

GEOCRONOMETRIA DEL MAGMATISMO CRETACICO-TERCIARIO DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

Jerjes Pantoja Alor *

RESUMEN

Se analizan 36 edades isotópicas de las cuales 15 se obtuvieron por el método de Plomo/Alfa (Pb/Alfa) y 21 por el método de Potasio/Argón (K/Ar). Las determinaciones isotópicas abarcan desde los 100 m.a. (Cenomaniano temprano) hasta los 26 m.a. (Oligoceno-tardío) aunque el magmatismo se inició en el Jurásico Tardío. De acuerdo con su ambiente de formación, 24 de las rocas fechadas corresponden a intrusivos plutónicos y a rocas volcánicas, 3 a rocas metamórficas y 2 a minerales de pegmatitas. Se define claramente un evento plutónico que se inicia a finales del Albiano (100 m.a.) culminando en el Coniaciano (88 m.a.) al cual le sigue un *hiatus* o intervalo de poca o nula actividad magmática de más de 20 m.a. de duración. El magmatismo se reinicia en el Paleoceno temprano (66 m.a.) con un evento intrusivo que continuó posiblemente hasta el Oligoceno tardío, el cual fue acompañado por un vulcanismo comagmático, de carácter más ácido en su fase final.

De acuerdo con los análisis químicos, el plutonismo cretácico tiene un carácter calcialcalino, con deficiencias en Ca y Mg así como un ligero enriquecimiento en K. El plutonismo y vulcanismo terciario tiene un carácter calcialcalino con marcadas deficiencias en Ca y Mg y un fuerte enriquecimiento en K sobre todo en sus fases volcánicas finales. Las pocas determinaciones isotópicas de Sr^{87}/Sr^{86} sugieren la carencia de una corteza siálica precámbrica debajo de la actual cubierta de rocas mesozóicas y posiblemente paleozoicas.

ABSTRACT

Thirty six isotopic ages were analyzed, to which 15 were obtained by the Pb/Alfa method and 21 by the K/Ar method. The isotopic measures date from 100 to 26 m.y. (Early Cenomanian-Late Oligocene) eventhough the magmatic activity was initiated during the Late Jurassic. According to their mode of occurrence, 24 of the dated rocks belong to plutonic intrusives and volcanic rocks, 3 of them to metamorphic rocks and 2 to minerals of pegmatite. A plutonic event is well defined, which began at the end of the Albiane (100 m.y.) terminating in the Coniaciane (88 m.y.). After this plutonic event, there was a hiatus or period of time larger than 20 m.y. of none or few magmatic activity. The magmatism was reiniciated in the Early Paleocene (66 m.y.) with an intrusive event that possibly continued through the Late Oligocene, joined by a comagmatic volcanism, of acid type in its final stage. According to chemical analysis, the cretaceous plutonism has a calc-alkaline character with Ca and Mg deficiencies, as well as a light K enrichment. The tertiary plutonism and vulcanism has a calc-alkaline character with high deficiencies in Ca and Mg and a strong K enrichment, especially in their final volcanic stages. The few isotopic determinations of Sr^{87}/Sr^{86} suggest the lack of precambrian earth crust below the actual mesozoic and possibly paleozoic cover.

* Consultor técnico de la Comisión Federal de Electricidad México, D. F.

INTRODUCCION

Las exploraciones para la localización de nuevos proyectos hidroeléctricos llevados a cabo por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la cuenca del Río Balsas y las exploraciones para la localización de yacimientos de fierro realizadas por Hojalata y Lámina (HYLSA) en la Sierra Madre del Sur, han permitido la cartografía geológica preliminar de una gran parte de los Estados de Guerrero y Michoacán, la que a su vez ha proporcionado nuevos datos sobre la geocronología del magmatismo cretácico-terciario de esa región. Para poder correlacionar la nueva información con la historia geológica ya publicada se elaboró el presente resumen, el cual por ningún concepto tiene el carácter de exhaustivo.

MAGMATISMO CRETACICO

Las manifestaciones más antiguas de un magmatismo cretácico afloran cerca de la costa de Michoacán en las proximidades de su límite con el Estado de Colima (Pantoja Alor, 1981a), en donde dentro de una gruesa secuencia de rocas pelíticas y calizas arrecifales se intercalan horizontes de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición andesítica y dacítica. En el conglomerado basal de esta secuencia se colectaron varios ejemplares de *Sphiticerias* Sp., amonita de edad berrasiana. Estos conglomerados descansan sobre tobas y rocas piroclásticas moradas de composición dacítica, cuya edad posiblemente baje hasta el Jurásico Tardío. En esta región la parte superior de la secuencia cretácica se encuentra coronada por aglomerados, brechas, tobas y limolitas tobáceas que son cubiertas por bancos de caliza arrecifal con abundantes rudistas y pelecípodos del Albiano temprano. Más al norte, entre Coalcomán y Tepalcatepec, Mich., el evento volcánico de esta edad obtuvo una mayor actividad y extensión adquiriendo la secuencia un carácter predominantemente volcánico marino con pequeñas áreas positivas. Lo anterior infiere la presencia de un arco insular de edad cretácica temprana cuyo límite superior posiblemente alcance el inicio del Cretácico Tardío y cuyo eje de mayor actividad se localizó entre los 100 y 150 km de la actual línea de costa lo que hoy constituye el núcleo de la Sierra Madre del Sur.

Una sección medida por Pantoja Alor en el Cerro de Tuxpan, al oriente de Ciudad Guzmán, Jal., con fósiles del Aptiano Superior-Albiano Inferior (Buitrón, *et al*, 1978) descansa sobre una potente sección de ignimbritas y derrames dacítico-andesíticos a la cual se le asignó tentativamente el nombre de Formación Tecalitlán. Un poco más al norte de esta localidad, en la región de Zapolitit y Huescalapa, un grueso banco de caliza arrecifal con abundante microfauna del Cenomaniano, sobreyace sobre volcanoclásticas verdes y es cubierta por derrames basálticos, andesíticos y riolíticos con intercalaciones delgadas de lentes de caliza cuyas edades dentro del Cretácico Tardío aun no se determinan.

Otra sección de más de 800 m de espesor de limolitas verdes, rocas volcanoclásticas y derrames submarinos de composición andesítica hasta riolítica fue medida en la Barranca de la Navidad cerca de la Mina del Encino, Jal. (Pantoja Alor, *et al*, 1978). Sobre una toba riolítica de la parte superior de esta unidad se depositó un grueso banco de rudistas y pelecípodos de edad albiana temprana.

Las primeras evidencias de un vulcanismo antiguo en la Cuenca del Río Balsas se infiere al describirse las intercalaciones de conglomerados de guijas andesíticas de la Formación Angao (Pantoja Alor, 1959) provenientes probablemente de un terreno volcánico localizado más al sur de Huetamo. El vulcanismo continúa esporádicamente como lo demuestran las capas volcanoclásticas que forman la parte superior de la Formación San Lucas del Aptiano tardío, y los derrames y conglomerados volcánicos de la Formación Mal Paso, del Cenomaniano-Turoniano.

Varios afloramientos de conglomerados y derrames basáltico-andesíticos almohadillados fueron descritos en un estudio realizado por Pantoja Alor (1970) sobre la Geología del Río Balsas, entre Mexcala y Ciudad Altamirano, Gro., trabajo realizado para el Consejo de Recursos Minerales. En estudios más recientes estos afloramientos fueron incluidos dentro de la Formación Xochipila (De Cserna, *et al*, 1978) de edad cenomaniana-turoniana y enmarcando al vulcanismo andesítico-basáltico de la región de Tierra Caliente (Altamirano y Arcelia) en la Formación Mal Paso. Campa (1978, p.13) considera que la po-

tente secuencia de rocas volcánicas y los numerosos derrames andesíticos almohadados de Tierra Caliente y Balsas Medio forman parte de un arco insular desarrollado durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano, el cual fue metamorfozido durante el Cenomaniano.

Estudios geológicos que realiza actualmente CFE al sur de Coyuca de Catalán, sobre la Sierra Madre del Sur, descubren la presencia de una gruesa secuencia volcánica y volcánicla continental (Cretácico Tardío-Paleoceno) que descansa sobre esquistos de edad no determinada y es cubierta por conglomerados de edad Eocénica.

MAGMATISMO TERCIARIO

Después del *hiatus* magmático del Cretácico Tardío el magmatismo del Terciario se inicia con un continuo y amplio evento plutónico acompañado de un vulcanismo comagmático que dura más de 36 m.a. y cuyas evidencias más antiguas corresponden a los cuerpos batolíticos de Pihuamo en Jalisco, Aquila en Michoacán y Las Salinas y El Papayo en Guerrero, todos de edad paleocénica, sin descartarse la posibilidad de que algunos de ellos sean más viejos. Este evento continúa durante todo el Eoceno dando origen al batolito de Ostula en la costa de Michoacán, al tronco de Tepetitla en el Estado de México y a los cuerpos de Coxcatlán, La Guacamaya y Alchólola en el Estado de Guerrero. Los efectos de este plutonismo siguen durante el Oligoceno produciendo un cinturón de batolitos a lo largo de toda la Cuenca del Río Balsas, culminando con el emplazamiento del Tronco de Tlaica en Morelos, que constituye la exposición más septentrional de este largo y continuo evento intrusivo del Terciario.

El vulcanismo terciario ha sido tratado con mayor amplitud dentro de la literatura geológica de la Sierra Madre del Sur que su contraparte cretácica. Las primeras extravasaciones las describe Fries (1960, p.96) dentro de la Formación Balsas de la parte norte de Guerrero y del estado de Morelos. Confirman posteriormente la presencia de este evento varias tesis llevadas a cabo en la región comprendida entre Iguala y Chilpancingo (Bolívar, 1963; Crespo Hernández y Dávila Alcocer, 1974). Al oriente de la carretera México-Acapulco unos 7 km aguas arriba del Río Balsas, Nájera Garza (1965), describe basaltos y brechas andesí-

ticas en la Angostura de Tetelcingo colocándolos en la Formación Balsas. Un estudio más reciente de Ortega Gutiérrez (1980) asigna el nombre de Formación Tetelcingo a las tobas, brechas y basaltos descritos por Nájera (*op. cit.*) y les asigna en base a dos determinaciones radiométricas obtenidas por el método K/Ar, una edad maestrichtiana. Debido a que la muestra de basalto de las que se obtuvo una de estas edades contenía abundante calcita secundaria, fue tratada con ácido clorhídrico y sometida a un nuevo análisis isotópico obteniéndose una edad de 52 ± 2 m.a., correspondiente al Eoceno temprano.

Al sur de Tetela del Río, en el Cerro de Mextepec, Armstrong (De Cserna, comunicación personal) colectó una muestra de basalto de olivino dentro de la Formación Balsas. Una determinación isotópica de esta muestra (24CFE-2) dió una fecha 42 ± 1 m.a. que corresponde al Eoceno tardío.

Trabajo cartográfico reciente llevado a nivel de reconocimiento geológico preliminar (Pantoja Alor, 1980b) informa de la presencia de ignimbritas y derrames piroclásticos de composición riolítica y de edad eocénica, en la región de Tierra Caliente. En un trabajo anterior esta secuencia fue mapeada como del Oligoceno (De Cserna, 1978), edad que posiblemente corresponda su parte superior. En esta misma región se designó con el nombre de Serie Volcánica Characharando (Pantoja Alor, 1959, p.25) a una secuencia de derrames y brechas riolíticas, traquíticas, andesíticas y basálticas que descansan discordantemente sobre capas rojas que bien pudieran pertenecer a la Formación Balsas; por lo tanto, la edad probable de esta serie corresponde al Eoceno tardío o al Oligoceno temprano, descartando la edad miocénica anterior.

Al sur del Río Balsas, entre los meridianos $100^{\circ} 30'$ y $102^{\circ} 00'$ no se cuenta con información veraz que permita establecer una secuencia de eventos del vulcanismo terciario. Como se dijo anteriormente, parte de la secuencia volcánicla basal y la cubierta volcánica superior, con excepción de pequeños remanentes de tobas y material piroclástico oligocénico, se han considerado como cretácica-terciaria, abarcando parte del Maestrichtiano, el Paleoceno y llegando hasta el Eoceno.

La unidad volcánica más antigua que cubre discordantemente a la Formación Balsas en la región centro meridional de Guerrero es la Formación Agua Obispo. Consiste de unos 800 a 1.200 m de tobas, derrames piroclásticos y rocas volcanoclásticas de composición latítica a andesítica a las que se les ha asignado una edad oligocénica (De Cserna, 1965). El vulcanismo continuó dando origen a la Formación Alquitrán que está compuesta de una sección de 800 m de espesor de derrames piroclásticos de composición riódacítica (De Cserna, 1965, p.30), a los que también se les asigna una edad oligocénica, aunque pudieran ser más viejas.

En la región de confluencia de los ríos Potrereros y Xaltianguis con el Río Papagayo aflora una serie de derrames lávicos y de material piroclástico de composición riolítica a los cuales De Cserna (1965, p.32) denominó como Formación Papagayo. Según este último autor (*op. cit.*) los trabajos geológico-cartográficos no proporcionaron los datos relativos a su posición estratigráfica con respecto a las formaciones Agua de Obispo y Alquitrán, pero en base a una edad aparente de 37 ± 2 m.a. (27 CS-135-56) que obtuvo la biotita de un esquisto (27 CS-135-56) de la Formación Xolapa, se le asignó una edad oligocénica. Se supuso que la extravasación de las lavas recalentó a esta última unidad dando una edad terciaria.

Una serie de derrames piroclásticos riolíticos que constituyen testigos de erosión de afloramientos mayores que cubrieron la región al norte del Río Balsas han sido correlacionados con la Riolita Tilzapotla cuya extravasación de carácter explosivo ocurrió en los inicios del Oligoceno tardío (Fries, 1960). Al vulcanismo basáltico-andesítico de esta misma zona, cuya edad puede ser oligocénica o más joven, se le incluye dentro del Grupo No-Diferenciado de Fries (*op. cit.*).

Al vulcanismo del Terciario del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, Fries (1960) lo divide en tres grandes unidades: Riolita Tilzapotla, Grupo Buenavista y Grupo No-Diferenciado.

La Riolita Tilzapotla comprende tobas, brechas tobáceas y corrientes lávicas de composición riolítica. El grupo Buenavista consiste de una su-

cesión volcánica gruesa de corrientes lávicas, brechas y tobas de composición andesítica. El Grupo No-Diferenciado abarca a la mayoría de las rocas volcánicas arriba de la Riolita Tilzapotla, que no son de composición riolítica; afloran al norte del Río Amacuzac y al sur de Cuernavaca, incluyendo una pequeña área de afloramientos al oriente de Iguala (Fries, 1960, p.115).

GEOCRONOMETRIA

En el presente trabajo se analizan 36 edades isotópicas de las cuales 15 se obtuvieron por el método Pb/Alfa y 21 por el método de K/Ar. Las determinaciones isotópicas abarcan desde los 100 m.a. (Cenomaniano temprano) hasta los 26 m.a. (Oligoceno tardío) aunque el magmatismo que aquí se discute se inició probablemente en el Jurásico Tardío. De acuerdo con su ambiente de formación 24 de las rocas fechadas corresponden a intrusivos plutónicos, 7 a rocas volcánicas, 3 a rocas metamórficas y 2 a minerales de pegmatitas. Estas edades se obtuvieron de la revisión, sin pretender que fuera exhaustiva, de varios estudios sobre la Sierra Madre del Sur, publicados desde 1956 hasta la fecha. Además se dan a conocer nuevas dataciones que serán objeto de futuras publicaciones. Se aclara, que aunque existen de la región varias edades isotópicas obtenidas por el método de Rubidio/Estroncio, no se incluyeron dentro del texto debido a su carácter controversial.

Las 36 edades isotópicas, su número de localización, número original de recolección, método, mineral utilizado y referencia aparecen en la Tabla 1. Su localización se marca en el mapa de la Figura 1.

EDADES ISOTOPICAS CRETACICAS

Las primeras rocas para determinaciones radiométricas del magmatismo de la Sierra Madre del Sur, fueron colectadas por De Cserna (1956) acompañado por Pantoja Alor quien entonces era becario del Instituto de Geología de la UNAM. Las muestras correspondieron a rocas intrusivas de los troncos de Acapulco (1 LG-9 y 2 F56-21), Xaltianguis (4 LG-43 y 5 LG-25). El Ocotito (6 F56-19) y Placeres del Oro (3 F55-52), ubicados todos en el Estado de Guerrero. Representan un evento intrusivo que se inició en el Cenomaniano y terminó

en el Turoniano o principios del Coniaciano, abarcando entre los 100 m.a. y 90 m.a. Los datos fueron publicados por Larsen y colegas (1958, p. 46-47), por Jaffe y colaboradores (1959) y posteriormente en 1962 y 1963, Fries colectó dos muestras en una tentativa para ampliar los conocimientos acerca de la edad del Granito de Acapulco (Fries y Rincón Orta, 1965, p. 94-95). Debido a su muerte no le fue posible conocer los resultados de dichas determinaciones, las cuales fueron publicadas por De Cserna y colaboradores (1974a). Al graficar en la Figura 2 las edades isotópicas del plutonismo cretácico tardío contra su distancia de la actual Trinchera Mesoamericana, podemos conocer la amplitud o extensión de la franja batolítica la cual alcanza 120 km considerando arbitrariamente su inicio en la línea de costa y su término a la latitud del tronco granodiorítico de Placeres del Oro.

El tronco de pórfido latítico de Tlacotepec, Gro. (9 LG-113) confirma hacia el norte del Tronco de Ocotito, el avance del frente magmático cretácico, a la vez que evidencia las raíces de un vulcanismo comagmático acompañante al evento plutónico.

Una muestra (7HYLSA 1) de un dique diabásico que corta a las volcánicas rojas que constituyen la base sobre la que descansa la Formación Encino, en la mina del mismo nombre en Jalisco, dió una edad de 93 ± 4 m.a., por el método de K/Ar, utilizando los minerales de la matriz (Carrión, 1982, comunicación personal). Puesto que las volcánicas rojas tienen una edad preaptiana tardía, la edad cenomaniana del dique puede indicar un vulcanismo básico en dicha época, o bien una rehomogenización de los minerales por efectos térmicos debido al emplazamiento del Tronco de Pihuamo, cuya edad más reciente se considera paleocénica, aunque por tratarse de un batolito compuesto-complejo pudiera tener partes más antiguas.

Para comprobar la edad de la Formación Tecalitlán se colectó una muestra (8 JP-230) de un dique o derrame de dacita porfídica de la cual se obtuvo por el método K/Ar una edad de 92 ± 2 m.a. Esta edad discrepa con la evidencia paleontológica que indica una edad anterior al Aptiano tardío y posiblemente refleje la pérdida de Ar debida a un evento térmico regional origi-

nado por el emplazamiento de varios cuerpos granitoides durante el Terciario.

Estas dos últimas edades cenomanianas introducen un elemento de duda que será necesario esclarecer con estudios geológicos y paleontológicos detallados y nuevas edades isotópicas de las volcánicas rojas de la Formación Tecalitlán.

EDADES ISOTOPICAS TERCIARIAS

Para ayudar a establecer la edad de los depósitos clásticos continentales y conocer la interrelación y límites cronológicos del plutonismo cretácico-terciario, Fries y De Cserna colectaron 6 muestras a las cuales se les determinó su edad por el método de Pb/Alfa. Los resultados fueron publicados por De Cserna y Fries (*postmortem*) y otros colegas (1974b) obteniéndose edades que van del Paleoceno al Oligoceno tardío, en una franja que se inicia en la costa del Pacífico y termina a la altura del paralelo $18^{\circ} 50' 00''$. Estas determinaciones corresponden a las muestras 19 LG-22, 21 LG-15, 23 F61-77, 25 LG-23 y 27 CS-135-56.

La muestra 11 JP-228 colectada al sur de Tecalitlán, Jal. pertenece a una toba riolítica intercalada dentro de la secuencia de rocas volcánicas de la Formación Tecalitlán de edad preaptiana tardía. La fecha aparente obtenida de 66 m.a. indica un evento térmico producido por el emplazamiento de cuerpos granitoides terciarios en las cercanías de donde se colectó la muestra.

La edad absoluta 66 ± 1 m.a., para la muestra 12 HYLSA 2 correspondiente a una cuarzo-monzonita colectada por Carrión (1982 comunicación personal) abajo de la Mina de El Encino, indica la fecha de emplazamiento del batolito o tronco de Pihuamo, el cual se encuentra íntimamente relacionado con la mineralización de fierro que ocurre en su periferia. Sin embargo, es conveniente aclarar que el vulcanismo comagmático que aparentemente acompañó a este cuerpo indica una edad más antigua pudiendo tratarse de un batolito compuesto y complejo afectado por varios eventos plutónicos.

Para conocer la edad del batolito de Aquila, Mich., se tomó la muestra (JP-208) la cual fue fechada en forma parcada por el método de K/Ar, utilizando la hornblenda (13 JP-208) la cual dió

una edad de 63 ± 1 m.a. y la biotita (14 JP-208) la cual registró una edad de 61 ± 1 m.a. ambas para la misma roca granodiorítica. Las determinaciones pareadas indican un tiempo paleocénico para el emplazamiento del cuerpo, el cual se encuentra genéticamente relacionado con la mineralización de Fe de los yacimientos de Aquila y la Colomera y otros que ocurren en la margen septentrional del intrusivo. Un poco más al sur del batolito de Aquila y dividido por una gruesa secuencia de metasedimentos pelíticos aflora el batolito de Ostula, Mich., cuyas edades pareadas se obtuvieron de una muestra (17 JP-201 y 18 JP-201) granodiorítica utilizando la hornblenda (57 ± 1 m.a.) y la biotita (56 ± 1 m.a.) usando el método K/Ar. Las edades paleocénicas del batolito de Aquila indican el inicio y las edades eocénicas representan la continuación del plutonismo terciario característico de las costas de Jalisco, Michoacán y Colima.

Las primeras edades del vulcanismo basáltico-andesítico que ocurren dentro de la Formación Balsas se obtuvieron de muestras colectadas por Ortega y De Cserna (en Maycotte y De Cserna 1981) sobre el Río Balsas en San Juan Tetelcingo y Tetela del Río, Gro., correspondiendo según estos autores a un proceso distensivo de la corteza superior durante el Eoceno.

La edad paleocénica de la monzonita cuarcifera (15 UA-77-130) de Las Salinas, será publicada por Damon y colaboradores (1982, en prensa) siendo colectada por Clark durante un estudio de los pórfidos cupríferos de edad laramílica de México y los Estados Unidos. Durante este trabajo se obtuvieron también las 6 muestras (29 UA-77-131, 30 UA-77-131, 31 UA-77-132, 32 UA-77-139, 33 UA-77-136 y 34 UA-77-137) de edad oligocénica que conforman parte del cinturón batolítico que se inicia al poniente de Tepalcatepec y continúa al oriente de Mexcala, Gro. Al mismo evento corresponden las muestras 22 JP-182 y 28 JP-172 las cuales fueron colectadas durante los trabajos cartográficos realizados por Pantoja Alor (1981b) para CFE.

La evidencia más septentrional del plutonismo del Terciario dentro del área estudiada corresponde al emplazamiento del tronco diorítico de Tlaica, Mor., hace 30 ± 3 m.a., edad obtenida del Zr de una muestra (35 Lg-58) fechada por el método de Pb/Alfa.

Para poder determinar la edad de la base de la Formación Tilzapotla, Fries (1960) colectó una muestra (36 F-56) de la cual se obtuvo una edad de 25 ± 2 m.a. por el método de Pb/Alfa, edad que resulta la más joven del magmatismo de la Sierra Madre del Sur, no relacionada con el vulcanismo miocénico o plio-cuaternario del Eje Neovolcánico.

HIATUS MAGMÁTICO

Al coordinar en la Figura 2 las edades isotópicas de la Tabla 1 contra las distancias de su ubicación desde la actual trinchera Mesoamericana, resalta la carencia de fechas a todo lo largo de la gráfica sobre una franja cuyo límite inferior se marca en los 89 m.a. y el límite superior a los 66 m.a. Lo anterior establece un *hiatus* (*magmatic gap*) o disminución de la actividad magmática durante un lapso de 23 m.a. que abarca casi todo el Cretácico Tardío. Este evento es válido al menos para la franja comprendida entre los meridianos $99^{\circ} 00' 00''$ y $101^{\circ} 00' 00''$ que se extiende desde Acapulco hasta la latitud de las primeras extravasaciones del Eje Neovolcánico.

Para explicar el origen de un *hiatus* magmático algunos autores (Keith, 1978, Coney y Reynolds, 1977, Damon, 1968) piensan que la cuña de subducción tiende a horizontalizarse hasta un punto en que el magmatismo de la Zona Benioff cesa y queda bloqueado. Una horizontalidad de la cuña oceánica subducida, de los 80 m. a. los 50 m.a. es inferida debido a los cambios químicos de las rocas ígneas de esa época que afloran en los Estados de California, Arizona, Nuevo México y Colorado (Keith, 1978, p. 519).

El *hiatus* del Cretácico Tardío de la Sierra Madre del Sur necesariamente establece dos eventos magmáticos continuos en tiempo aunque no uniformemente extendidos en el espacio. El primero se inicia en el Jurásico Tardío o en los albores del Cretácico Temprano y termina en el comienzo del Cretácico Tardío, con la horizontalización de la cuña de subducción. El segundo evento se inicia a principios del Paleoceno y se desvanece en el Mioceno. Con la información actual aun es prematuro postular un segundo *hiatus* magmático entre el Mioceno y el vulcanismo plio-cuaternario que caracteriza el Eje Neovolcánico, el cual pasa desapercibido en el área que nos ocupa.

Todo parece indicar que durante la disminución de la actividad magmática cretácica tardía se inicia el evento tectónico laramídico que deforma a las rocas mesozoicas y más antiguas, de la Sierra Madre del Sur. Tradicionalmente se ha aceptado que las últimas unidades cretácicas deformadas fueron las Formaciones Mexcala y Mal Paso de edad turoniana-coniaciana. Nuevos descubrimientos en la región de Tierra Caliente demuestran que conglomerados volcánicos y capas rojas continentales de edad maestrichtiana o paleocénica, que antes fueron consideradas como Balsas sufrieron un moderado plegamiento. Lo anterior establece el límite superior para los esfuerzos compresionales de la Orogenia Laramiana o Hidalguense, en el Paleoceno.

Estudios realizados por Coney y Reynolds (1979) en el suroeste de los Estados Unidos y áreas adyacentes de México, lograron establecer la presencia de un arco volcánico en el Cretácico Temprano, muy similar al que ahora se describe para la Sierra Madre del Sur, el cual se movía lentamente hacia el Continente. Durante el tiempo laramídico, en esa región, el movimiento hacia el este se hizo más rápido para que inmediatamente después se replegara retornando a la costa del Pacífico hace aproximadamente 20 m.a. Las velocidades de transgresión para el arco, al norte del eje Neovolcánico se consideraron de 0.7 cm/año durante todo el Cretácico Temprano, de 2.5 cm/año del Cretácico Tardío hasta mediados del Eoceno y de 5.6 cm/año como velocidad de retorno del frente volcánico hacia la costa del Pacífico. Clark y colegas demuestran que un patrón similar de emigración del arco magmático ocurre a lo largo de todo México hasta los límites con el Eje Neovolcánico.

En la Figura 2 no se distingue el patrón de avance y retroceso como la exponen tan claramente Damon y colaboradores (1981, p.145) para el Arco Mágmató Surcordillerano. Lo anterior se debe a la restringida amplitud de la Sierra Madre del Sur y a la sobreposición en los bordes septentrional y nororiental del vulcanismo del Eje Neovolcánico, el cual sepultó los vestigios de eventos tectónicos y magmáticos anteriores.

CARACTERES GEOQUIMICOS

Los parámetros geoquímicos de las rocas ígneas

del magmatismo cretácico-terciario de la Sierra Madre del Sur, se obtuvieron de ocho análisis químicos dispersos en la literatura geológica y de 13 nuevos análisis de rocas colectadas por el autor en la Cuenca del Balsas, durante los trabajos de cartografía geológica realizados para CFE en 1981.

Para la identificación de las rocas que aparecen en la Tabla 1, de las cuales se cuenta con su respectivo análisis químico, en los diagramas de las Figuras 3, 4, 5 y 6 aparece el número de la primera columna de la mencionada Tabla, que a su vez es el mismo que sirve para su identificación en la Figura 1. Sin excepción todos los análisis fueron realizados en diferentes épocas en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM. Los resultados fueron procesados en la misma institución utilizando un programa preparado por F. J. Fabregat.

Los análisis químicos y los estudios petrográficos de los granitoides del Cretácico Tardío indican que se trata de rocas de composición granodiorítica a cuarzomonzonítica, sobresaturadas con tenores de SiO₂ entre 63 y 73 por ciento, en la norma C. I. P. W. la sílice se transforma en cuarzo libre que en algunas de ellas alcanza más del 36 por ciento. Por otro lado, casi todas presentan una notable deficiencia en Ca y Mg y un enriquecimiento en K. Esta situación resulta más marcada en las volcánicas ácidas de las Formaciones Agua de Obispo, Papagayo y Alquitrán del Terciario, a las cuales se les considera como producto de la refusión o de diferenciación magmática de los batolitos cretácicos a los cuales sobreyacen. Algunas de las riolitas de la Formación Alquitrán contienen hasta casi un 74 por ciento de SiO₂, trazas de MgO y menos de 0.54 por ciento de CaO.

Los análisis químicos de cuatro rocas volcánicas cretácicas de la Cuenca del Balsas y una de Michoacán, indican una composición intermedia con un contenido de normal a alto de Ca y Mg variando petrográficamente de andesitas a dacitas.

Los intrusivos plutónicos del Terciario muestran por su contenido de SiO₂ una composición intermedia y con cantidades normales de Ca y Mg. Los estudios petrográficos las clasifican como granodioritas con facies dioríticas y cuarzo-

monzoníticas. Los intrusivos hipabisales de los que se obtuvo su análisis varían de dacitas a riodacitas.

El diagrama AFM de la Figura 3 acusa una amplia dispersión de los nueve análisis químicos de los granitoides cretácicos de la franja batolítica costera con una marcada localización hacia el polo A, alejamiento del polo M y poco o nulo enriquecimiento en Fe. Para efectos comparativos, en la misma Figura 3 se dibujó la traza evolutiva de la *suite* calcoalcalina del Eje Neovolcánico (Demant, 1975, Tabla II, p.25) y la traza evolutiva de las ignimbritas oligocénicas del extremo meridional de la Sierra Madre Occidental (Nieto, 1980, Fig. 2, p. 341). A pesar de su dispersión, uniendo los puntos de las muestras 6, 2, 9 y 1 correspondientes a los intrusivos que afloran entre Chilpancingo y Acapulco, se visualiza una línea evolutiva entre las trazas del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre Occidental.

Las rocas intrusivas terciarias presentan una mayor dispersión que las plutónicas cretácicas. Algunas de ellas indican un ligero contenido de Mg (muestras 16, 26 y 19) y solamente una (muestra 19) un moderado enriquecimiento en Fe.

Definitivamente casi todas las rocas volcánicas terciarias acusan un fuerte apego a la línea A-F con localización hacia el polo A, y una marcada afinidad geoquímica con las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental.

En el diagrama $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ de la misma Figura 3, las rocas cretácicas muestran una amplia dispersión localizándose al lado izquierdo de la parte media inferior o sea con apego hacia el lado $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$, sin acusar un patrón evolutivo definido hacia estos dos últimos polos, pero sí, un claro alejamiento del polo cálcico.

Las rocas intrusivas terciarias se distribuyen con una menor dispersión y un trazo evolutivo no muy claro hacia el polo potásico, cuyo alineamiento es burdamente paralelo a la traza evolutiva de las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, sin quedar tan alejado del polo cálcico como sucede con estas últimas.

En el diagrama $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ las rocas ignimbríticas terciarias de las Formaciones Alqui-

trán, Agua de Obispo y Papagayo, presentan características químicas similares a las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental. Su mayor distribución ocurre pegada a la línea $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ del triángulo, con una traza evolutiva que indica un fuerte enriquecimiento en K y una notable disminución en Ca, alineamiento que se enciema con la traza de las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental.

Para conocer el grado de alcalinidad de las rocas de la Sierra Madre del Sur, se elaboró el diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (según Schwarzer y Rogers, 1974) de la Figura 4. De su observación se deduce que el magmatismo cretácico-terciario tiene carácter calcoalcalino, con excepción de dos rocas intrusivas cretácicas y una volcánica terciaria que se agrupan dentro de las series subalcalinas y dos volcánicas terciarias y una intrusiva cretácica que se agrupan en el campo de las series moderadamente alcalinas.

En el diagrama de alcalinidad $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ de la Figura 5 se observa que la mayoría de las rocas del magmatismo cretácico-terciario se agrupan dentro de una *suite* calcoalcalina muy similar al patrón enmarcado (Dominio II) para la *suite* calcoalcalina de las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (Nieto *et al.*, 1981, p.341) encontrándose nuevamente cierta dispersión de algunas rocas intrusivas cretácicas y terciarias. El mismo fenómeno se puede observar en el diagrama $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ de la Figura 6, en donde casi todas las rocas intrusivas cretácicas se agrupan dentro del área del dominio de las series calcoalcalinas del Arco Insular (Gill, 1970), dominio dentro del cual también se encuentra la *suite* calcoalcalina de las rocas volcánicas del Eje Neovolcánico. Las rocas intrusivas y volcánicas terciarias tienden más en esta gráfica, a un dominio ligeramente más potásico o alcalino.

ISOTOPOS DE ESTRONCIO

Muy pocos son los datos publicados sobre las determinaciones isotópicas de $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ que se tienen de la Sierra Madre del Sur, al sur del Eje Neovolcánico. De acuerdo con Halpern y colaboradores (1974, p. 31 y 32) algunos intrusivos datados de la costa del Pacífico tienen relaciones iniciales de $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ iguales o menores de 0.704 y suponen que los magmas generadores de estas rocas

tienen un origen en el manto profundo con poca o nula contaminación cortical. Relaciones genéticas similares guardan los troncos granitoides del Cretácico Tardío de la parte meridional de Guerrero, sin embargo las evidencias químicas conducen a pensar que dichos magmas, muy diferenciados o evolucionados, bien pudieran ser el resultado de la refusión de una corteza oceánica antigua o de arco insular, no más antigua que el Paleozoico con una relación isotópica inicial también baja. Al menos, según este caso, la contaminación cortical aun en gran escala no aumentaría en forma notable el radio Sr^{87}/Sr^{86}

En la Figura 6 se presentan los valores iniciales de estroncio radiogénico de algunas rocas de los Estados de Jalisco, Michoacán y Guerrero. Los intrusivos granodioríticos de La Verde y La Guacamaya, en Michoacán presentan una relación isotópica muy baja, menor de 0.703 lo que sugiere su formación profunda, probablemente en el manto peridotítico y con casi nula contaminación cortical. Los intrusivos granodioríticos terciarios, correspondientes a las muestras 3, 4, 5 y 6 tienen valores entre 0.7035 y 0.7040 lo que indica un origen en el manto con poca contaminación silícea. El magma que dió origen a las rocas de las muestras 7, 8 y 9 bien pudo formarse en el manto profundo o bien ser el resultado de la refusión de una corteza oceánica o de arco insular con baja relación de estroncio radiogénico.

En la Figura 6 se incluyeron para fines comparativos ocho determinaciones isotópicas de estroncio radiogénico de lavas del Volcán de Colima (magmatismo del Eje Neovolcánico), realizadas por Moor bath y colaboradores (1978, p. 438) obteniéndose relaciones de Sr^{87}/Sr^{86} entre 0.70363 y 0.70402, que son similares con los de las lavas andesíticas de América Central y con las lavas de arcos insulares donde la corteza silícea no existe.

Los conceptos anteriores permiten suponer que bajo la actual franja costera pacífica y la parte de la Sierra Madre del Sur que cubre este trabajo, no existe una corteza silícea anterior al Paleozoico.

CONCLUSIONES

Tratando de condensar lo anteriormente expues-

to, se llega a las siguientes conclusiones:

1) Desarrollo a finales del Jurásico Tardío y durante todo el Cretácico Temprano de un arco magmático insular de carácter calcoalcalino, caracterizado por un vulcanismo predominantemente submarino, de composición andesítica-dacítica cuya declinación ocurre a principios del Cretácico Tardío. Extravasaciones del vulcanismo de este arco ocurren dentro de las Formaciones Tecalitlán, El Encino, San Lucas, Mal Paso, Xochipala y otras más que afloran en los Estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero.

2) El inicio a finales del Albiano (100 m.a.) de un evento plutónico que finaliza en el Coniaciano (80 m.a.) dando origen al emplazamiento de los batolitos de Acapulco, Xaltianguis, y Placeres del Oro de la parte central y meridional de Guerrero. El análisis químico de las rocas de estos granitoides acusan una alta deficiencia en Ca y Mg y un enriquecimiento en K. Su composición varía de granodiorita a cuarzomonzonita con facies dioríticas periféricas, todo enmarcado dentro de una *suite* calcoalcalina dentro de las series de alta alúmina. El alto contenido de K de los magmas que generaron estos intrusivos sugieren su formación a profundidades entre los 210 y 280 km y su baja relación inicial de estroncio isotópico (0.704) o un origen en el manto profundo con poca contaminación cortical o resultar de la refusión de una corteza oceánica antigua o material de arco insular con baja relación isotópica de Sr^{87}/Sr^{86} y cuya edad no sería anterior al Paleozoico.

3) El avance hacia el continente de este Arco Magmático Insular del Cretácico Temprano al Cretácico Tardío, alcanzó su eje de vulcanismo el máximo desarrollo entre los 100 y 150 km de la actual línea de costa.

4) Establecimiento de un *hiatus* o intervalo de poca actividad magmática de más de 20 m.a. de duración que se inicia en el Coniaciano (85 m.a.) y concluye a fines del Maestrichtiano o muy al principio del Terciario (66 m.a.). Concuerda este *hiatus* con el desarrollo de la Orogenia Laramiana cuyos últimos efectos deformantes afectan a rocas de edad paleocénica. Esta cesación de la actividad magmática divide en dos fases a la continuidad del Arco Magmático de la Sierra Madre del Sur.

5) El reinicio en el Paleoceno temprano (66 m.a.) de un evento intrusivo de carácter calcoalcalino y de composición granodiorítica el cual continuó posiblemente hasta el Oligoceno tardío. Las rocas de estos granitoides muestran una alta deficiencia en Ca y Mg y un alto enriquecimiento en K y una relación isotópica Sr^{87}/Sr^{86} inicial bastante baja, lo que sugiere su origen en el manto profundo con poca o nula contaminación cortical, sin descartarse que bien pudieran resultar de la re-fusión de una corteza con una relación isotópica inicial muy baja y no más antigua que el Paleozoico. Evidencia de este plutonismo resulta de la extensa faja de troncos granodioríticos que afloran entre Tepalcatepec, Mich. y Mexcala, Gro.

6) Acompañó al plutonismo del Terciario Temprano un vulcanismo comagmático de carácter calcoalcalino, de composición por lo general más ácida, bastante deficiente en Ca y Mg y con

alto contenido de K. Corresponden a este vulcanismo las extravasaciones de las Formaciones Balsas, Characharando, Papagayo, Agua de Obispo, Alquitrán, Tilzapotla, Buenavista y Grupo No-Diferenciado de la parte central y meridional de Guerrero. La petrogenia de este evento indica una tendencia evolutiva paralela y contemporánea con las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre del Sur (región de Tepic, Nay.) lo que sugiere la continuidad del Arco Magmático Surcordillerano en la Sierra Madre Del Sur.

7) Al sur de una línea establecida por los cauces de los Ríos Balsas y Tepalcatepec no existen manifestaciones de un magmatismo Plio-Cuaternario o posterior al Mioceno inferior. Formaciones volcánicas asignadas anteriormente a esa edad están siendo actualmente revisadas, pudiéndose establecer otro período de poca actividad magmática (*hiatus*) desde el Mioceno a la fecha.

BIBLIOGRAFIA

- Bolívar, J.M., 1963, *Geología del área delimitada por el Tomatal, Huitzuc y Mayanalán, Estado de Guerrero*; Univ. Nal. Aut. de Méx. Inst. de Geol., Bol. 69, 35 pp.
- Buitrón, B.F., Pantoja Alor, J. y Alencáster, G., 1978, *Secuencia estratigráfica del Cretácico Inferior del Cerro de Tuxpan, Jalisco*: IV Conv. Geológica Nacional, Soc. Geol. Mex., Bol. t. XXXIX, no. 1, Resúmenes.
- Campa Uranga, Ma. F., 1978, *La evolución tectónica de Tierra Caliente, Guerrero*: IV Conv. Nacional Soc. Geol. Mex., Bol. t. XXXIX, no. 1, Resúmenes.
- Carrión, J.L., 1982, *Estudio geológico-estructural del Tajo San Pascual*. Las Encinas, S.A. (HYLSA), Informe inédito.
- Coney, P.J. y Reynolds, S.J. 1977, *Cordilleran Benioff zones: Nature*, v. 270, pp. 403-406.
- Crespo Hernández, F., 1963, *Estudio geológico de la zona Mayanalán-Xalitla, Estado de Guerrero*: Univ. Nal. Aut. de Méx. Fac. de Ingeniería, Tesis Prof. 44, p. inédita.
- Damon, P.E., 1968, *Application of the potassium-argon method to the dating of igneous and metamorphic rocks within the basins ranges of the southwest*: Arizona Geological Society, Southern Arizona guidebook, III, pp. 7-20.
- Damon, P.E., 1981, *Age trends of igneous activity in relation to metalogenesis in the Southern Cordillera*: Arizona Geol. Soc. Digest., v. XIV, pp. 137-154.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Clark, K.F., 1982. *Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico*: Canadian Journal of Earth Sciences. En prensa.
- Dávila Alcocer, V.M., 1974, *Geología del área de Atenango del Río, Estado de Guerrero*: Univ. Nal. Aut. de Méx., Fac. de Ing., Tesis Prof., 109 pp. Inédita.
- De Cserna, Z., 1956, *Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México entre Torreón y Monterrey*: Cong. Geol. Internacional XX, México, 87 pp.

- De Cserna, Z., 1965, *Reconocimiento Geológico en la Sierra Madre del Sur entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero*: Univ. Nal. Aut. de Méx., Inst. de Geología, Bol. 62, pp. 30-32.
- De Cserna, Z., Fries, C. Jr., Rincón, H., Solorio, J. y Schmitter, E., 1974, *Edad precámbrica tardía del Esquisto Taxco, Estado de Guerrero*: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr., vol. XXVI, no. 4, pp. 183-193.
- De Cserna, Z., Fries, Carl, Jr., Valdez-Mendoza, F., Rincón Orta, Silver L.T., Westley, H., Solorio, J., Schmitter, E., 1974a, *Datos geocronométricos adicionales para el magmatismo cretácico del sur de México*: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr., vol. XXI, nos. 4-6, pp. 225-235.
- De Cserna, Z., Fries, C. Jr., Rincón-Orta, C., Silver, L.T., Westley H., Solorio Munguía, J., Schmitter, E., 1974b, *Datos geocronométricos terciarios de los Estados de México, Morelos y Guerrero*: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr., vol. XXI, nos. 4-6, pp. 263-273.
- De Cserna, Z., Palacios-Nieto, M. y Pantoja Alor, J., 1978, *Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el noroeste de Guerrero y en áreas colindantes de México y Michoacán*: Univ. Nal. Aut. de Méx., Inst. de Geol. Revista, v. 2, no. 1, pp. 8-18.
- Demant, A., 1975, *Caracteres químicos principales del vulcanismo terciario y cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con la evolución del margen continental pacífico de México*: Univ. Nal. Aut. de Méx., Inst. de Geol., Revista, vol. 1, no. 1, pp. 19-69.
- Fries, C. Jr., 1960, *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, Región Central Meridional*: Univ. Nal. Aut. Méx., Inst. Geol. Bol. 60, pp. 96-115.
- Fries, C. Jr., Rincón-Orta, C., 1965, *Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría*: Univ. Nal. Aut. Méx., Inst. de Geol., Bol. 73, pte. 2, pp. 94-95.
- Gill, J.B., 1970, *Geochemistry of Vitu Leru, Fidji and its evolution as an Island Arc*: Cont. Petrol. Miner., vol. 27, pp. 179-203.
- Halpern, M., Guerrero, J., y Ruiz, M. 1974, *Rb-Sr dates of igneous and metamorphic rocks from southeastern and central Mexico; a progress report*: Unión Geofísica Mexicana, Reunión Anual, pp. 30-32.
- Jaffe, H.W., Gottfried, D., Waring, C.L. Worthing H.W., 1959, *Lead-alpha age determinations of accessory minerals of igneous rocks (1953-1957)*: U.S. Geol. Survey, Bull, 1097B, pp. 65-148.
- Keith, S.B., 1978, *Paleosubduction geometries inferred from Cretaceous and Tertiary magmatic patterns in southwestern North America*: Geology, v. 7, p. 519.
- Larsen, E.S., Gottfried, D., Jaffe, H.H. and Waring, C.L. 1958, *Lead-alpha ages of the Mesozoic batholiths of Western North America*: U.S. Geol. Survey Bull. 1070b, pp. 46-47.
- MacDonald, G.A., Katsura, T., 1964, *Chemical composition of Hawaiian lavas*: Jour. Petrol. no. 5, pp. 28-133.
- Maycotte, J.I. y De Cserna, Z., 1981, *Geología y geotecnia del proyecto hidroeléctrico El Caracol, Guerrero*: Comisión Federal de Electricidad, Serie Ediciones del Sector Eléctrico, no. 26, 146 pp.
- Nájera Garza, J., 1965, *Estudio geológico del área de San Agustín, Estado de Guerrero*: Inst. Polit. Nal. (E.S.I.A.) Tesis Prof. 47, p. Inédita.
- Nieto Obregón, J., Delgado, L.A. y Damon, E.P. 1981, *Relaciones petrológicas y geocronológicas del magmatismo de la Sierra Madre Occidental y al Eje Neovolcánico en Nayarit, Jalisco y Zacatecas*: México, Memoria XI Conv. Nal. de la Asoc. Ing. Minas Metal. Geol. de México, pp. 327-361.
- Ortega Gutiérrez, F., 1981, *Rocas volcánicas del Maestrichtiano en el área de San Juan Teulcingo, Estado de Guerrero*: CFE III Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia, Libro guía de la excursión geológica a la parte central de la Cuenca del alto Río Balsas, Guerrero y Puebla, pp. 4-46.

- Pantoja Alor, J., 1959, *Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huetamo, Estado de Michoacán*: Cons. de Rec. Nat. No Renov., Bol. 50, 36 pp.
- Pantoja Alor, J., 1970, *Geología del Río Balsas entre Mexcala y Ciudad Altamirano, Guerrero*: Cons. de Rec. Nat. No Renov. Informe Inédito.
- Pantoja Alor, J., 1981a, *Estudio fotogeológico de la Zona 1 del Lote 14 de Aquila, Michoacán*: Las Encinas, S.A. (HYLSA). Informe Inédito.
- Pantoja Alor, J., 1981b, *Estudio fotogeológico de la Cuenca del Río Balsas*: México, CFE, Informe Inédito.
- Pantoja Alor, J., Estrada B.S. y Alencáster, G., 1978: *Estratigrafía del Cretácico Inferior de la mina El Encino, Municipio de Pihuamo, Jalisco*: Bol. Sec. Geol. Mex., Bol. XXXIX, no. 1, IV Conv. Geol. Nal. resúmenes.
- Schwarzer, R.R., Rogers, J.J., 1974, *A worldwide comparison of alkali olivine basalt*: Earth Planet, Sciences, Letters, no. 23, pp. 286-296.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado para la Subgerencia de Ingeniería Preliminar de Minería y Geología de CFE con el fin de que sirva de referencia a los estudios geocronométricos que actualmente se realizan en la Cuenca del Río Balsas. Por lo anterior se agradece al Ing. Carlos García Herrera su patrocinio y ayuda técnica. También quiero patentar mi reconocimiento al Ing. Hugo García de Anda, Director de Materias Primas y al Ing. Samuel Estrada Barraza, Subdirector de Exploración, ambos de HYLSA, por haber permitido utilizar los datos de cinco determinaciones isotópicas aun no publicadas.

Debo reconocer la colaboración prestada por los Drs. Paul E. Damon y M. Shafiqullah del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Arizona, en cuyo laboratorio se realizaron las determinaciones isotópicas por el método K/Ar de algunas de las nuevas edades presentadas. Los análisis químicos de las rocas que se discuten se realizaron en diferentes épocas en el Instituto de Geología de la UNAM. Al personal técnico y científico de dicha Institución mi sincero agradecimiento.

Tabla 1.- Localización y edad isotópica de algunas rocas de la Sierra Madre del Sur

NUM. *	NUMERO ORIGINAL **	LOCALIDAD	EDAD (m.a.)	METODO	MINERAL	CLASIFICACION	REFERENCIAS
1	LG-9	Acapulco, Gro.	100 ± 10	Pb/Alfa	Zircón	Monzonita cuarcifera	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974a
2	F56-21	Acapulco, Gro.	98 ± 5	Pb/Alfa	Zircón	Monzonita cuarcifera	Larsen, <i>et al.</i> , 1958
3	F55-52	Placeres del Oro, Gro.	100 ± 5	Pb/Alfa	Zircón	Granodiorita	Larsen, <i>et al.</i> , 1958
4	LG-43	Xaltianguis, Gro.	97 ± 5	Pb/Alfa	Zircón	Granodiorita	Larsen, <i>et al.</i> , 1958
5	LG-25	Xaltianguis, Gro.	90 ± 9	Pb/Alfa	Zircón	Monzonita cuarcifera	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974a
6	F56-19	El Ocotito, Gro.	96 ± 5	Pb/Alfa	Zircón	Monzonita cuarcifera	Larsen, <i>et al.</i> , 1958
7	HYLSA-1	El Encino, Jal.	93 ± 4	K/Ar	Roca entera	Diabasa ?	Carrión, 1981
8	JP-230	Tuxpan, Jal.	92 ± 2	K/Ar	Roca entera	Dacita	Pantoja Alor, 1982
9	LG-113	Tlacotepec, Gro.	89 ± 9	Pb/Alfa	Zircón	Latita de cuarzo	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974a
10	LG-4	Río Papagayo, Gro.	88 ± 8	Pb/Alfa	Zircón	Granito sódico (Peg.)	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974a
11	JP-228	Tecalitlán, Jal.	66 ± 1	K/Ar	Roca entera	Toba riolítica	Pantoja Alor, 1982
12	HYLSA-2	El Encino, Jal.	65 ± 3	K/Ar	Roca entera	Monzonita cuarcifera ?	Carrión, 1981
13	JP-208	Aguila, Mich.	63 ± 1	K/Ar	Hornblenda	Granodiorita	Pantoja Alor, 1982
14	JP-208	Aguila, Mich.	61 ± 1	K/Ar	Biotita	Granodiorita	Pantoja Alor, 1982
15	UA-77-130	Las Salinas, Gro.	62 ± 1	K/Ar	Sericita	Monzonita cuarcifera	Damon, <i>et al.</i> , 1981
16	LG-24	El Papayo, Gro.	60 ± 10	Pb/Alfa	Zircón	Granodiorita	Pantoja Alor, 1982
17	JP-201	Ostula, Mich.	57 ± 1	K/Ar	Hornblenda	Granodiorita	Pantoja Alor, 1981a
18	JP-201	Ostula, Mich.	56 ± 1	K/Ar	Biotita	Granodiorita	Pantoja Alor, 1981a
19	LG-22	Tepetitla, Mex.	55 ± 6	Pb/Alfa	Zircón	Dacita de cuarzo	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974b
20	CFE-1	Tetelcingo, Gro.	52 ± 2	K/Ar	Roca entera	Basalto	Maycotte y De Cserna, 1981
21	LG-15	Coxcatlán, Gro.	50 ± 10	Pb/Alfa	Zircón	Granodiorita	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974b
22	JP-182	La Guacamaya, Gro.	47 ± 1	K/Ar	Biotita	Granodiorita	Pantoja Alor, 1981
23	F61-77	Xolapa, Gro.	43 ± 7	K/Ar	Muscovita	Esquisto de muscovita	De Cserna, <i>et al.</i> , 1982
24	CFE-2	Tetela del Río, Gro.	42 ± 1	K/Ar	Roca entera	Basalto	Maycotte y De Cserna, 1981
25	LG-23	Alcoholala, Gro.	40 ± 10	Pb/Alfa	Zircón	Granodiorita	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974b
26	LG-64	La Imagen, Gro.	39 ± 5	Pb/Alfa	Zircón	Granodiorita	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974b
27	CS-135-56	Xolapa, Gro.	37 ± 2	K/Ar	Biotita	Porfido riolítico	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974b
28	JP-172	San Jerónimo, Gro.	36 ± 1	K/Ar	Biotita	Granodiorita	Fries y Schmitter, 1962
29	UA-77-131	Inguarán, Mich.	35 ± 1	K/Ar	Biotita	Brecha granodiorítica	Pantoja Alor, 1981b
30	UA-77-131	Inguarán, Mich.	32 ± 1	K/Ar	Biotita	Brecha granodiorítica	Damon, <i>et al.</i> , 1982
31	UA-77-132	La Verde, Mich.	33 ± 1	K/Ar	Sericita	Brecha granodiorítica	Damon, <i>et al.</i> , 1982
32	UA-77-130	La Verde, Mich.	31 ± 1	K/Ar	Hornblenda	Cuarzodiorita	Damon, <i>et al.</i> , 1982
33	UA-77-136	San Isidro, Mich.	32 ± 1	K/Ar	Anortoclasa	Granodiorita (Peg.)	Damon, <i>et al.</i> , 1982
34	UA-77-137	San Isidro, Mich.	31 ± 1	K/Ar	Hornblenda	Granodiorita	Damon, <i>et al.</i> , 1982
35	LG-58	Tlaica, Mor.	30 ± 3	Pb/Alfa	Sericita	Granodiorita	Damon, <i>et al.</i> , 1982
36	F-56-27	Tilzapotla, Mor.	26 ± 2	Pb/Alfa	Zircón	Diorita	De Cserna, <i>et al.</i> , 1974
					Zircón	Toba riolítica	Fries, 1960

*) Número de localización y de descripción de las edades isotópicas y propiedades químicas

**) Número original dado por el autor que colectó la muestra, tal como aparece en las referencias

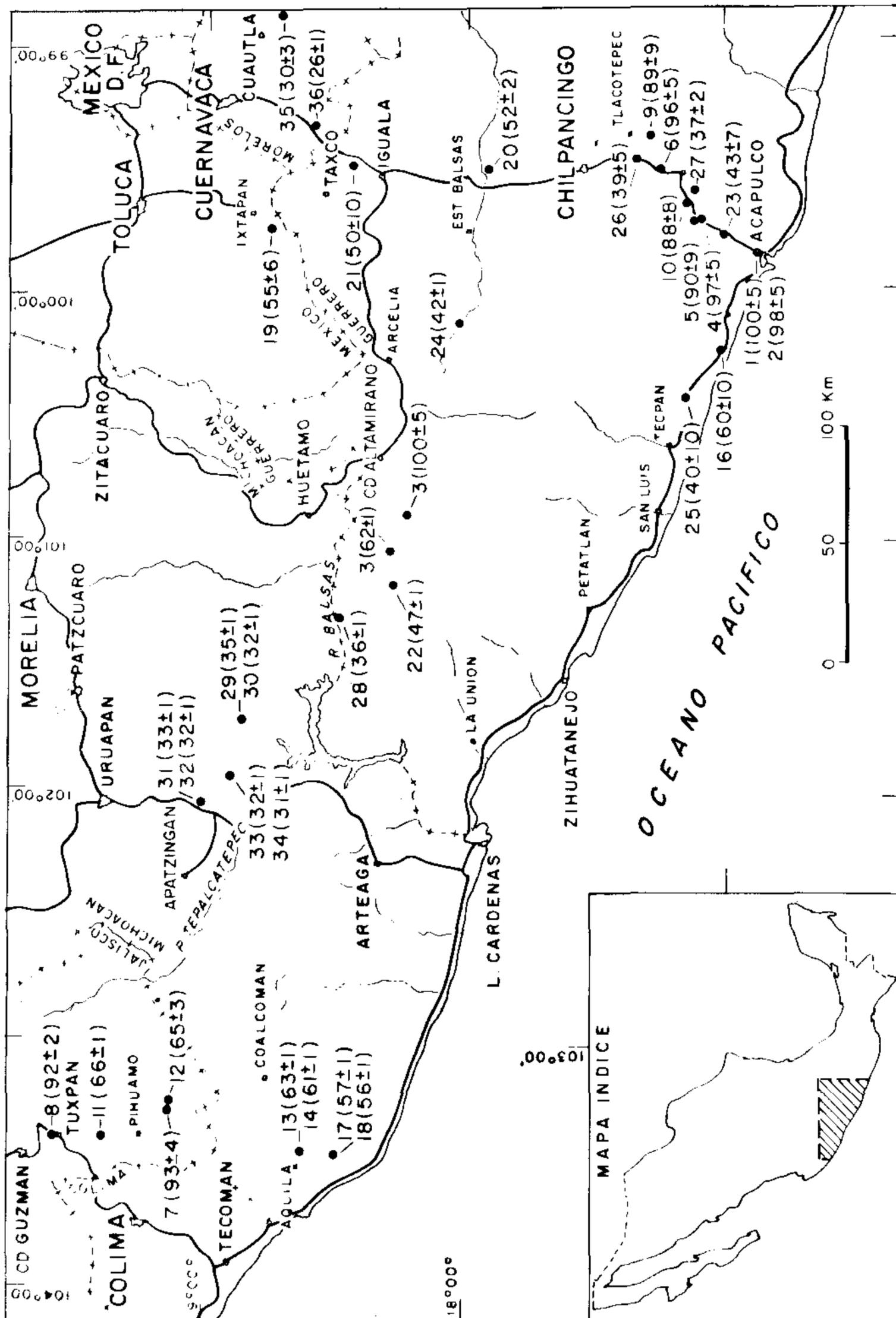


Figura 1.- MAPA QUE MUESTRA LA UBICACION DE LAS LOCALIDADES DE EDADES ISOTOPICAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

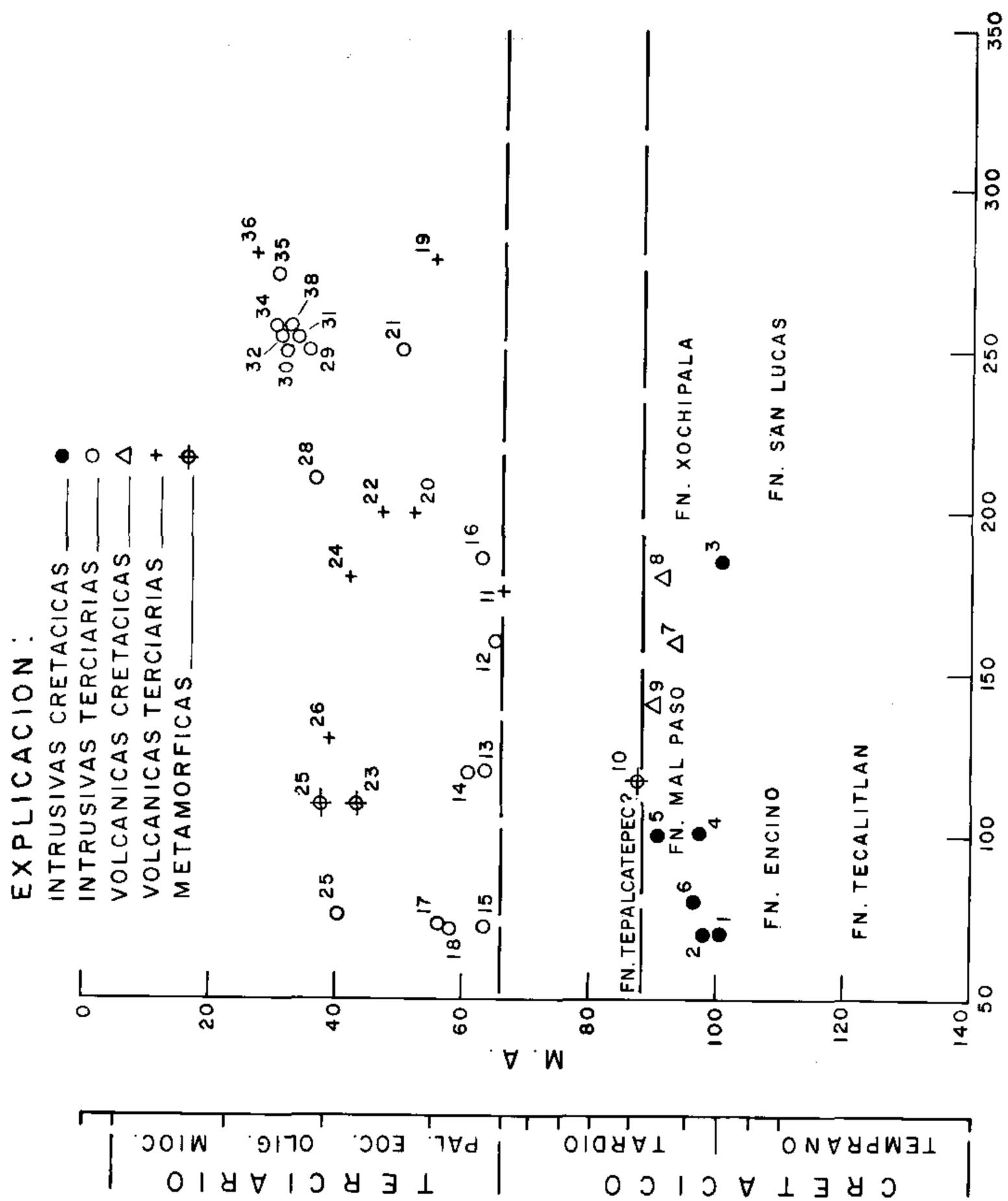
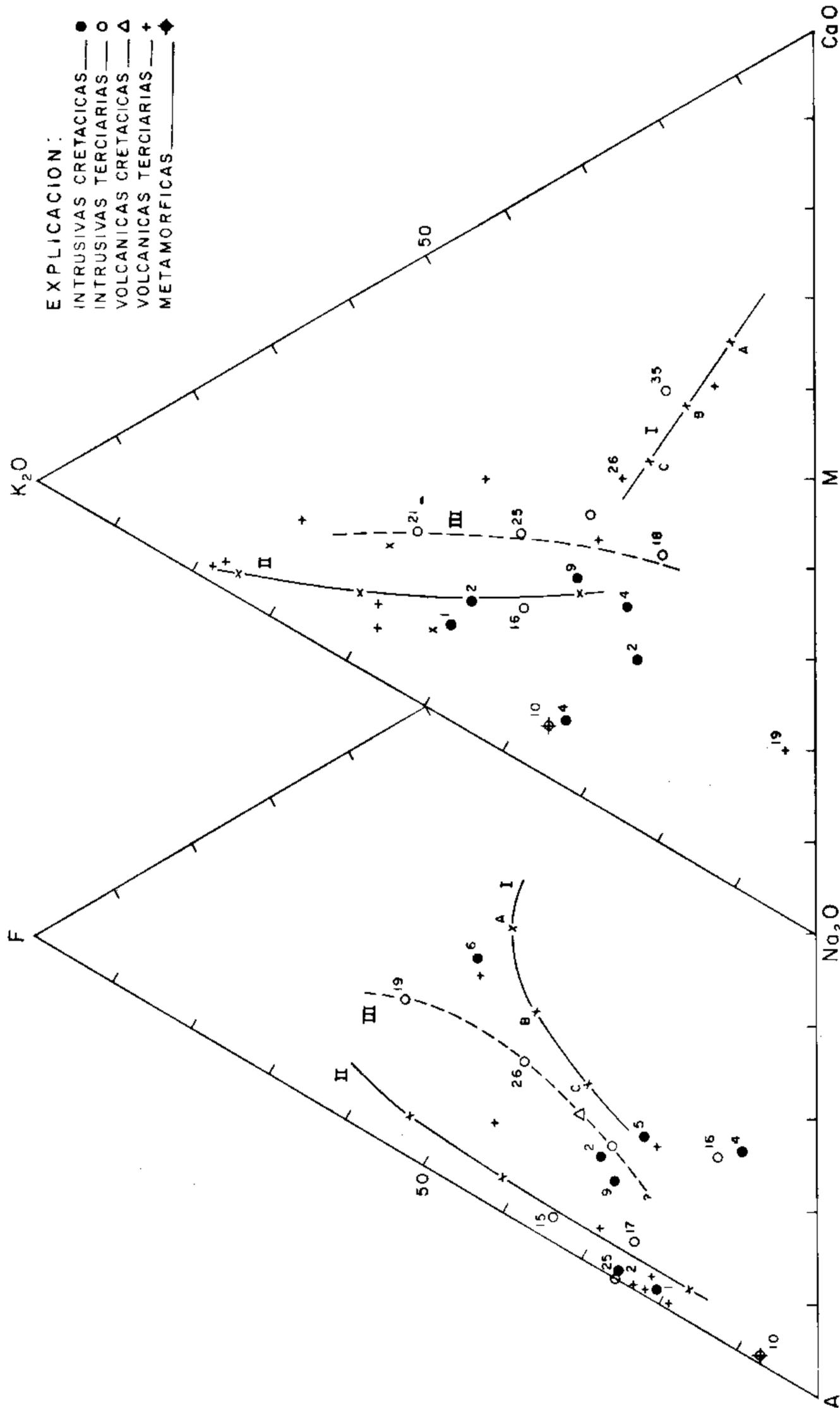


Figura 2.- DISTRIBUCION Y EDAD DEL MAGMATISMO DEL CRETACICO-TERCIARIO DE LA SIERRA MADRE DEL SUR



EXPLICACION:
 ● INTRUSIVAS CRETACICAS
 ○ INTRUSIVAS TERCARIAS
 ▲ VOLCANICAS CRETACICAS
 + VOLCANICAS TERCARIAS
 ◆ METAMORFICAS

Figura 3.- DIAGRAMAS AFM Y Na₂O - K₂O - CaO DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR
 I.- Linea de evolución de las andesitas calcicalinas del Eje Neovolcánico (en Demant, 1975, Tabla II, p. 25)
 II.- Linea de evolución de las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental (Noyari)(Niéto, J., et al, 1980, Fig. 2, p. 34)
 III.- Linea de evolución de las intrusivas granodioríticas de la Sierra Madre del Sur

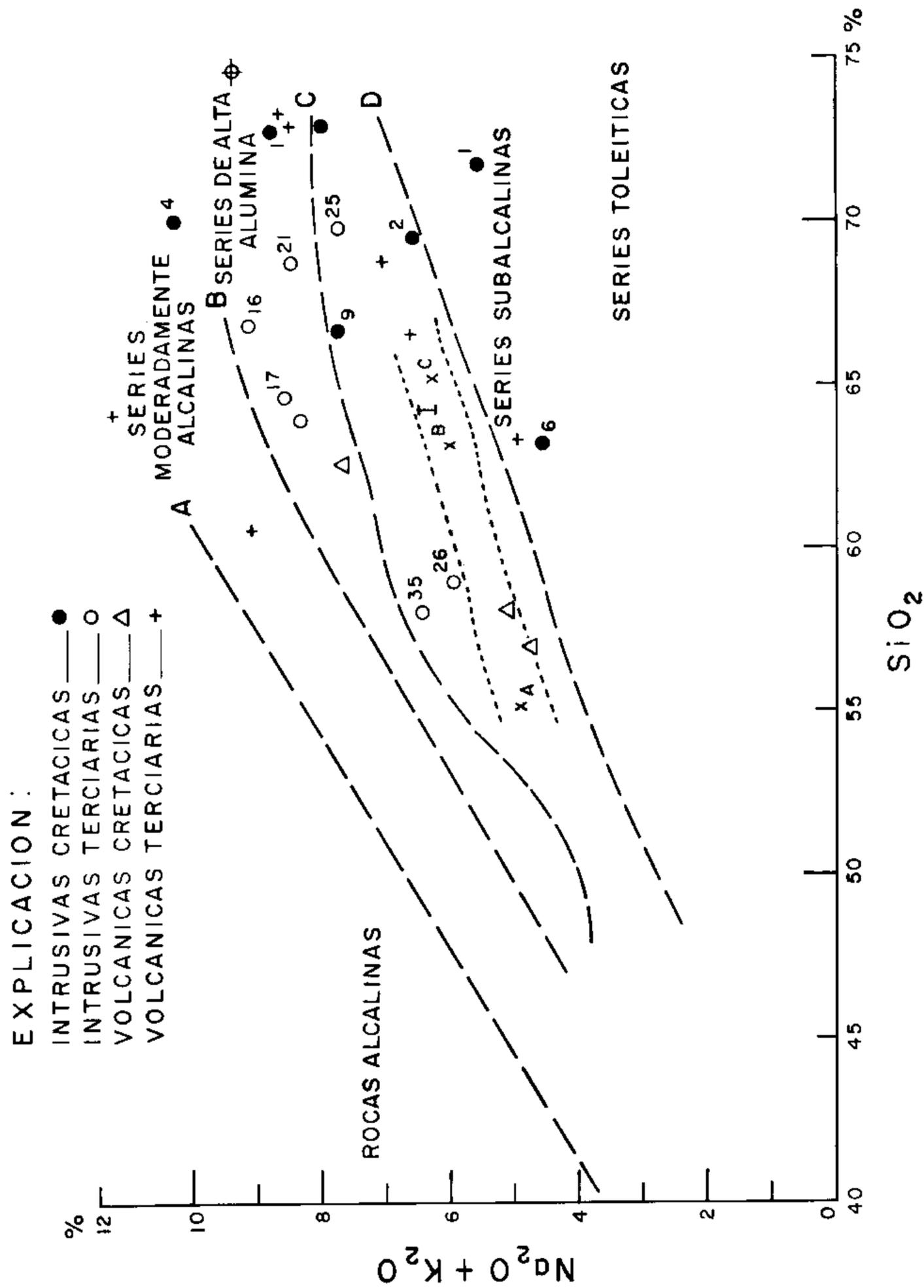


Figura 4.- DIAGRAMA DE ALCALINIDAD $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR (Demant, A., 1975, Tabla II, p. 25).

I- Dominio de las andesitas calcialcalinas del Eje Neovolcánico

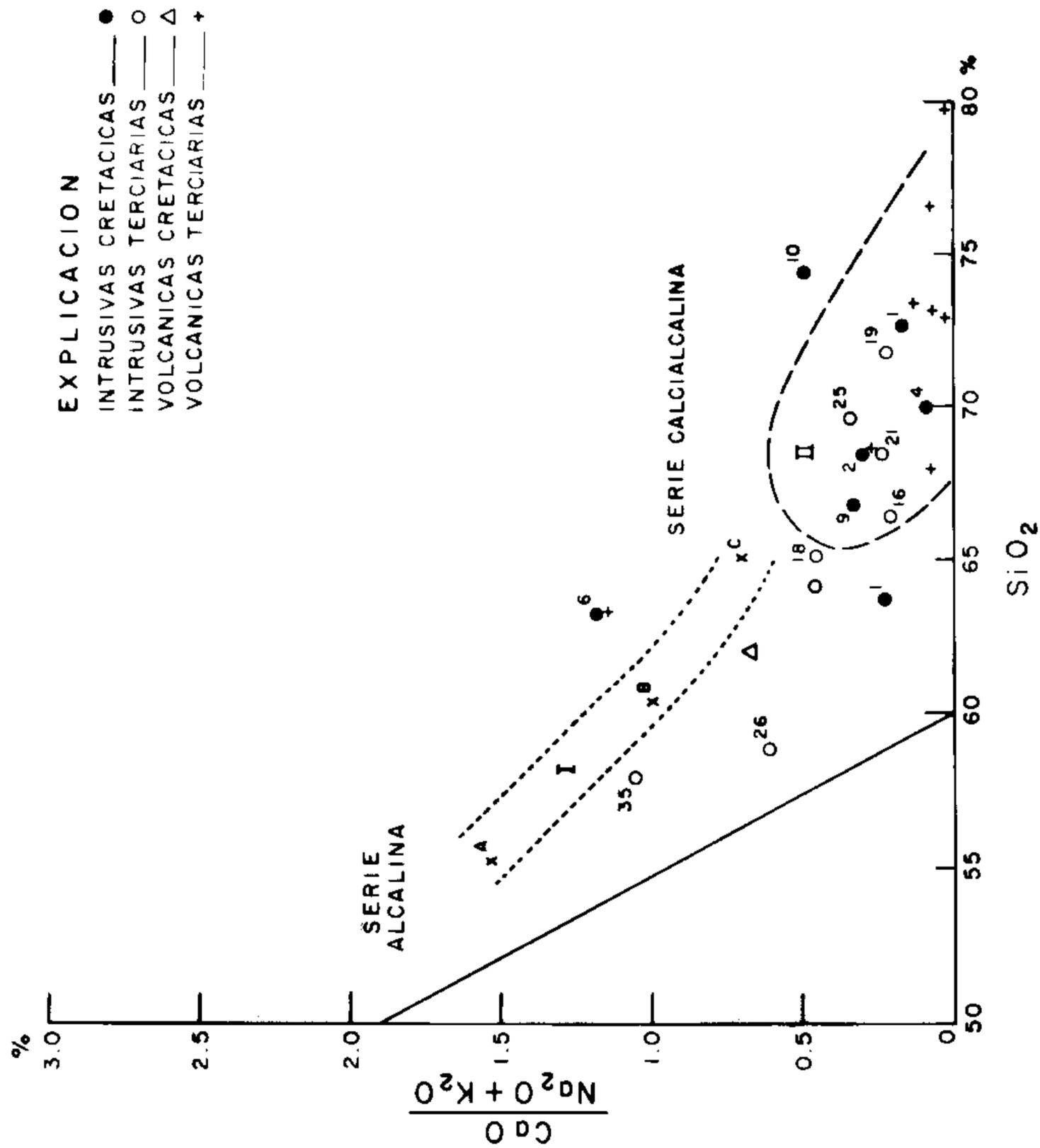


Figura 5.- DIAGRAMA DE ALCALINIDAD $CaO/Na_2O + K_2O$ DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

I - Dominio de las andesitas bajas en silice (A), de las andesitas normales (B) y de las dacitas del Eje Neovolcánico (C)

II - Dominio de las ignimbritas oligocenas de la Sierra Madre Occidental (Nayarit)

- EXPLICACION:
- INTRUSIVAS CRETACICAS ●
 - INTRUSIVAS TERCARIAS ○
 - VOLCANICAS CRETACICAS △
 - VOLCANICAS TERCARIAS +

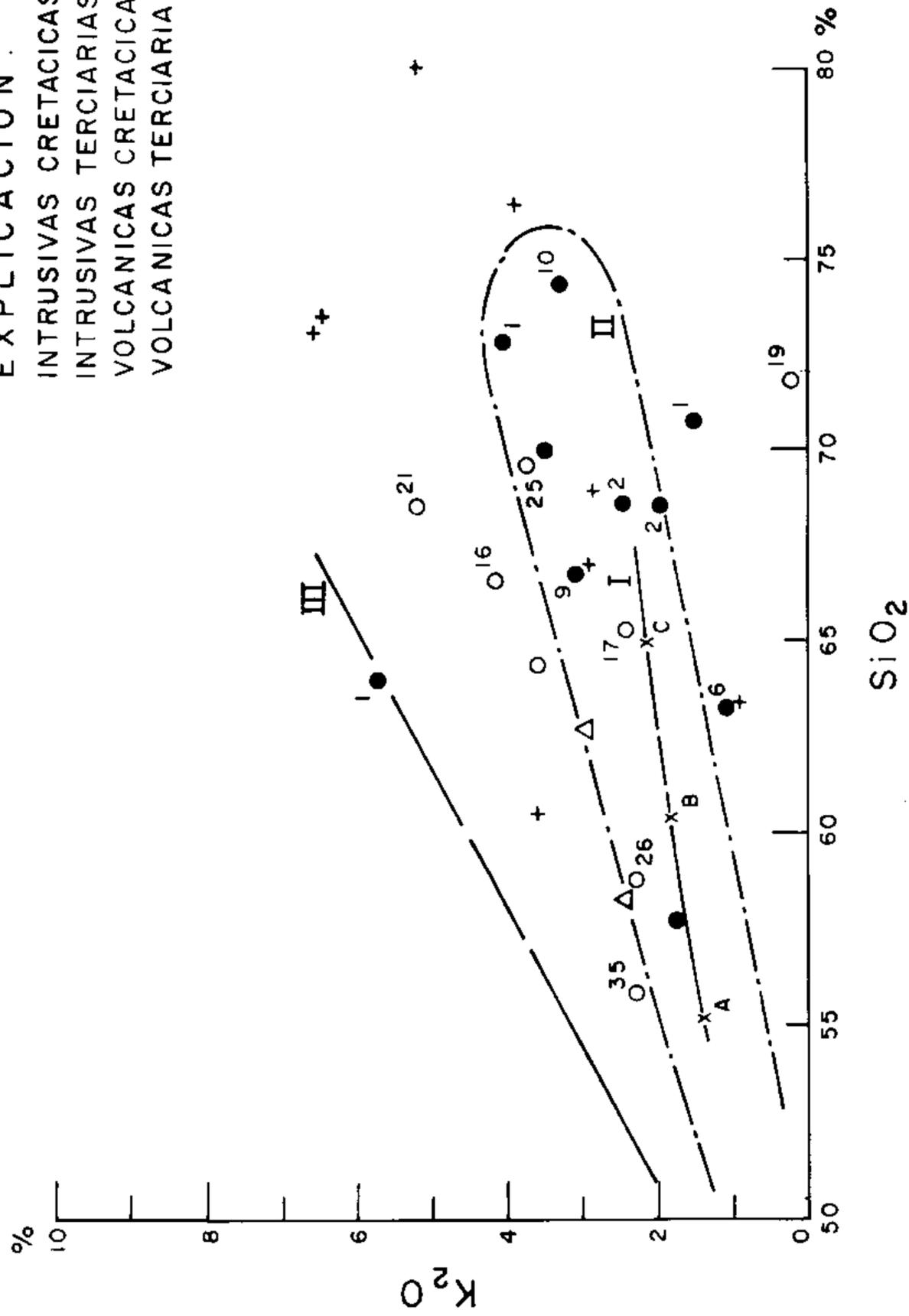


Figura 6.- DIAGRAMA K_2O/SiO_2 DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

- I.- Línea de evolución de las andesitas del Eje Neovolcánico (Demant, A., 1975).
- II.- Línea que delimita el dominio de la serie calcialcalina de Arco Insular (Gill, J.B., 1970)
- III.- Línea que corresponde a las series alcalinas intraoceanicas de Hawaii (MacDonald G., Katsura, T., 1964)

TERRENO DE JALISCO - COLIMA - MICHOACAN - GUERRERO

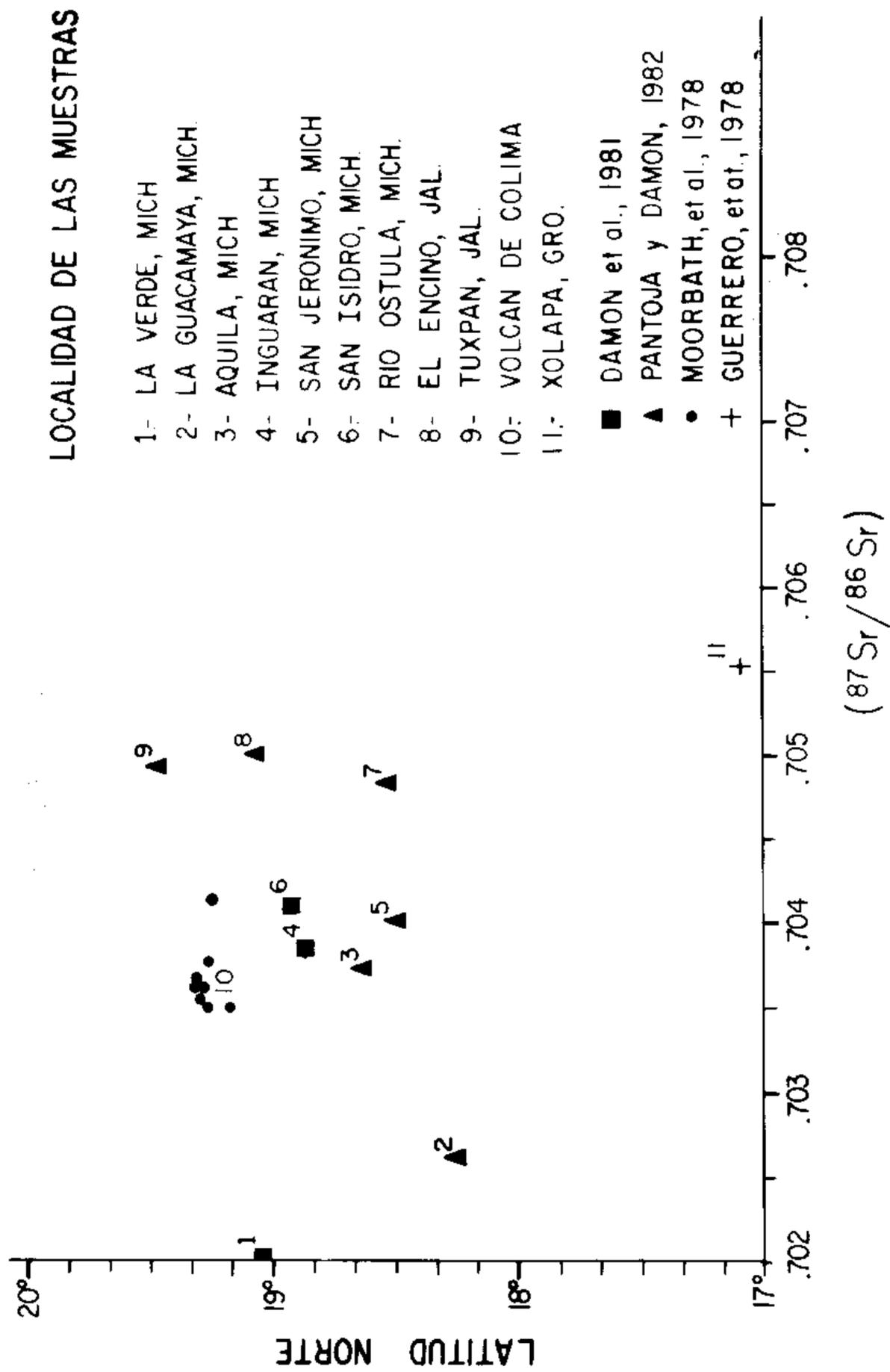


FIGURA 7 - RELACIONES ISOTOPICAS DE ESTRONCIO RADIOGENICO DE ROCAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR