes sericitizados y cloritizados.

**c) Yarhui Koya:** El intrusivo de Yarhui Koya presenta una coloración gris, con fenocristales de anfíbol que a veces sobrepasan los 2 cm. de longitud; es frecuente encontrar grupos de hornblendas que dan la apariencia de enclaves; una característica importante es que la distribución mineralógica de este cuerpo intrusivo es constante y no muestra una distribución especial de minerales, en todo este cuerpo igneo. Una muestra del intrusivo de Yarhui Koya, tiene una fábrica porfídica, con fenocristales de hornblenda (a veces muy cloritizadas) y plagioclasa (An48-52), en una pasta criptocristalina; la biotita está también presente en formas subhedrales a menudo de tamaños micro y criptocristalinos, cristales totalmente serpentinizados (probable olivino) se encuentran a veces en la sección sin embargo estos son de tamaño muy reducido, las augitas son de tamaño pequeño y a menudo muestran procesos de serpentización, el apatito es de pequeña dimensión y muy frecuentemente se encuentra alojado en plagioclasas y hornblendas.

El intrusivo de Yarhui Koya presenta una fábrica porfídica felsófica, y ha sido clasificada como una andesita.

Los cristales bien desarrollados y grandes sin zonación en las rocas mas básicas muestran que la cámara donde se habrían originado, estaba en un estado de equilibrio con cristalización lenta, donde las velocidades y gradiente de enfriamiento eran continuos; sin embargo, a medida que evolucionaba la cámara magmática la disminución de la temperatura (por variación de la presión) fué más rápida lo que produjo un aumento del calor hacia la superficie (por difusión y convección) lo que provocó el desequilibrio cristal/líquido dando origen a la reacción de la plagioclasa con el líquido residual. Los procesos estacionarios de gradiente de calor y variación de la presión habrían provocado la zonación.

La circulación de fluidos en la fase intergranular habría provocado la serpentización de olivinos, piroxenos cloritización de hornblendas y biotitas.

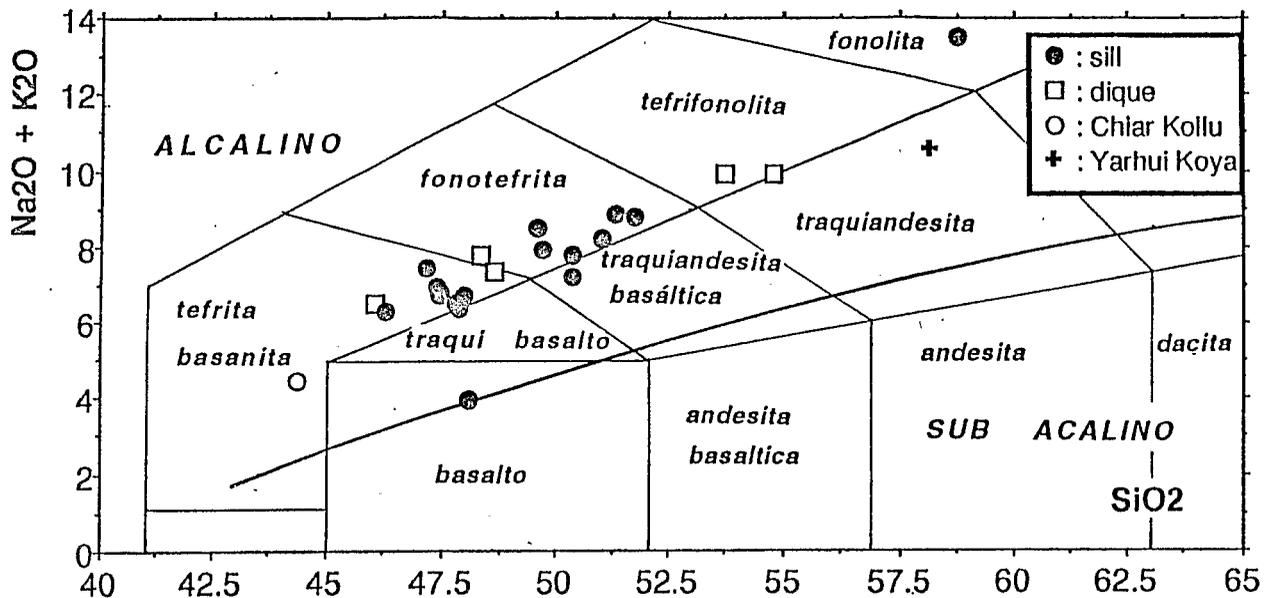


Fig. 5. Diagrama T.A.S. (I.U.G.S., 1984), en línea gruesa el límite entre el campo de las rocas alcalinas y subalcalinas (Kuno, 1966).

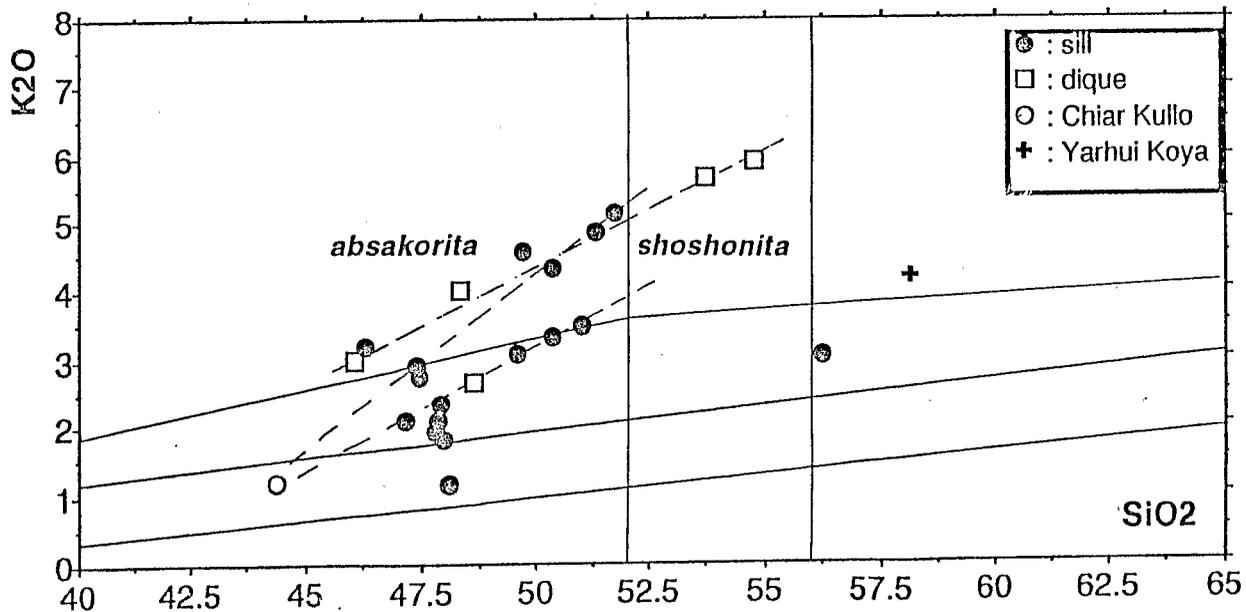


Fig. 6. El diagrama muestra dos tendencias de cristalización de los sills a partir de un miembro inicial muy básico (Chiar Kollu muestra, JAC 6).

## GEOQUIMICA

Los análisis geoquímicos muestran que todo el conjunto de rocas son de composición peraluminosa a excepción de la muestra de Chiar Kollu (JAC 6) que tiene una composición metaluminosa, este conjunto tiene una afinidad alcalina (Fig. 4); la mayoría de los sills de la formación Tambillo son alcalino potásicos, sólo cuatro muestras de sills son alcalino sódicas (entre ellos la muestra de Chiar Kollu), los diques y el intrusivo de Yarhui Koya son alcalino potásicos.

Según el diagrama TAS (Sabine, IUGS, 1989), las muestras obtenidas de los sills Tambillo se encuentran clasificadas como: basaltos, tefritas basanitas (con inclinación a traquibasaltos), fonotefritas, traquiandesita basáltica, traquiandesita y tefrifonolita (Fig. 5). Los diques corresponden a: tefritas basanitas, fonotefritas y tefrifonolitas y el intrusivo de Yarhui Koya corresponde según este diagrama a una traquiandesita.

a) **Los sills:** Los datos geoquímicos de los sills cuando son ploteados, muestran dos tendencias de cristalización (Fig 6) a partir de un miembro muy básico (JAC 6), lo que puede explicarse por la presencia de "cumulus" de olivino, piroxeno y plagioclasa (JAC 6, JAC 2, TA 5, TA 6, FD 2S, FD 9S, FD 10S, FD 11S, FD 12S, TA 2) otras que corresponden más a líquidos magmáticos con "cumulus" de piroxeno y plagioclasa (FD 8S, FD 7S1, FD7S, FD 3S, FD 5S, 18SA) y líquidos magmáticos (FD 1S, FD 4Sd).

El contenido de sílice para los sills varía en un rango de 44,34 (Chiar Kollu) a 58,75 (muestra mas diferenciada), pero la gran mayoría de sills tienen un promedio aproximado de 48 %. Estos sills por lo general muestran altos contenidos de olivino normativo y nefelina normativa.

En los sills el K<sub>2</sub>O varía de 1,18 (JAC 6) a 10, 15 (FD 4Sd) con un promedio de mas o menos 3,5%. Las proporciones de CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disminuyen progresivamente en el transcurso de la diferenciación magmática en rangos que varían de 0,86 a 0,08 (Fig. 7). Asimismo los rangos de variación de Rb de 24 a 374 ppm con un promedio de 90, Zr de 172 a 1169 con un promedio de 200 ppm (Fig. 8) aumentan en el transcurso de la diferenciación mientras que los contenidos de TiO<sub>2</sub> que varían de 2,5 a 0,79% con un promedio de 0,96, V de 309 a 36 ppm con un promedio de 200 ppm, Ni de 186 a 2,3 pero con un promedio de 30 ppm, Co de 47 a 4 con un promedio 20 ppm (Fig. 9) y Sc de 34 a 4,5 ppm con un promedio de 15, disminuyen en el transcurso de la cristalización fraccionada.

Estas rocas tienen características de un magmatismo alcalino intraplaca con relaciones de La/Nb altas que varían en un rango de 4,92 a 1,19 con un promedio aproximado de 3, leyes Y/Nb de 3,54 a 0,50 con un promedio ~ 2,5 intermedias, Nb/Zr de 0,29 a 0,06 con un promedio de 0,07 bajas. Dos muestras analizadas de composición basáltica de los sills Tambillo procedentes del Picacho Jachi (Serranía de Urachata) y Sajsi muestran relaciones altas Th/Ta de 6,50 y 2,76 y relaciones de Th/Tb de 6,03 y 4,38 relativamente altas, razones de Tb/Ta de 1,08 y 0,63 y Hf/Ta de 6,33 y 2,89 altas.

Las razones de tierras raras La/Yb entre 32,97 y 11,20 tienen un promedio aproximado de 20, Sm/Yb entre 5,31 a 1,74 con un promedio aproximado de 3, lo que indica un proceso de fraccionamiento.

Las relaciones de elementos compatibles e incompatibles sugieren relativos grados de fusión parcial.

Las bajas concentraciones de HREE (tierras raras pesadas) por debajo de 10\* (normalizado, según el diagrama de Nakamura 1974) sugieren la presencia de granate en el origen (Fig. 10), así mismo las altas concentraciones de LREE (tierras raras livianas) sugieren también un débil grado de fusión parcial del manto ó que el origen estaba enriquecido en LREE; la regular trayectoria de las curvas muestra que estas rocas habrían sufrido un proceso de cristalización fraccionada. La anomalía de Eu/Eu\* de mas o menos 10 en la muestra FD 4Sd es consistente con la cristalización de plagioclasa como resultado de la extracción de un líquido magmático rico en sodio y calcio.

b) **Los diques:** Los diques parecen tener una sólo tendencia de diferenciación. Las muestras F13D, F12D presentan "cumulus" de olivino, piroxeno y plagioclasa, las demás muestras corresponden más a líquidos magmáticos.

Los diques con olivino y nefelina normativos muestran rangos de potasio que aumentan de 2,67 a 4,69 para una variación de SiO<sub>2</sub> entre 46,05 a 54,76

La razones de CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varían de 0,47 a 0,26 y son consistentes con un proceso de cristalización fraccionada (Fig. 7). La evolución básica ácida de los diques se observa también en el aumento progresivo de los contenidos de Rb que varían entre 59 a 169 ppm, Zr entre 96 y 307 (Fig. 8).

Este proceso básico-ácido se observa también en la disminución de elementos tales como el TiO<sub>2</sub> que muestra un rango de 1,19 a 1,01%, V entre 263 a 246, Ni de 70,6 a 5,9, Sc de 20,5 a 11,3 ppm, Co de 38,8 a 14,1 (Fig. 9).

Las relaciones de La/Nb son altas y se hallan en un rango de 3,68 a 2,57, Y/Nb es intermedio con razones que van de 3,70 y 1,27, Nb/Zr con valores de 0,10 a 0,5 bajos son característicos de rocas ígneas intraplaca.

Las relaciones de tierras raras; La/Yb varían de 21,94 a 12,98, Sm/Yb de 3,35 a 2,87 los mismos que indican procesos de fraccionamiento.

Los diagramas normalizados (Nakamura, 1974) muestran relaciones de HREE y LREE comparables con los sills (Fig. 11); los diques tienen contenidos de E/Eu\* entre 10,7 y 11,5; estos diagramas sugieren un origen con granate residual, la suave trayectoria de la curva indica un proceso de cristalización fraccionada.

c) **Yarhui Koya:** La muestra analizada presenta características de líquido magmático rico en sodio y calcio. Este intrusivo tiene un porcentaje de olivino normativo de 6,24 y nefelina normativa de 2,81, tiene un porcentaje de K<sub>2</sub>O = 4,16 y un contenido de SiO<sub>2</sub> = 58,2.

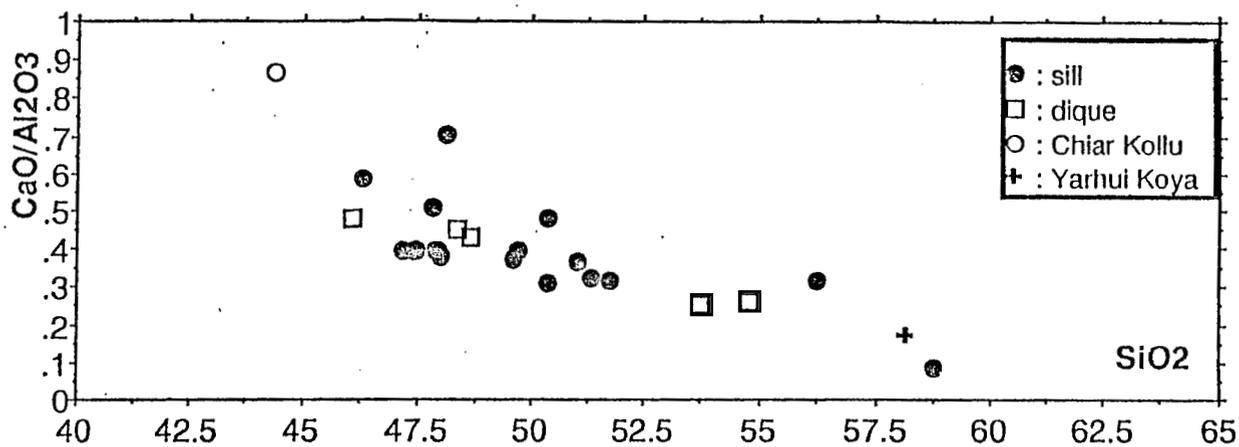


Fig. 7. Disminución progresiva de la razón  $CaO/Al_2O_3$  en el transcurso de la diferenciación.

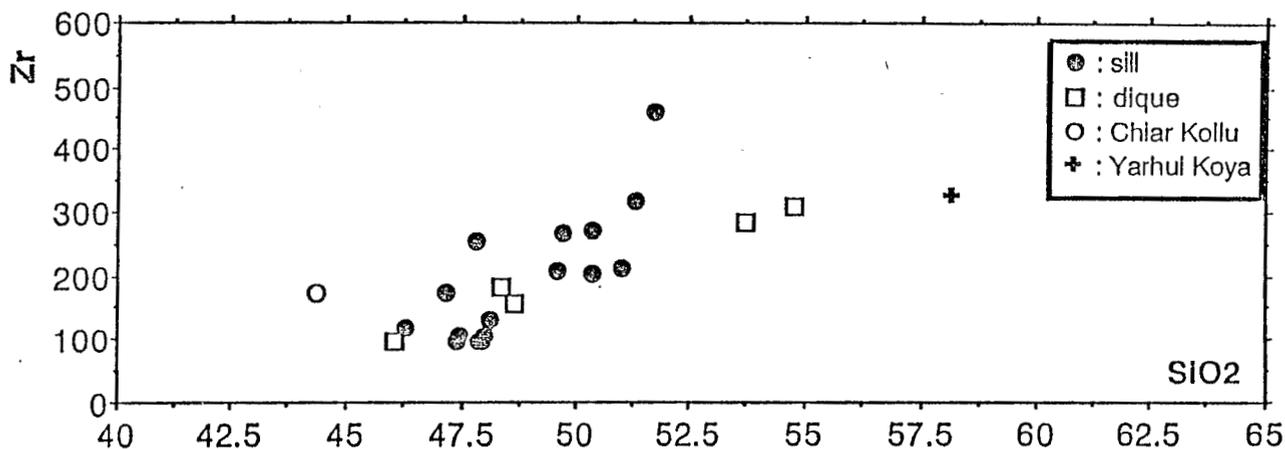


Fig. 8. Enriquecimiento de Zr en el transcurso de la cristalización fraccionada; con buena correlación en las muestras de los diques en comparación a los sills.

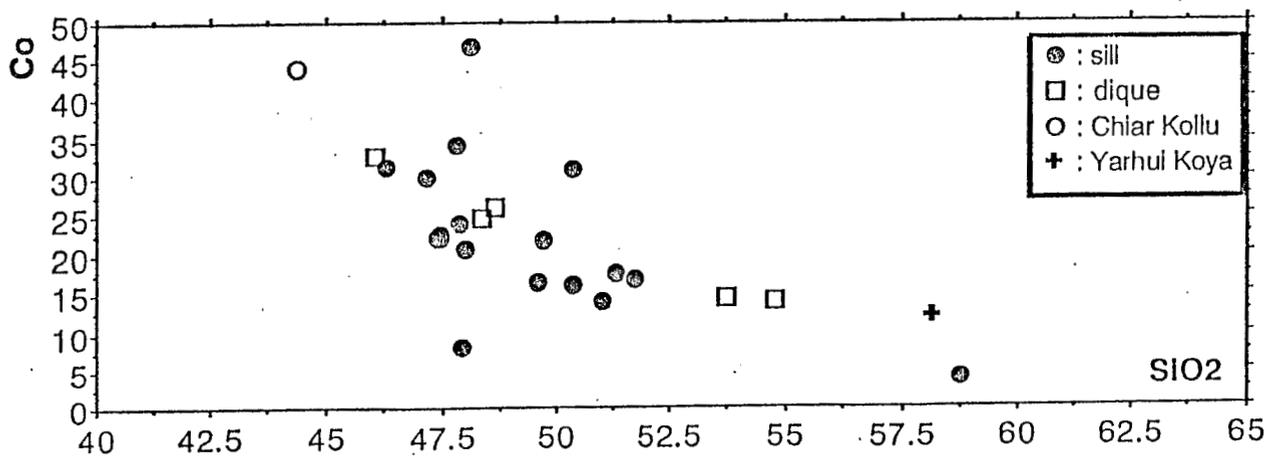


Fig. 9. Disminución de Co en el proceso evolutivo básico-ácido con buena correlación en las muestras de los diques.

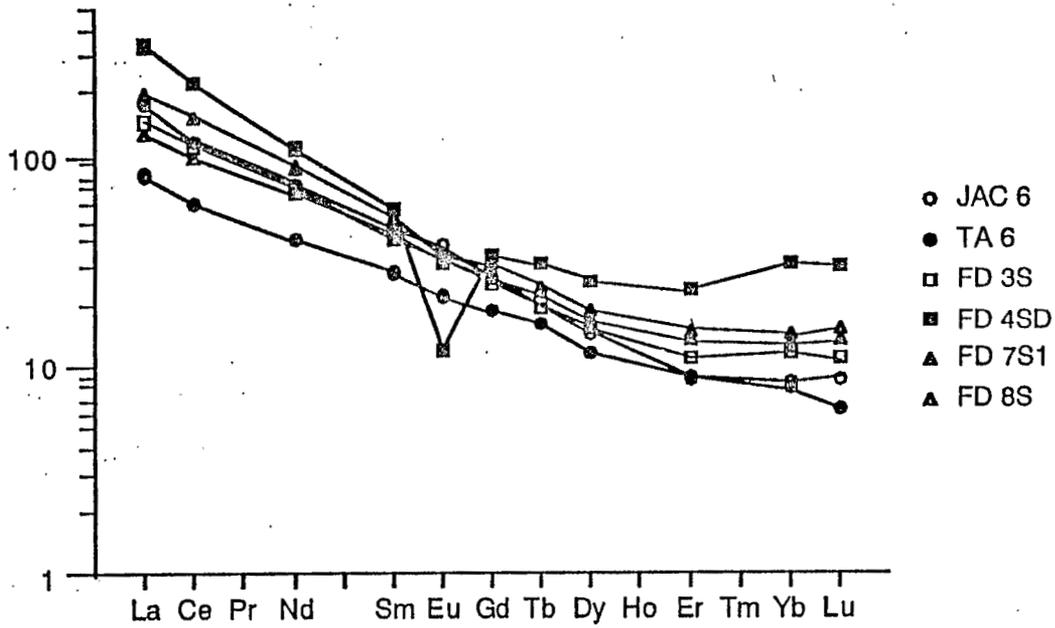


Fig. 10. Diagrama de Tierras raras normalizadas a condrita (Nackamura 1974) con anomalía de  $Eu/Eu^*$  consistente con la cristalización de plagioclasa en la muestra FD 4SD.

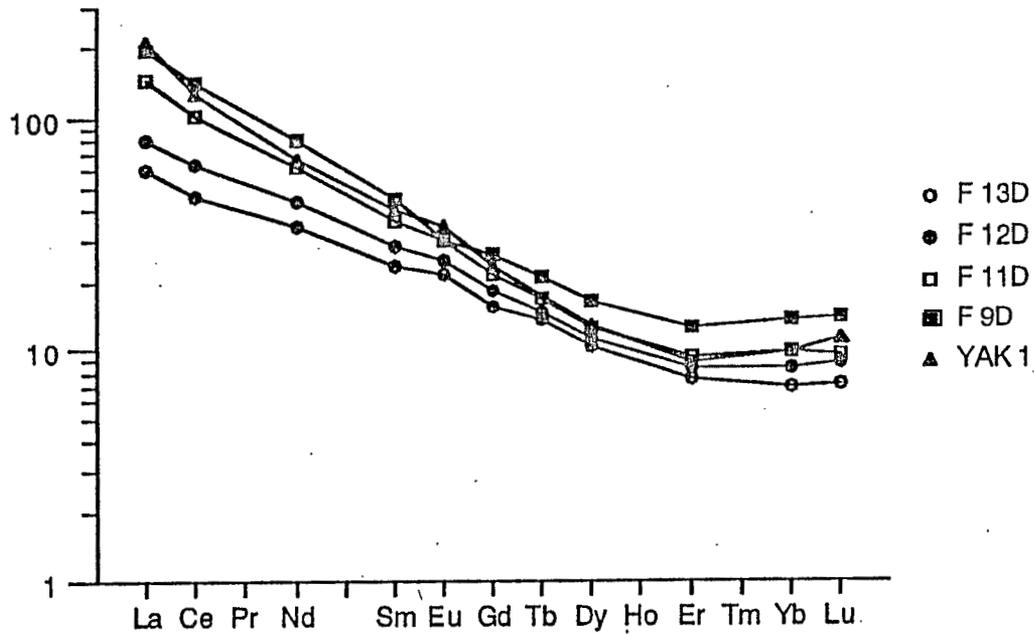


Fig. 11. Diagrama de Tierras raras normalizadas a condrita (Nakamura 1974) con perfiles similares en los diques y el intrusivo de Yarhui Koya YAK1.

La muestra del Yarhui Koya muestra: valores relativamente altos de Rb = 77 ppm, Zr= 324, valores bajos de TiO<sub>2</sub> = 0,75, V= 103, Ni= 14, Co=12, Sc = 8,1, valores intermedios de Y/Nb (1,04), Nb/Zr=0,8 relativamente bajo, y razones de tierras raras La/Yb=31,50 y Sm/Yb=3,74; este cuerpo intrusivo se habría formado por procesos de diferenciación fraccionada.

El diagrama Rock/Chondrite de Nakamura (1974) muestra tendencias similares a los sills con LREE enriquecidos y con valores bajos de HREE, la curva indica que este intrusivo se ha originado por un proceso de cristalización fraccionada, con una débil anomalía positiva de E/Eu\* (~11).

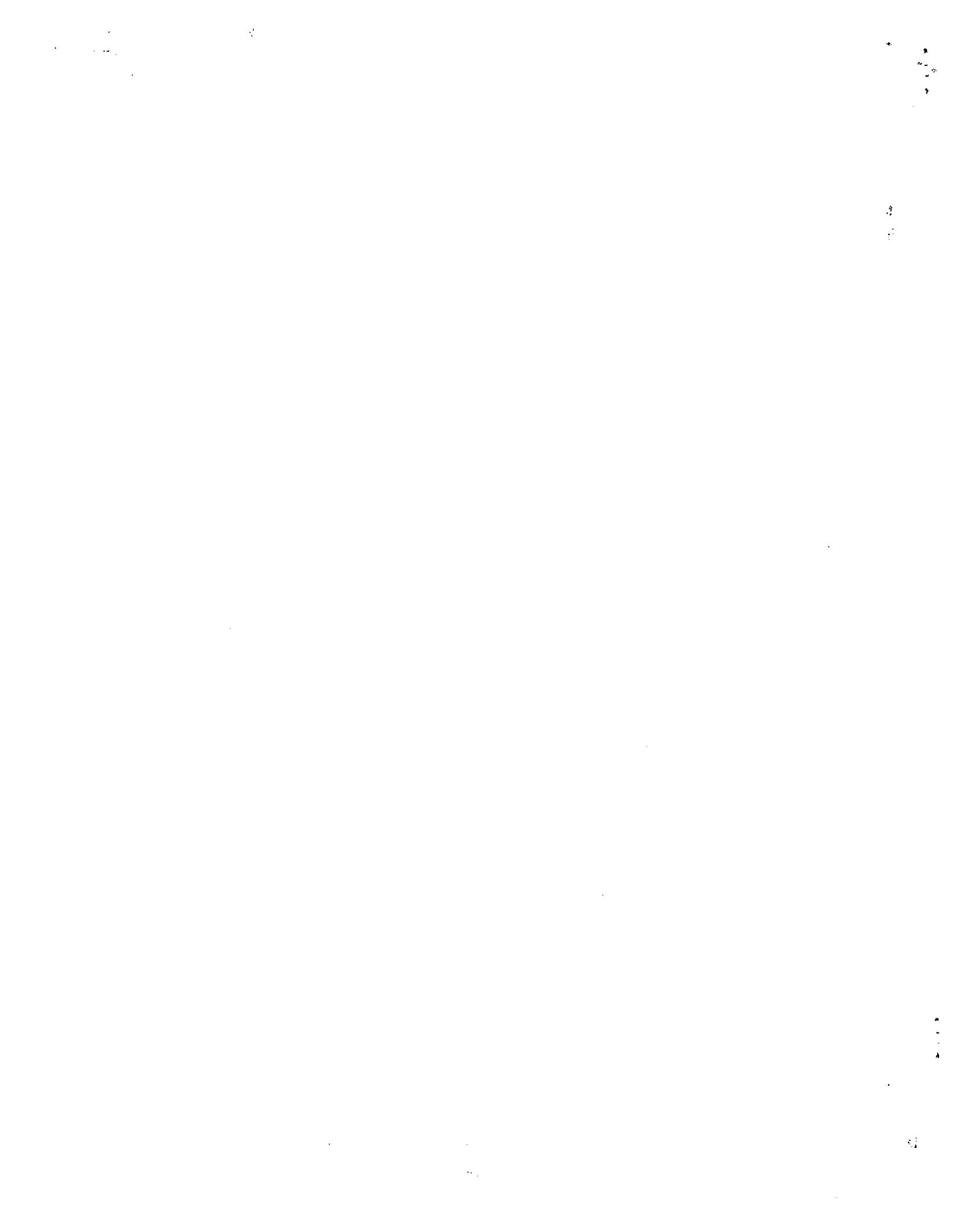
#### Conclusión

Los sills, diques e intrusivos parecen todos derivar de un mismo origen; se han formado por procesos de diferenciación fraccionada de un manto que tenía en su composición granate, con tasas de fusión parecidas. Mas en detalle los sills muestran dos líneas de diferenciación levemente divergente mientras que la línea definida por los diques se inicia con una tasa de fusión inicial más elevada.

Este evento se ha desarrollado en un lapso de tiempo relativamente corto (25-20 Ma), aparentemente en relación con procesos transtensivos intraplaca.

#### REFERENCIAS

- BROWN G.C., THORPE R.S. & WEBB J. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Geol. Soc. London*, Vol. 141, p. 413-426.
- EVERNDEN J. F., KRIZ S. J. & CHERONI M. C. 1977. Potassium-Argon ages of some bolivian rocks. *Economic Geology*, v. 72, p. 1042-1061.
- HOKE L. & LAMB S. (Comment), Davidson J.P. & Shanaka L. S. (Reply), 1993. Volcanic rocks from the Bolivian Altiplano: Insights into crustal structure, contamination and magma genesis: Comment and reply". *Geology*, v 21, p. 1147-1149.
- PEREZ M.M., 1963. Estudio geológico del área: Sevaruyo-Salar de Uyuni. Tesis de grado. UMSA.
- SABINE P.A., 1989. Setting standards in petrology: The commission on systematics in petrology. *Episodes*, Vol 12, No.2, p.84-86.
- SANCHEZ A. & WATANABE M. 1986. Edades radiométricas en Bolivia. F.C.G./I.G.E. Vol 1. Convenio UMSA JICA.
- SEMPERE T., HÉRAIL G. & JAIME O. 1988. Los aspectos estructurales y sedimentarios del oroclino boliviano. V congreso Geológico Chileno, T.I, p. 127-142.
- SOLER P., CARLIER G., BONHOME M.G. & FORNARI M., 1993a. Field observations and K/Ar dating of the Cerro Chiar Kollu (Southern Altiplano-Bolivia). Second ISAG/Oxford (UK), p. 443-446.
- SOLER P. & JIMENEZ C. J. 1993b. Magmatic constraints upon the evolution of the bolivian Andes since late Oligoceno times. Second ISAG/Oxford (UK), p. 447-451.



SOCIEDAD GEOLOGICA BOLIVIANA



MEMORIAS DEL  

---

XI CONGRESO GEOLOGICO  

---

DE BOLIVIA  

---

SANTA CRUZ, 6 - 9 DE OCTUBRE DE 1994



AUSPICIA  
YACIMIENTOS PETROLIFEROS FISCALES BOLIVIANOS

