

## Edades K/Ar de 54 rocas ígneas y metamórficas del occidente, centro y sur de México

Jesús Solé<sup>1,\*</sup>, Juan Carlos Salinas<sup>2</sup>, Enrique González-Torres<sup>1</sup>  
y José Eduardo Cendejas Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria, 04510 México D.F., México.

<sup>2</sup>Servicio Geológico Mexicano, Boulevard Felipe Ángeles s/n, Carretera México-Pachuca Km. 93.5,  
Colonia Venta Prieta, 42080 Pachuca, Hidalgo, México.

\*jsole@geologia.unam.mx

### RESUMEN

*Se presenta un listado y se discuten las edades K/Ar de 54 muestras de rocas ígneas y metamórficas de varias localidades de México determinadas en el marco de un convenio entre el Consejo de Recursos Minerales (ahora Servicio Geológico Mexicano) y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se analizaron rocas de los siguientes estados: Baja California Sur, Colima, Durango, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas. Se reporta la información relevante de cada muestra, ubicación, unidad geológica, descripción petrográfica, mineral analizado, edad calculada y el contexto geológico regional. Asimismo, se proporcionan en forma de tabla los datos analíticos de todas las muestras. El rango de las edades obtenidas varía de 2 Ma a 249 Ma; alrededor del 30% de las muestras fechadas corresponden a cuerpos de rocas volcánicas y plutónicas del Oligoceno, distribuidos en la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur.*

*Palabras clave: edades K/Ar, rocas ígneas, rocas metamórficas, México.*

### ABSTRACT

*Fifty-four samples of igneous and metamorphic rocks from south, central and northern Mexico have been analyzed by the K/Ar method. Samples were provided to Instituto de Geología of Universidad Nacional Autónoma de México by the Consejo de Recursos Minerales (now Servicio Geológico Mexicano) from selected regions of the following states: Baja California Sur, Colima, Durango, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa and Zacatecas. All relevant information for each sample, including location, geological unit, petrographical description, mineral analyzed and age is described in the text; analytical data for each sample are given as a table. Ages range from 2 Ma to 249 Ma, with about 30% being Oligocene ages related to volcanism and plutonism in the Sierra Madre Occidental and Sierra Madre del Sur.*

*Key words: K/Ar ages, igneous rocks, metamorphic rocks, Mexico.*

## INTRODUCCIÓN

El Consejo de Recursos Minerales (CRM) realizó en el año 1999 un convenio con el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para la determinación de edades K/Ar en muestras de rocas recolectadas durante las campañas de cartografía del CRM en 1999-2000. Del conjunto de muestras se escogieron 54 consideradas como las más viables para datación por el método mencionado.

En este trabajo se reporta una tabla completa con los fechamientos obtenidos, la descripción petrográfica de las muestras, la discusión sobre el posible significado de cada edad, así como del contexto geológico regional en donde se ubican.

Los fechamientos realizados se llevaron a cabo con el fin de conocer las relaciones temporales de algunos cuerpos de roca que forman parte de varias cartas geológico-mineras elaboradas por el CRM. En el presente trabajo se consideró que por la gran cantidad de fechamientos y su amplia distribución en el territorio nacional, es más conveniente agrupar las muestras fechadas por regiones (Figura 1), con el objetivo inicial de localizar la ubicación de las mismas y, por otra parte, el poder integrar las muestras dentro de un contexto geológico regional a fin de comentar en forma general las posibles afinidades o contrastes de las edades reportadas dentro de los episodios de magmatismo o de deformación reconocidos en cada región.

La ubicación de las muestras fechadas se efectuó en mapas geológicos simplificados que se elaboraron a partir de modificaciones realizadas a la Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000 de Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). En caso de que el lector requiera conocer detalles geológicos específicos, está en posibilidad de consultar las cartas geológicas respectivas elaboradas por el CRM. Las siete grandes regiones en que se agruparon las muestras son: 1) Complejo plutónico de La Paz (Baja California Sur); 2) batolito de Manzanillo (Colima); 3) Sierra Madre Occidental, sector central (Durango y Sinaloa); 4) Faja Volcánica Transmexicana, sector occidental y central (Jalisco y Estado de México); 5) Sierra Madre del Sur en (a) Guerrero y (b) Oaxaca; y 6) sector meridional de la Mesa Central (San Luis Potosí y Zacatecas). Como se observa, la denominación de algunas de las regiones anteriores corresponden a sectores de las provincias geológicas establecidas por Ortega-Gutiérrez *et al.* (1992), sin embargo, en otras regiones se prefirió hacer alusión a otro tipo de denominación, por considerar que en dichos casos se les enmarca con mayor claridad.

## METODOLOGÍA ANALÍTICA

De cada roca se recolectó un mínimo de 5 kg. Una vez fragmentadas manualmente con martillo, se procedió a romperlas con una quebradora de quijadas de acero.

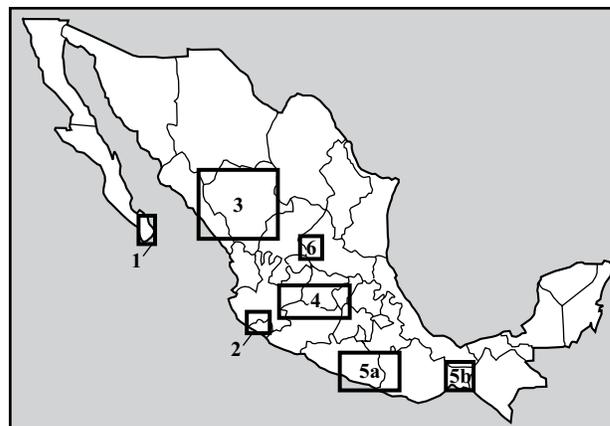


Figura 1. Mapa índice general de las regiones en que se agrupan las muestras fechadas. 1: Complejo plutónico de La Paz; 2: batolito de Manzanillo; 3: Sierra Madre Occidental, sector central; 4: Faja Volcánica Transmexicana, sector occidental y central; 5: Sierra Madre del Sur en (a) Guerrero y (b) Oaxaca; y 6: sector meridional de la Mesa Central.

Después se fragmentaron a un tamaño inferior a 2 mm con una quebradora de discos de acero. Posteriormente se tamizaron en dos fracciones, 500-400  $\mu\text{m}$  y 400-250  $\mu\text{m}$  para escoger la más adecuada para la separación mineral. En general se usó la fracción comprendida entre 250 y 400  $\mu\text{m}$ . La separación mineral se realizó con un separador magnético Frantz y métodos manuales, usándose líquidos pesados en algunos casos.

Los análisis de potasio se realizaron usando un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X Siemens SRS 3000 equipado con tubo de rodio y ventana de berilio. Se realizaron los análisis siguiendo el método propuesto por Solé y Enrique (2001). En concreto, se fundieron 100 mg de muestra con 7 g de una mezcla de metaborato y tetraborato de litio. Se usaron varios estándares naturales de distinta composición para calibrar un rango de potasio comprendido entre 0.5 y 12.5% en peso. Los errores de la calibración son en general inferiores a un 1% en valor relativo. Para el cálculo general del error en la edad se usó un valor del 2% de error en la medición del potasio.

El argón se midió en un espectrómetro de masas MM1200. Primero las muestras se desecaron a 110°C durante una noche para eliminar el agua adsorbida. Después se pesaron en una balanza con una precisión de 0.01 mg. Las muestras, divididas en grupos, se cargaron en la línea de extracción de argón y se esperó hasta conseguir un vacío adecuado. Previo a cada análisis se añade un alícuota del trazador de  $^{38}\text{Ar}$  (*spike*) que se usa para aplicar el método de dilución isotópica con el que calculamos la concentración de argón. Las muestras se fundieron en un horno de tantalio de doble vacío, a unos 1,600 °C. El gas obtenido, mezcla de gases nobles,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , y otros gases, se purificó con una trampa de metal enfriada con nitrógeno líquido y también con un horno de titanio en algunos casos. Los gases restantes se concentraron en un volumen reducido de la línea de extracción mediante una trampa de carbón activado

enfriada con nitrógeno líquido. Ya expandidos de nuevo en este volumen, se purificaron una vez más con una trampa de estado sólido de Zr-Al-Ti de SAES®. Los errores obtenidos en las determinaciones de argón se añaden en forma gaussiana a los de la pesada y la medición de K, obteniéndose finalmente un error para la edad. Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) de la UNAM. En todos los cálculos se han usado las constantes recomendadas por Steiger y Jäger (1977). Los estándares usados para la calibración son las biotitas HD-B1 y LP-6 de 24.0 y 128 Ma, respectivamente (Odin et al., 1982; Fuhrmann et al., 1987).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados analíticos obtenidos se muestran en la Tabla 1, en la que se integran también las coordenadas, el mineral separado, así como el tipo de roca. Se presenta en este apartado una breve descripción geológica y petrográfica de cada muestra, junto con algunos comentarios sobre la interpretación de las edades obtenidas. Nuestro objetivo fue tener un marco de referencia para una interpretación general del significado de cada edad, así como algunos rasgos generales del contexto geológico regional que proporcionen un contexto a los resultados obtenidos. Las muestras se describen en los sectores en los que se ubican, sin embargo, para facilidad de ubicación, en la Tabla 1 están ordenadas por estados y por orden alfabético de carta y código de muestra.

### Complejo plutónico de La Paz

La región está constituida predominantemente por rocas plutónicas con edades que varían del Cretácico Tardío al Paleoceno (Ortega-Gutiérrez et al., 1992; Ferrari et al., 2005), y representa la continuación al sur del conjunto batolítico peninsular (Gastil et al., 1990). De acuerdo con este último autor, la edad de este conjunto plutónico es más amplia, variando entre los 140 y 80 Ma.

Las muestras fechadas presentan rangos de edades que se integran al contexto geológico de la región y están constituidas por rocas intrusivas con y sin metamorfismo (Figura 2).

### Baja California Sur

*Hoja San Juan de los Planes (1:50,000)*

PR-1. La litología de la muestra fechada corresponde a un cuerpo de metagranito intrusionado por diques de pórfido andesítico paralelos a la foliación. Forma un cuerpo alargado paralelo a la costa a unos 4 km al NW de la localidad "Las Primeras Piedras", cubriendo un área de aproximadamente 8 km<sup>2</sup>. Está constituida principalmente por cristales grandes de cuarzo anhedral, biotita y anfíboles subhedrales, y presenta una textura metamórfica. El cuarzo muestra una

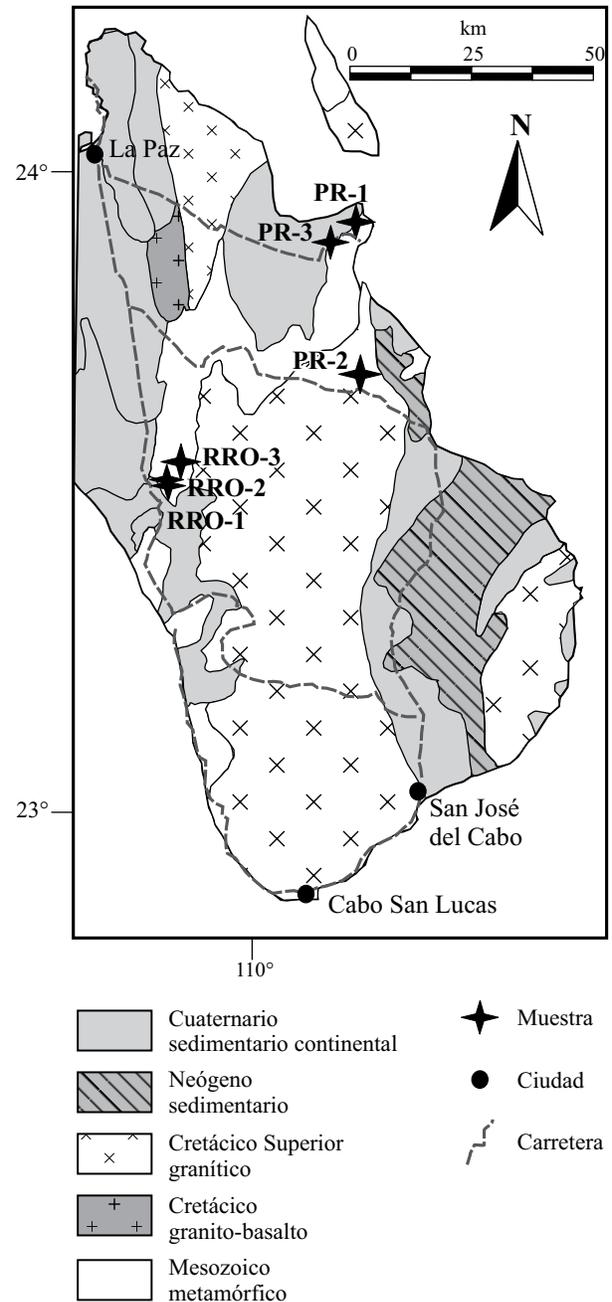


Figura 2. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región del complejo plutónico de La Paz, Estado de Baja California Sur.

extinción ondulante. El fechamiento se obtuvo a partir de un concentrado de biotita y la edad obtenida fue de  $100 \pm 3$  Ma, la cual debe corresponder a la edad de enfriamiento o deformación incipiente de este metagranito.

PR-2. Granito que forma parte del Batolito Peninsular. Está constituido por cuarzo anhedral, plagioclasa euhedral y cristales de biotita grandes (hasta un 20%). Se encuentra en forma masiva cortado por diques aplíticos. Se separó biotita, y se obtuvo una edad de  $67 \pm 2$  Ma que interpretamos como

la edad de enfriamiento de este granito.

PR-3. Gabro que se presenta en forma de apófisis, en contacto con rocas migmatíticas(?), las cuales se encuentran intrusionadas por diques aplíticos. Se localiza a aproximadamente 1 km al SE de Santa Martha, cerca de una zona de alteración hidrotermal. Está formado por piroxeno, plagioclasa y, en menor porcentaje, anfíboles euhedrales. De este gabro se separó anfíbol, dando una edad de  $111 \pm 3$  Ma que correspondería a la edad de enfriamiento de la roca.

#### *Hoja El Rosario (1:50,000)*

RRO-1. La muestra se clasificó como una metapelita, que además presenta una textura protomilonítica. En la cartografía del Consejo de Recursos Minerales, estos cuerpos de roca han sido nombrados informalmente como metapelitas “El Cardonoso”, y afloran en el arroyo Las Palomas. Se aprecia una alineación incipiente definida por las micas. Se aprecia una alineación incipiente definida por las micas. Se analizó la roca entera, por la finura de grano, y se obtuvo una edad de  $74 \pm 4$  Ma. Al tratarse de una roca con textura metamórfica hay que pensar que lo más probable es que esta sea la edad del metamorfismo-deformación. Esta edad es muy parecida a la obtenida para la muestra RRO-2, siendo cortada por esta última.

RRO-2. Es un granito que corta a RRO-1 en la misma localidad anterior. Presenta una variación textural en lámina delgada y muestra de mano. En algunos sectores de la lámina aún quedan relictos de la textura del granito. En otros sectores la textura es milonítica con porfiroclastos de feldespato. La edad obtenida a partir de un concentrado de biotita fue de  $77 \pm 3$  Ma. Se puede interpretar como la edad del intrusivo, o más probablemente, de la deformación común a RRO-1 y RRO-2.

RRO-3. La litología de la muestra corresponde a una microdiorita, la cual corta a un cuerpo de granodiorita deformada al que informalmente se le denomina “La Buena Mujer”, de edad Cretácico Superior, en la cartografía del CRM. Muestra una variación textural en lámina delgada, definida por un bandeamiento metamórfico. Unas bandas están constituidas por plagioclasa, feldespato y anfíbol de grano medio y otras presentan una textura cataclástica. Se separó anfíbol que dio una edad de  $106 \pm 3$  Ma, no pudiendo concluirse si corresponde a la edad de la deformación o del protolito, aunque tratándose de anfíbol es posible que la edad obtenida esté próxima a la edad de enfriamiento de la roca ígnea.

### **Región del batolito de Manzanillo**

El batolito de Manzanillo forma parte de una amplia faja de magmatismo reconocido en la Sierra Madre del Sur (SMS). En forma particular, las rocas intrusivas que forman parte de la zona batolítica de las costas de Jalisco y Colima han sido fechadas por diferentes métodos encontrándose edades del Cretácico Tardío y en la porción sureste del batolito de Manzanillo se reportan edades terciarias (Schaaf *et*

*al.*, 1995; Morán-Zenteno *et al.*, 1999, 2000). Asimismo se puede señalar la presencia en la región de rocas volcánicas del Cretácico Superior – Paleoceno (Ferrari *et al.*, 2005)

Bajo el contexto anterior se observa que de las muestras fechadas (Figura 3) tres corresponden a cuerpos plutónicos afines con las edades del Cretácico Tardío – Terciario previamente reportadas en la región. De igual manera, las edades obtenidas de las rocas volcánicas también quedan integradas al contexto geológico del área.

### **Colima**

#### *Hoja Comala (1:50,000)*

RC-1. Gabro situado en la localidad Mixcuate-Limoncito, entre el batolito de Tomatlán y el macizo calcáreo de Cerro Grande (Sierra de Manantlán). Presenta plagioclasa euhedral y piroxeno anhedral en un porcentaje importante. Las fases de alteración que se observan son clorita y sericita. La biotita de esta muestra está muy cloritizada, por lo que se dató plagioclasa. La edad obtenida,  $53 \pm 3$  Ma, debe interpretarse con precaución, pues las plagioclasas pueden dar resultados anómalos en intrusivos. Se trata probablemente de una edad mínima. Compárese con la edad de la muestra siguiente, RC-2. Si la edad de ambas es correcta, entonces podría tratarse de una simultaneidad de plutonismo y volcanismo en la región o bien de un “reseteo” de ambas edades por un evento eocénico no identificado.

RC-2. Andesita basáltica situada en la localidad Mixcuate-Puerto del Fresno. La matriz está formada por microcristales de plagioclasa. Los fenocristales son de plagioclasa, feldespato y piroxeno euhedrales. Algunos cristales de piroxeno presentan bordes hematizados. Es probable que la edad obtenida,  $53 \pm 3$  Ma, sea válida, pero cabe comentar lo mencionado en la muestra precedente.

#### *Hoja Manzanillo (1:250,000)*

Au-4. Andesita basáltica ubicada en la sierra de Manantlán, inmediatamente al SW de Autlán. Es una roca isogranular constituida por microcristales de plagioclasa tabulares, además se observan pequeñas vesículas rellenas de clorita. Se fechó la roca entera libre de minerales magnéticos, obteniéndose una edad de  $67 \pm 2$  Ma, la cual debe ser muy próxima al emplazamiento del cuerpo volcánico.

H-1. Gabro que forma parte del batolito de Tomatlán, en la localidad la Huerta. La muestra presenta textura intersertal y está constituida por cristales euhedrales grandes de plagioclasa, y piroxenos de forma irregular. Algunos cristales de piroxeno se encuentran alterados a clorita. Se separó biotita, por lo que interpretamos la edad de  $84 \pm 2$  Ma como la edad de enfriamiento del intrusivo.

P-1. Granodiorita que forma parte del batolito de Tomatlán en la localidad Purificación. Los cristales son de plagioclasa y cuarzo, principalmente. Cristales grandes de biotita también forman un porcentaje importante de la composición. Los anfíboles son escasos. Se separó biotita, dando una edad de  $70 \pm 2$  Ma que se interpreta como la edad de enfriamiento del intrusivo.

Tabla 1. Resumen de los datos geográficos, petrográficos y geocronológicos de las muestras estudiadas. El listado se muestra en orden alfabético sucesivo por estado, carta y código de muestra.

Código	Longitud W	Latitud N	Carta	Estado	Roca	Mineral	%K	<sup>40</sup> Ar* % <sup>40</sup> Ar*	Edad
RRO-1	110°11'01"	23°35'06"	El Rosario 1:50,000 (F12-B23); SGM (2000)	Baja California Sur	Metapelite	Roca entera	0.812	1.058	59.9
RRO-2	110°11'01"	23°35'06"	El Rosario 1:50,000 (F12-B23); SGM (2000)	Baja California Sur	Granito milonitizado	Biotita	6.61	9.004	93.8
RRO-3	110°09'12"	23°32'30"	El Rosario 1:50,000 (F12-B23); SGM (2000)	Baja California Sur	Microdiorita	Anfibol	0.597	1.135	83.9
PR-1	109°50'48"	23°56'41"	San Juan de Los Planes 1:50,000 (F12-B14); SGM (2000)	Baja California Sur	Metagranito	Biotita	5.88	10.50	95.3
PR-2	109°49'20"	23°45'05"	San Juan de Los Planes 1:50,000 (F12-B14); SGM (2000)	Baja California Sur	Granito	Biotita	7.49	8.901	91.0
PR-3	109°53'11"	23°52'42"	San Juan de Los Planes 1:50,000 (F12-B14); SGM (2000)	Baja California Sur	Gabro	Anfibol	0.531	1.050	74.2
RC-1	103°57'56"	19°19'03"	Comala 1:50,000 (E13-B34); SGM (2000)	Colima	Gabro	Plagioclasa	0.941	0.878	67.5
RC-2	103°57'21"	19°20'40"	Comala 1:50,000 (E13-B34); SGM (2000)	Colima	Andesita basáltica	Plagioclasa	1.11	1.039	70.8
Au-4	104°25'17"	19°41'29"	Manzanillo 1:250,000 (E13-2-5); SGM (2000)	Colima	Andesita basáltica	Roca entera	1.99	2.370	85.8
H-1	104°39'05"	19°27'29"	Manzanillo 1:250,000 (E13-2-5); SGM (2000)	Colima	Gabro	Biotita	6.82	10.20	83.5
P-1	104°34'40"	19°44'30"	Manzanillo 1:250,000 (E13-2-5); SGM (2000)	Colima	Granodiorita	Biotita	6.56	8.101	87.1
CO-1	104°46'05"	24°58'17"	Durango 1:250,000 (G13-11); SGM (1998)	Durango	Andesita	Roca entera	1.65	0.773	54.8
AR-371	104°20'45"	23°15'20"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Toba andesítica	Plagioclasa	0.982	0.476	60.7
AR-387	104°45'28"	23°11'49"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Ignimbrita dacítica	Sanidino	3.34	1.623	89.8
AR-390'	104°39'09"	23°17'29"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Riolita	Sanidino	2.48	1.174	88.7
AR-391	104°39'09"	23°07'57"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Basalto	Roca entera	1.82	0.676	54.6
JG-417	104°46'23"	23°13'23"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Metaarenisca	Moscovita+cuarzo	1.78	1.528	87.6
OJA-53	104°25'09"	23°45'52"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Basalto	Plagioclasa	1.05	0.560	51.1
OJA-153 C	104°43'37"	23°40'35"	El Salto 1:250,000 (F13-2); SGM (2000)	Durango	Riolita	Sanidino+cuarzo	1.47	0.739	77.6
MCH-1	105°19'29"	23°27'32"	San Bernardino de Milpillas 1:250,000 (F13-A39); SGM (2004)	Durango	Basalto	Roca entera	1.84	0.313	49.6
MCH-3	105°19'56"	23°16'48"	San Bernardino de Milpillas 1:250,000 (F13-A39); SGM (2004)	Durango	Andesita basáltica	Roca entera	1.69	0.703	58.2
MCH-6	105°19'44"	23°16'19"	San Bernardino de Milpillas 1:250,000 (F13-A39); SGM (2004)	Durango	Ignimbrita	Plagioclasa	0.507	0.288	38.4
RD-5	104°33'54"	25°10'30"	Santiago Papasquiaro 1:250,000 (G13-8); SGM (2000)	Durango	Basalto	Plagioclasa	0.546	0.232	32.8
RG-1	105°19'02"	25°41'34"	Santiago Papasquiaro 1:250,000 (G13-8); SGM (2000)	Durango	Ignimbrita	Sanidino+cuarzo	3.87	2.825	89.5
RG-2	105°51'59"	25°28'42"	Santiago Papasquiaro 1:250,000 (G13-8); SGM (2000)	Durango	Basalto	Plagioclasa	0.634	0.392	66.2
RG-3	105°58'13"	25°34'28"	Santiago Papasquiaro 1:250,000 (G13-8); SGM (2000)	Durango	Andesita	Plagioclasa	1.16	0.663	56.9
JSD-2	103°48'09"	25°44'55"	Torreón 1:250,000 (G13-9); SGM (2000)	Durango	Gabro	Anfibol	0.701	1.014	80.9
JSD-3	103°56'50"	25°40'40"	Torreón 1:250,000 (G13-9); SGM (2000)	Durango	Granito	Biotita	7.00	3.913	53.2

Tabla 1. (continuación).

Código	Longitud W	Latitud N	Carta	Estado	Roca	Mineral	%K	<sup>40</sup> Ar* % <sup>40</sup> Ar*	Edad
GR-1	100°04'15"	19°44'25"	El Oro de Hidalgo 1:50,000 (E14-A16); SGM (2000)	Estado de México	Basalto andesítico	Plagioclasa	1.17	0.651	75.8 ± 1
RR-1	100°01'15"	19°45'10"	El Oro de Hidalgo 1:50,000 (E14-A16); SGM (2000)	Estado de México	Riolita	Sanidino+ cuarzo	3.08	1.584	84.1 ± 2
SR-1	100°08'54"	19°49'10"	El Oro de Hidalgo 1:50,000 (E14-A16); SGM (2000)	Estado de México	Basalto	Plagioclasa	1.56	0.070	22.4 ± 1
D-2	98°09'12"	16°32'56"	Acapulco 1:250,000 (E14-11); SGM (2000)	Guerrero	Granito	Biotita	6.34	2.706	86.9 ± 1
D-3	98°11'26"	16°15'34"	Acapulco 1:250,000 (E14-11); SGM (2000)	Guerrero	Granito	Biotita	6.73	3.889	66.2 ± 1
D-4	99°00'14"	16°37'41"	Acapulco 1:250,000 (E14-11); SGM (2000)	Guerrero	Granodiorita	Biotita	7.13	4.111	84.7 ± 1
G-02	99°41'42"	17°53'07"	Chilpancingo 1:100,000 (I4Q(k) 1); SGM (2000)	Guerrero	Cuarzodiorita	Biotita	6.62	7.942	96.3 ± 2
JB-205	99°39'35"	17°51'13"	Chilpancingo 1:100,000 (I4Q(k) 1); SGM (2000)	Guerrero	Cuarzodiorita	Biotita	6.84	7.987	89.1 ± 2
JS-112	99°50'03"	17°39'04"	Chilpancingo 1:100,000 (I4Q(k) 1); SGM (2000)	Guerrero	Dacita	Biotita	7.31	7.549	91.5 ± 2
JS-162	99°48'16"	17°34'14"	Chilpancingo 1:100,000 (I4Q(k) 1); SGM (2000)	Guerrero	Microgabro	Plagioclasa	1.20	0.689	62.6 ± 1
I39	103°05'03"	20°39'47"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Ignimbrita dacítica	Sanidino	4.92	0.189	35.1 ± 0.5
I39	103°05'03"	20°39'47"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Ignimbrita dacítica	Vidrio	3.92	0.161	33.5 ± 0.5
I40 A	103°01'48"	20°31'52"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Toba andesítica	Plagioclasa	0.578	0.253	99.0 ± 1
I56	102°02'46"	20°28'53"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Basalto	Plagioclasa	0.479	0.173	51.2 ± 1
I59 A	102°03'26"	20°29'52"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Toba andesítica	Roca entera	3.79	0.826	77.8 ± 1
I59 B	102°03'26"	20°29'52"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Toba andesítica	Roca entera	3.71	0.517	42.7 ± 1
PM 180	102°15'33"	20°53'47"	Guadalajara 1:250,000 (F13-12); SGM (2000)	Jalisco	Basalto	Plagioclasa	0.899	0.284	49.4 ± 2
M1-D1	95°19'56"	17°11'38"	Minatitlán 1:250,000 (E15-7); SGM (2000)	Oaxaca	Granodiorita	Biotita	5.97	27.62	98.3 ± 4
DR-1	95°13'12"	16°19'52"	Salina Cruz (Juchitán) 1:250,000 (E15-10); SGM (2000)	Oaxaca	Granito milonitizado	Anfibol	1.06	0.315	67.9 ± 1
DR-2	95°22'33"	16°25'40"	Salina Cruz (Juchitán) 1:250,000 (E15-10); SGM (2000)	Oaxaca	Granodiorita	Biotita	7.40	1.840	69.3 ± 1
DR-3	94°11'10"	16°33'42"	Salina Cruz (Juchitán) 1:250,000 (E15-10); SGM (2000)	Oaxaca	Metatoba	Roca entera	3.32	5.054	95.1 ± 2
DR-5	94°46'25"	16°56'16"	Salina Cruz (Juchitán) 1:250,000 (E15-10); SGM (2000)	Oaxaca	Granito	Clorita	0.319	0.390	20.1 ± 4
DR-6	97°18'15"	16°59'59"	Zacachila 1:250,000 (E14-12); SGM (2000)	Oaxaca	Granito	Clorita	0.944	3.751	69.4 ± 4
LO-34	101°08'22"	23°15'03"	Charcas 1:50,000 (F14-A43); SGM (2000)	San Luis Potosí	Dacita	Plagioclasa	0.775	0.970	55.3 ± 4
PAR-71	101°41'04"	22°31'01"	Salinas de Hidalgo 1:100,000 (I4Q(a) 7); SGM (2000)	San Luis Potosí	Riolita	Moscovita	7.75	6.973	85.8 ± 2
RCH-243	106°50'19"	24°55'02"	Chacala 1:50,000 (G13-C54); SGM (1999)	Sinaloa	Granodiorita	Plagioclasa	0.555	0.563	27.1 ± 4
RCOM-17	106°46'23"	24°32'27"	Comedero 1:50,000 (G13-C64); SGM (1999)	Sinaloa	Basalto andesítico	Plagioclasa	0.316	0.439	67.5 ± 5
ZC-1	102°07'23"	22°46'23"	Zacatón 1:50,000 (F13-B59); SGM (2000)	Zacatecas	Granito	Biotita	4.77	6.525	96.5 ± 3

%K: porcentaje de potasio en peso; <sup>40</sup>Ar\*: concentración de argón radiogénico en 1×10<sup>9</sup> mol/g; %<sup>40</sup>Ar\*: porcentaje de argón radiogénico.

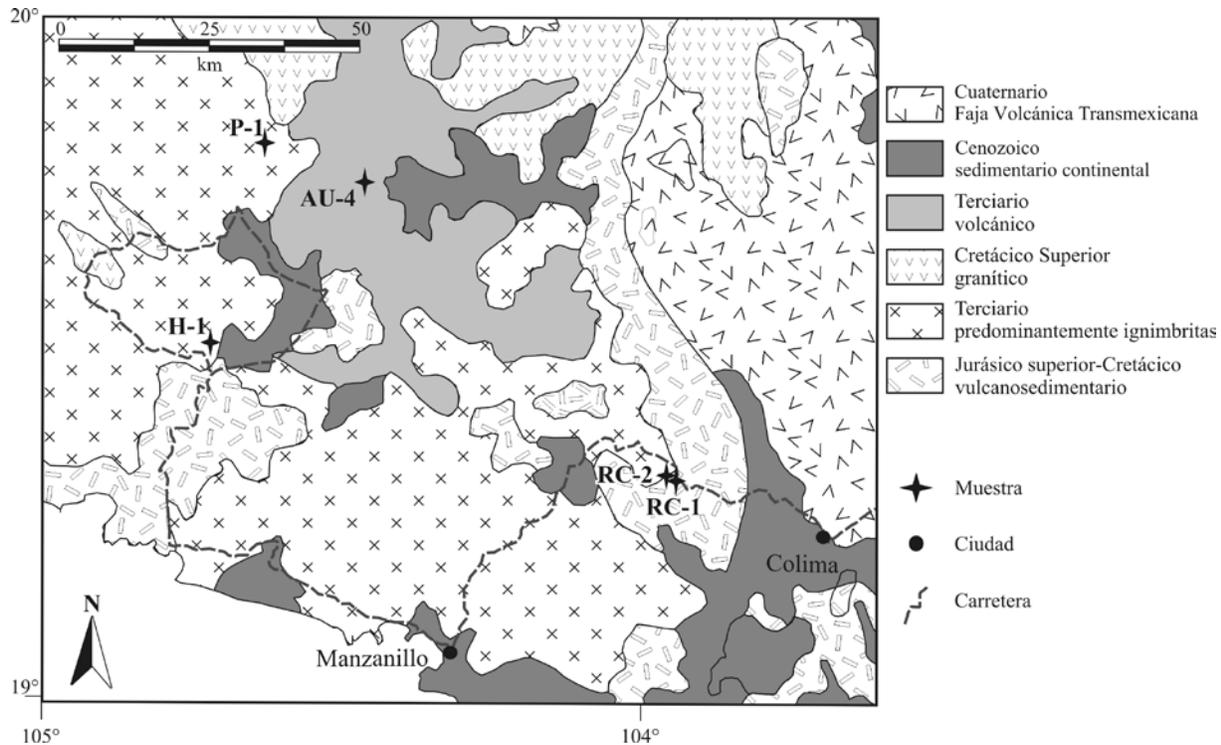


Figura 3. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región del batolito de Manzanillo, Estado de Colima.

### Sector central de la Sierra Madre Occidental

Alrededor del 30% de las muestras fechadas y reportadas se encuentran ubicadas en la porción central de la Sierra Madre Occidental, la cual constituye la provincia magmática más extensa de México. Ferrari *et al.* (2005) han reconocido en el registro estratigráfico de esta provincia cinco conjuntos ígneos principales: 1) rocas plutónicas y volcánicas del Paleoceno; 2) rocas volcánicas andesíticas y en menor medida de composición silícica del Eoceno, episodio que también reconocieron McDowell *et al.* (1977, 1979) y Aguirre y McDowell (1991); los primeros autores lo denominaron Complejo Volcánico Inferior; 3) ignimbritas silícicas emplazadas en su mayor parte en dos pulsos, en el Oligoceno temprano (32–28 Ma) y el Mioceno temprano (24–20 Ma), a las que McDowell *et al.* (1977) denominaron Supergrupo Volcánico Superior; 4) derrames basáltico-andesíticos transicionales extravasados en forma posterior a cada pulso ignimbrítico; y 5) rocas basálticas e ignimbríticas post-subducción formadas en diferentes episodios del Mioceno tardío al Cuaternario.

Las edades de la mayor parte de las muestras ubicadas en este sector (Figura 4) corresponden al episodio del Oligoceno al Mioceno temprano, sin embargo, llama la atención que la mayor parte de las mismas presentan una composición de tipo intermedio. Asimismo, se reportan tres muestras cuyas edades se integran en el conjunto más antiguo, y espacialmente tienen afinidad con los límites

propuestos para la extensión de ese evento por Ferrari *et al.* (2005). Las muestras del evento del Eoceno también están presentes.

### Durango

#### Hoja Durango (1:250,000)

CO-1. Andesita que se ubica en la zona de Coneto de Comonfort, unos 10 km al E de la laguna norte de Santiaguillo. Su matriz está constituida por plagioclasa en cristales pequeños euhedrales. Los fenocristales son de plagioclasa y feldespatos alcalinos, principalmente. La fase de alteración presente es clorita. Se separó roca entera sin minerales magnéticos. Se obtuvo una edad de  $27 \pm 2$  Ma que se interpreta como la edad de emplazamiento.

#### Hoja El Salto (1:250,000)

AR-371. Toba andesítica que se ubica en la zona de Candelaria del Alto, en el horst de las Margaritas. Presenta una textura porfídica con bandeamiento fluidal. La matriz es vítrea y los fenocristales son de plagioclasa. Se observa algún cristal de piroxeno. Se separó plagioclasa, dando una edad de  $28 \pm 2$  Ma que se considera la edad de la toba.

AR-387. Ignimbrita dacítica que se ubica en la zona de Taxicaranga, formando parte de lo que McDowell y Keizer, (1977) denominan Supergrupo Volcánico Superior. Presenta matriz vítrea fluidal y fenocristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasa. Presenta también vesículas y minerales opacos ampliamente distribuidos en la muestra. Se separó una mez-

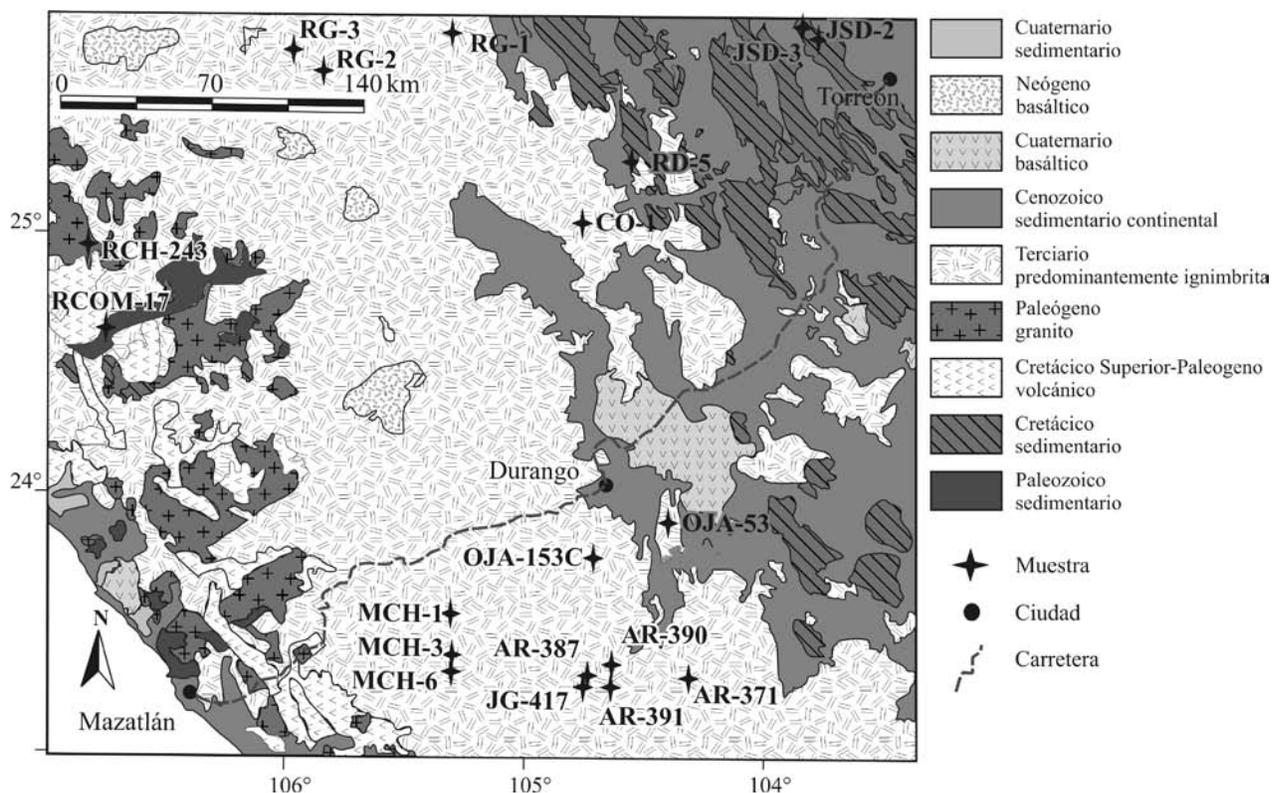


Figura 4. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región central de la Sierra Madre Occidental, estados de Durango y Sinaloa.

cla de sanidino y cuarzo que dio una edad de  $28 \pm 1$  Ma, la cual se considera la edad del emplazamiento.

AR-390. Cuerpo de riolitas de la zona del Mezquital, Sierra Azul, que forman también parte de lo que McDowell y Kaizer (1977) llaman Supergrupo Volcánico Superior. Los fenocristales son de cuarzo euhedrales a subhedrales y escasa plagioclasa; la matriz microcristalina está compuesta principalmente de cuarzo. Los minerales opacos son escasos. Se separó sanidino, dando una edad de  $27 \pm 1$  Ma, correspondiente a la edad del vulcanismo.

AR-391. Basalto situado en la región de La Candelaria del Alto, la cual forma parte del Supergrupo Volcánico Superior. Corta a la unidad riolítica representada por la muestra AR-371. Presenta una matriz fluidal constituida por cristales de plagioclasa. Los microfenocristales son de plagioclasa y relativamente escasos. Presenta abundantes vesículas cuyos bordes muestran oxidación. Se determinó una edad de  $21 \pm 2$  Ma sobre roca entera de la que se eliminaron los minerales magnéticos. Esta edad la interpretamos como la edad del emplazamiento.

JG-417. Roca metasedimentaria que sobreyace a conglomerado también con metamorfismo y es sobreyacida por una andesita de probable edad terciaria en la región de Taxicaringa. Está constituida casi en su totalidad por cristales de cuarzo subangulares a subredondeados. Presenta incipiente deformación, evidente por la extinción ondulante de algunos granos de cuarzo y el desarrollo de micas entre

granos, según planos semiparalelos. Se dató la roca entera pero desprovista de magnéticos, es decir, una mezcla de moscovita y cuarzo imposible de separar por los métodos convencionales debido al pequeño tamaño de grano. Se obtuvo una edad de  $49 \pm 2$  Ma que consideramos como la edad de la cristalización de la mica que define los planos de foliación incipiente, es decir, equivalente a la edad del metamorfismo.

OJA-53. Basalto que se ubica en la región de Santiago Bayacora, Sierra del Registro, unos 40 km al SE de Durango. Este basalto forma parte de la Formación Caleras y está intercalado en ignimbritas. La matriz está formada por plagioclasa microcristalina, y los fenocristales son de plagioclasa euhedral y a veces se presentan aglomerados entre sí. Existen fenocristales de piroxeno. Se separó plagioclasa, de la que se obtuvo una edad de  $31 \pm 2$  Ma, considerada como la edad de emplazamiento, lo que implica que las ignimbritas de la Formación Caleras también son de esta edad.

OJA-153C. Riolita que sobreyace a unas tobas riolíticas en la región de Aserradero La Flor, Santiago Bayacora, unos 50 km al S de Durango. Forma la parte más alta de la secuencia volcánica en esta localidad. La matriz está formada por cuarzo microcristalino. Los fenocristales son de cuarzo, sanidino, plagioclasa y alguna biotita alterada. Se separó sanidino (+cuarzo) que dio una edad de  $29 \pm 2$  Ma, la cual se considera la edad de la riolita. Esta edad sería la más joven del centro volcánico La Flor-Guacamayita.

*Hoja San Bernardino de Milpillás (1:250,000)*

MCH-1. Basalto que subyace a ignimbritas en el área de Jagueyes. Forma horizontes basálticos en la cima de la secuencia volcánica. Muestra una textura porfídica (casi isogranular) con una matriz formada por plagioclasa tabular y maclada y microcristales de piroxeno y olivino. Los fenocristales son de plagioclasa y algunos de piroxeno. Se separó roca entera sin magnéticos, dando una edad de  $10 \pm 2$  Ma que debería corresponder a su emplazamiento.

MCH-3. Andesita basáltica que subyace a dacitas que forman la parte alta de la secuencia volcánica de Sierra Madre en esta carta, pero ubicada debajo de MCH-1. La matriz está constituida por plagioclasa y algunos cristales de piroxeno. Los fenocristales son de olivino alterado, piroxeno y plagioclasa. Se separó roca entera sin magnéticos, de la que se obtuvo una edad de  $24 \pm 2$  Ma, la cual debería corresponder a la edad de esta roca.

MCH-6. Ignimbrita de una potencia aproximada de 1,200 m que subyace al paquete volcánico superior (de donde se tomaron MCH-1 y MCH-3). Presenta una textura porfídica. La matriz está constituida por cuarzo microcristalino. Los fenocristales son de cuarzo, plagioclasa y feldespato. Matriz y feldespato presentan minerales de alteración. Se separó plagioclasa, la cual dio una edad de  $32 \pm 2$  Ma que es la edad de esta riolita.

*Hoja Santiago Papasquiario (1:250,000)*

RD-5. Basalto que se halla ubicado en la región de Rodeo. Cubre discordantemente a los conglomerados de rocas volcánicas de la formación Los Llanos. La matriz de esta roca está formada por microcristales de plagioclasa y piroxeno euhedral. Los fenocristales son de plagioclasa y piroxeno. Presenta escasos fenocristales de olivino alterados a clorita. Se separó plagioclasa, de la que se obtuvo una edad de  $24 \pm 3$  Ma, considerada como la edad de este basalto.

RG-1. Ignimbrita ubicada en la región de General Escobedo. Presenta fenocristales de cuarzo y sanidino euhedral a subhedral que representan aproximadamente el 50% de la roca. La matriz microcristalina está constituida por cuarzo. Esta roca muestra en campo abundantes litofisas y huecos de hasta 1 cm rellenos de pómez. Se separó sanidino+cuarzo, del que se obtuvo una edad de  $42 \pm 1$  Ma, la cual debe ser interpretada como la edad de emplazamiento.

RG-2. Basalto que se localiza en la zona de General Escobedo. Contiene fenocristales de olivino, que presentan bordes de oxidación, piroxeno y plagioclasa (algunas zonadas). La matriz está constituida por las mismas fases minerales. Se analizó un concentrado de plagioclasa, dando una edad de  $35 \pm 3$  Ma, la cual se interpreta como la edad del volcanismo.

RG-3. Andesita que se encuentra en la región de Ciénega de Escobar. Muestra una textura fluidal evidente, principalmente en su matriz formada de feldespatos y plagioclasas. Los fenocristales son de plagioclasa euhedral con maclas polisintéticas. Los anfíboles también están

presentes como fenocristales en pequeña proporción. Se separó plagioclasa, la cual dio una edad de  $33 \pm 1$  Ma que se interpreta como la edad de emplazamiento.

*Hoja Torreón (1:250,000)*

JSD-2. Gabro del intrusivo La Zacatera, que intrusión a las calizas de la Formación Aurora del Albiano inferior y medio, unos 40 km al NW de Torreón. Presenta una textura intersertal y está constituida principalmente por cristales de plagioclasa, feldespato y anfíbol; casi el 50% de la roca lo conforman los anfíboles. Tiene deformación incipiente. Se separó anfíbol, del cual se obtuvo una edad de  $82 \pm 4$  Ma que interpretamos como la edad de enfriamiento de este intrusivo.

JSD-3. Granito del intrusivo El Astillero que afecta a las calizas de la Formación Aurora en la Sierra del Rosario, unos 50 km al WNW de Torreón. Está constituido principalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato y escasos cristales de biotita. Los cristales de feldespato presentan minerales arcillosos en sus superficies. Se separó biotita, de la que se obtuvo una edad de  $32 \pm 1$  Ma que se interpreta como la edad de enfriamiento.

**Sinaloa***Hoja Chacala (1:50,000)*

RCH-243. Granodiorita que intrusión a una secuencia de flysch (Fm. San Juan de Camarones) y a una secuencia volcánica, ambas del Mesozoico. La granodiorita está formado por cuarzo, feldespato y plagioclasa euhedrales a subhedrales. La biotita está presente como cristales grandes y se encuentra muy alterada a clorita. Se separó plagioclasa, la cual dio una edad de  $58 \pm 4$  Ma que se interpreta como una edad mínima, pues la biotita está alterada y la plagioclasa en rocas plutónicas puede dar edades anómalas.

*Hoja Comedero (1:50,000)*

RCOM-17. Basalto andesítico en forma de derrames que subyace a una unidad sedimentaria marina denominada Formación Cosalá, cuya edad reportada con base a su contenido fósil es Aptiano-Albiano de acuerdo a la información de la Hoja Comedero del CRM. La matriz microcristalina está formada principalmente por plagioclasa. Los fenocristales son de plagioclasa euhedral. Presenta vesículas rellenas de calcita y una alteración sericitica diseminada. De este basalto se separó plagioclasa, de la que se obtuvo una edad de  $78 \pm 5$  Ma que por imposibilidad estratigráfica debe considerarse como una edad mínima (alteración hidrotermal).

**Faja Volcánica Transmexicana sector occidental y central**

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) se ha interpretado como un arco volcánico que cruza de oeste a este la porción central de México. La edad de dicho arco es del Mioceno Medio (15 Ma) al Reciente (Ferrari *et al.*, 1999). El

inicio de dicho arco se reconoce por un cambio en la composición química de las rocas, al pasar de un vulcanismo de composición predominantemente silícica a una composición intermedia y básica (Ferrari *et al.*, 1999, 2000).

Las muestras fechadas forman parte del sector occidental de la FVTM (Figura 5) y las edades obtenidas corresponden al rango de edades de dicha provincia o a eventos de la transición del vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, como es el caso de las muestras 140A, 156, GR-1 y RR-1.

### Jalisco

#### Hoja Guadalajara (1:250,000)

139. Ignimbrita dacítica que se ubica en la zona de Tinajeras, al norte de Zapotlanejo, unos 25 km al E de Guadalajara. Está compuesta por vidrio fluidal y cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato. Los feldespatos muestran estructuras esferulíticas. Se separaron dos fracciones para datación. El sanidino dio  $2.3 \pm 0.5$  Ma, y el vidrio  $2.4 \pm 0.5$  Ma. Los dos resultados son idénticos dentro del margen de error, por lo que se confirma la edad de esta ignimbrita como  $2.3 \pm 0.5$  Ma.

140A. Toba andesítica soldada que se sitúa en San Román Corralillos al SE de Zapotlanejo. Esta roca tiene una matriz con textura fluidal formada por vidrio y contiene

cristales de plagioclasa, piroxeno y alguna biotita alterada. Se separó plagioclasa, la cual dio una edad de  $25 \pm 1$  Ma, considerada la edad de esta toba.

156. Basalto que se ubica en la zona del Guayabo. La matriz está compuesta principalmente por microcristales de plagioclasa y en menor porcentaje de piroxeno. Los fenocristales son de plagioclasa y piroxeno euhedrales. Un concentrado de plagioclasa dio una edad de  $21 \pm 1$  Ma, considerada la edad del emplazamiento.

159A y 159B. Tobas andesíticas que se ubican en la zona del Guayabo, unos 5-10 km al E de Degollado. La toba 159A es vítrea soldada y contiene cristales escasos de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa en una matriz vítrea fluidal. La toba 159B es idéntica a la 159A, pero contiene clastos de rocas basálticas dentro del flujo vítreo. Se fechó la roca total en ambos casos por no poder separar convenientemente los escasos cristales de feldespato. La muestra 159A dio una edad de  $12.5 \pm 1$  Ma que consideramos como la edad más probable de la toba. Consideramos como menos probable la edad de  $8 \pm 1$  Ma obtenida para la muestra 159B, por haber dado un análisis con menos argón radiogénico que la 159A.

PM-180. Basalto situado en la zona denominada El Carretero, unos 10 km al NE de Sta. María del Valle. Está constituido en más del 80% por cristales de plagioclasa

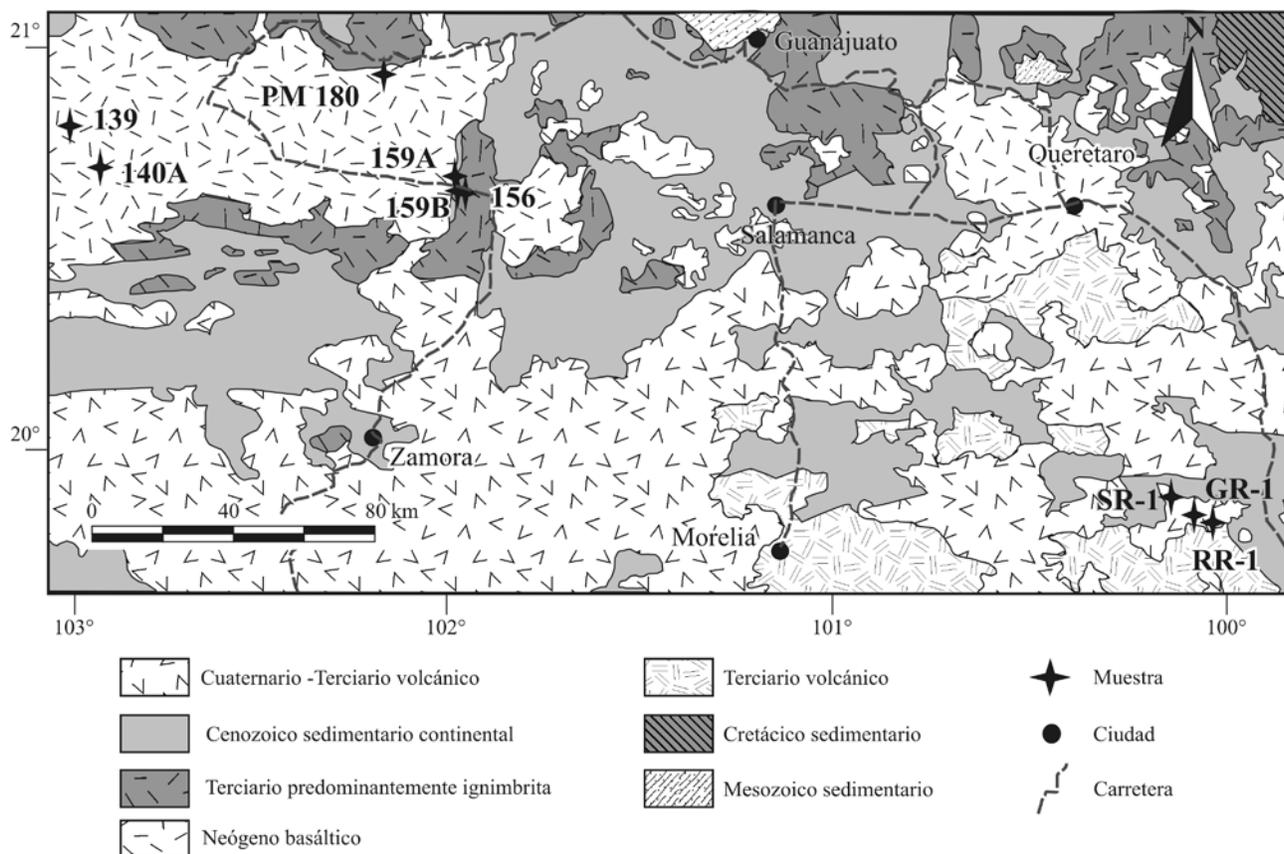


Figura 5. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región de la Faja Volcánica Transmexicana.

tabulares y en menor porcentaje por piroxenos. De este basalto se separó plagioclasa, que dio una edad de  $17 \pm 2$  Ma, interpretada como la edad de emplazamiento.

### Estado de México

En relación con las muestras GR-1 y RR-1, Aguirre-Díaz (1996) reporta en la región de Tlalpujahua una serie de diques y sills de composición basáltica, andesítica y riolítica que intrusionan a las secuencias de rocas metasedimentarias de dicha región, las cuales no han sido fechadas. La presencia de esta secuencia volcánica oligocénica, fechada por primera vez, probablemente tiene que ver con la actividad volcánica de transición entre la SMO y la FVTM, equivalente en edad con la actividad volcánica de la región de Taxco-Tilzapotla.

#### *Hoja El Oro de Hidalgo (1:50,000)*

SR-1. Basalto que se encuentra sobreyaciendo a pizarras y calizas de la Formación Amatepec en Cerro Somera. Su matriz está constituida por cristales de plagioclasa tabulares que definen una dirección de flujo. Los fenocristales de piroxeno son escasos y tienen formas euhedrales. Para este basalto se obtuvo una edad de emplazamiento de  $2.5 \pm 1$  Ma en un concentrado de plagioclasa.

GR-1. Basalto andesítico que se encuentra sobreyaciendo a pizarras y calizas de la Formación Amatepec en Guarda de Guadalupe. Forma parte del basamento de la caldera El Capulín. Está constituido principalmente por cristales de plagioclasa de igual tamaño que definen una textura de flujo. Existen escasos cristales de piroxeno euhedral parcialmente oxidados (hematizados). Se separó plagioclasa, obteniéndose una edad de  $32 \pm 1$  Ma, la cual se interpreta como edad de emplazamiento.

RR-1. Riolita que se encuentra sobreyaciendo a andesitas en la zona del Rosa del Calvario. Forma parte del basamento de la caldera El Capulín y está estratigráficamente arriba de GR-1. La matriz está compuesta de cuarzo microcristalino y los fenocristales son de cuarzo y sanidino. De esta roca se separó sanidino + cuarzo, dando una edad  $29 \pm 2$  Ma que se interpreta como la edad de emplazamiento.

### Sierra Madre del Sur

En forma general, la provincia magmática de la Sierra Madre del Sur se encuentra constituida por dos cinturones magmáticos, uno de ellos formado por batolitos y plutones de composición predominantemente félsica, y otro por un cinturón de rocas volcánicas del Terciario (Morán-Zenteno *et al.*, 1999, 2000).

Un primer grupo de las rocas fechadas corresponde a los granitos D-2, D-3 y D-4 con edades del Oligoceno (Figura 6), muy semejantes a las reportadas en la región comprendida entre San Marcos, Cruz Grande y Tierra Colorada (Herrmann *et al.*, 1994; Hernández-Bernal y Morán-Zenteno, 1996). Por lo que respecta a las muestras

G-02 y JB-205, su litología es de cuarzodiorita con edades del Maastrichtiano ( $68$  y  $66$  Ma), coherentes con las edades reportadas por Meza-Figueroa *et al.* (2003) y que atestiguan un evento magmático antiguo en la región, muy posiblemente relacionado a los episodios laramídicos.

### Guerrero

#### *Hoja Acapulco (1:250,000)*

D-2. Granito que se encuentra intrusionando a los gneises del Complejo Xolapa en San Sebastián Ixcapa. Forma parte del grupo de intrusivos Pinotepa-Río Verde. Está compuesto principalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato y en menor porcentaje anfíboles y biotita. Los cristales son euhedrales a anhedrales (cuarzo). Un concentrado de biotita dio una edad de  $24 \pm 1$  Ma, la cual se interpreta como la edad de enfriamiento del intrusivo.

D-3. Granito que se encuentra intrusionando a los gneises del Complejo Xolapa en Corralero, a unos 7 km de la costa. Está compuesto principalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato, y en menor porcentaje por anfíboles y biotita. Presenta una textura fanerítica con cuarzo y plagioclasas euhedrales. Se separó biotita, la cual dio una edad de  $33 \pm 1$  Ma que corresponde a la edad de enfriamiento de este granito.

D-4. Granodiorita que se encuentra intrusionando a los gneises del Complejo Xolapa en Copala, a unos 10 km de la costa. Está compuesto por cuarzo, hornblenda, plagioclasas y biotita. Se analizó biotita, dando una edad de  $33 \pm 1$  Ma que se interpreta como la edad de enfriamiento de este granito.

#### *Hoja Chilpancingo (1:100,000)*

G-02. Cuarzodiorita que corta a la Fm. Morelos en Nukay (región minera Reserva Morelos, unos 40 km al NNW de Chilpancingo). Más del 80% de la roca está constituida por cristales grandes de plagioclasa. En porcentaje menor a 10% están presentes cristales de cuarzo. La biotita y anfíboles ocurren como cristales grandes. Se separó biotita, dando  $68 \pm 2$  Ma que se interpreta como la edad de enfriamiento del intrusivo.

JB-205. Cuarzodiorita que corta a la Fm. Morelos en la zona minera del Carmen (Reserva Morelos). Está compuesto principalmente por plagioclasa polisintética euhedral. El cuarzo esta presente en porcentaje menor. Los anfíboles y biotitas están presentes como cristales grandes. Se separó biotita, para la que se obtuvo una edad de  $66 \pm 2$  Ma que debe corresponder a la edad de enfriamiento.

JS-112. Roca subvolcánica que corta a las Fms. Mezcala y Morelos en Filo de Caballo. Se trata de una dacita con textura hipabisal. La matriz está constituida por cuarzo y feldespatos. Los fenocristales son de cuarzo, feldespato, biotita y anfíboles alterados. Se separó biotita muy bien preservada, dando una edad de  $59 \pm 2$  Ma que se interpreta como la edad de emplazamiento de la roca.

JS-162. Microgabro que corta a rocas metamórficas de la Fm. Chapolapa y a calizas de la Fm. Morelos.

Aproximadamente el 80% de la muestra está constituida por cristales euhedrales de plagioclasa con maclas polisintéticas, algunos de los cuales presentan zonación. En menor porcentaje está presente piroxeno. Se separó plagioclasa, dando una edad de  $33 \pm 1$  Ma que se interpreta como la edad mínima del intrusivo, aunque su buena conservación y el hecho de que la edad sea coherente en el contexto regional hace pensar que pudiera ser la edad de emplazamiento.

### Oaxaca

Las muestras M1-D1 y DR-6 (Figuras 6 y 7) forman parte de los episodios de plutonismo Permo-Triásico reportados por Damon *et al.* (1981), el primero vinculado al batolito de la Mixtequita y el segundo a los cuerpos intrusivos de la porción central de Oaxaca.

En cuanto a las muestras DR-1 y DR-2 (Figura 7), éstas muestran afinidades con la migración de edad de los eventos intrusivos reconocidos por Schaaf *et al.* (1995) y Morán-Zenteno *et al.* (2000).

#### Hoja Minatitlán (1:250,000)

M1-D1. Granodiorita que forma parte del batolito de la Mixtequita. Presenta textura fanerítica. Los cristales de cuarzo son anhedrales y las plagioclasas muestran maclado polisintético. Se presentan cristales de biotita intercrecidos

con cuarzo y plagioclasa. Contiene también escasos cristales de anfíbol. La edad de  $249 \pm 4$  Ma obtenida en un concentrado de biotita se interpreta como la edad de enfriamiento de esta granodiorita.

#### Hoja Salina Cruz (1:250,000)

DR-1. Granito que se ubica en la zona de Tehuantepec-San Blas Atempa. Está constituido principalmente por cuarzo, feldespato, plagioclasa y cristales grandes de anfíbol y biotita cloritizada. Presenta una milonitización incipiente. Se separó anfíbol muy puro que dio una edad de  $17 \pm 1$  Ma, la cual consideramos como la edad de enfriamiento de este granito.

DR-2. Granodiorita que pertenece al intrusivo Jalapa de Marqués, en la Presa Benito Juárez. Está constituida por cristales grandes de cuarzo y plagioclasa, principalmente. La biotita está presente como mineral accesorio. Se separó biotita, de la cual se obtuvo una edad de  $14 \pm 1$  Ma que se interpreta como la edad de enfriamiento.

DR-3. Metatoba de color verde que presenta foliación y una textura lepidoblástica. La muestra se ubica en el camino Rizo de Oro-Díaz Ordaz, intercalada en una secuencia de limolitas y metatobas correlacionables con la Formación Todos Santos del Jurásico medio. La mineralogía corresponde a plagioclasa deformada, pirita escasa y óxidos de hierro.

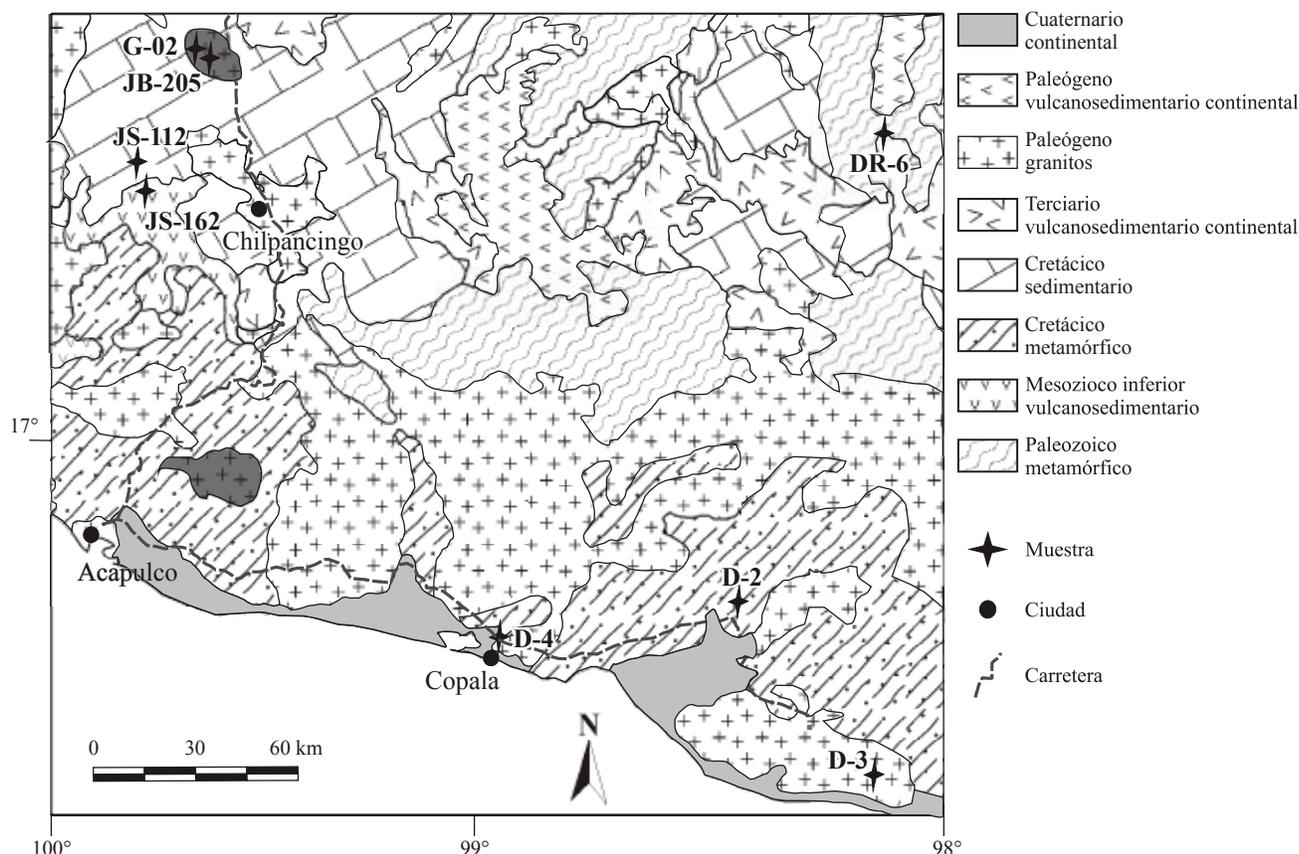


Figura 6. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región occidental de la Sierra Madre del Sur, Guerrero.

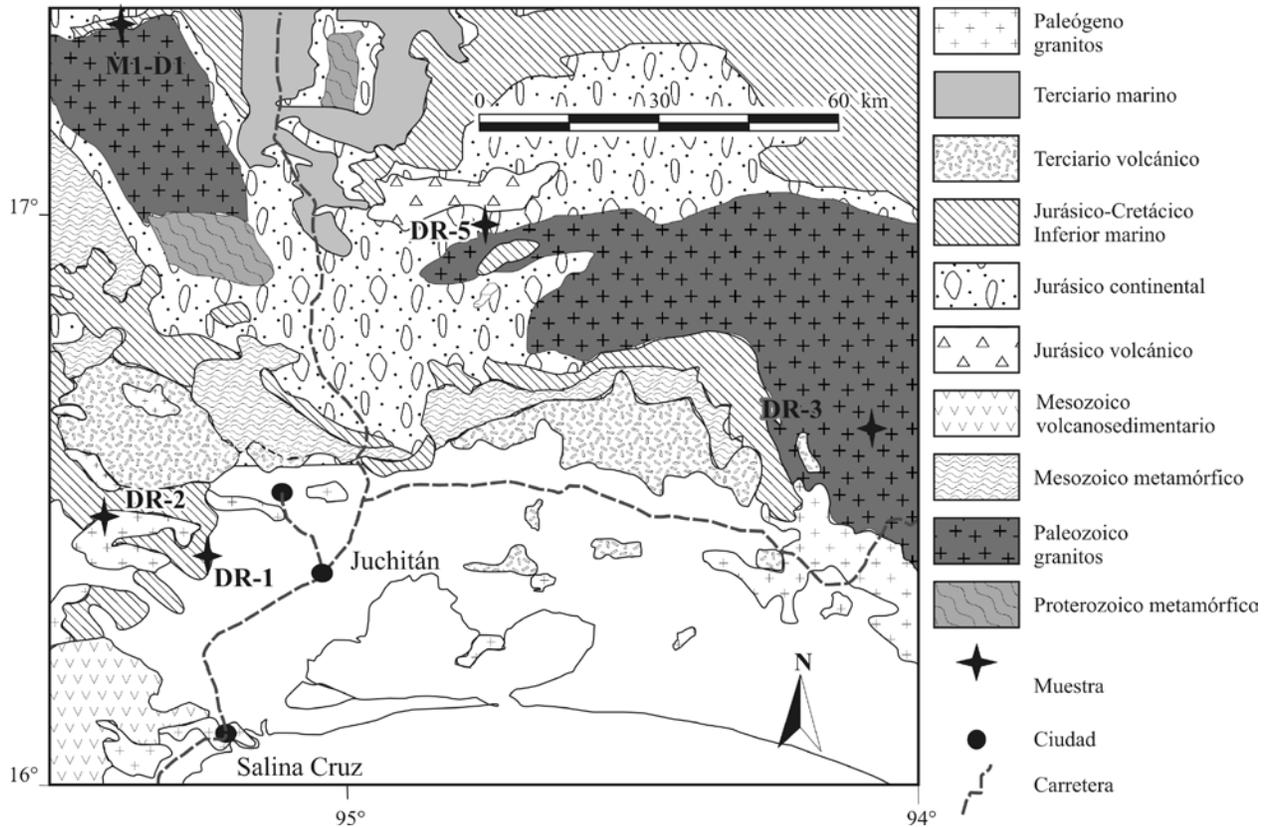


Figura 7. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región oriental de la Sierra Madre del Sur, Oaxaca.

Se dató la roca entera, obteniéndose una edad de  $86 \pm 2$  Ma. Esta edad no es congruente con las relaciones estratigráficas que presenta (intercalada en la Formación Todos Santos), por lo que se puede interpretar que la edad correspondería a un proceso geológico diferente al emplazamiento de la roca, como podría ser un evento de recalentamiento laramídico, ya que la región puede considerarse una prolongación hacia el sur del cinturón laramídico. También existe la posibilidad de que la muestra provenga de un sill de edad posterior alojado en la secuencia descrita.

DR-5. Granito de textura fanerítica que forma la parte más occidental del Macizo de Chiapas, aproximadamente a 25 km al E de Matías Romero (Figura 7). Los cristales son de cuarzo, feldespato y plagioclasa euhedrales a subhedrales. Los cristales de feldespato y plagioclasa presentan minerales arcillosos en sus superficies. Presenta clorita. Este granito está intrusionado por diques básicos. En esta roca, la clorita es el único mineral adecuado para el fechamiento, pero es probable que sólo indique la edad de la transformación de biotita a clorita. La edad obtenida es de  $69 \pm 4$  Ma.

#### Hoja Zaachila (1:250,000)

DR-6. Granito que forma parte de un cuerpo de batolítico sin relación visible de intrusión con las rocas adyacentes (Figura 6). Sin embargo, en el Grupo Teconcoyunca del Jurásico Inferior a Medio se encontraron clastos de este

intrusivo hacia su base y cerca del contacto. La roca está formado principalmente por plagioclasa, cuarzo y feldespato, presentando textura fanerítica. El mineral de alteración presente es clorita, ocupando intersticios. La plagioclasa y el feldespato presentan sericitización. Se fechó clorita, único mineral que pudo separarse bien. La edad obtenida,  $216 \pm 4$  Ma (Triásico superior), representa una edad mínima.

#### Sector de la Mesa Central

En este sector se han realizado diversos trabajos en los que se reportan fechamientos con el fin de establecer la estratigrafía de la cubierta volcánica cenozoica (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996; Aguillón-Robles *et al.*, 1994 y Lang *et al.*, 1988), y de la actividad volcánica del Triásico-Jurásico (Bartolini *et al.*, 2003). En las columnas establecidas para el Cenozoico se reconoce un episodio de vulcanismo predominantemente en el Eoceno-Oligoceno.

En los fechamientos reportados (Figura 8) se observa que para la muestra LO-34 parece no existir congruencia de la edad con las relaciones estratigráficas reconocidas. En relación con la muestra PAR-71, la edad obtenida es congruente con el entorno geológico de vulcanismo del Eoceno. Asimismo, la muestra ZC-1 presenta afinidad en su edad con el cuerpo intrusivo que aflora en el arroyo

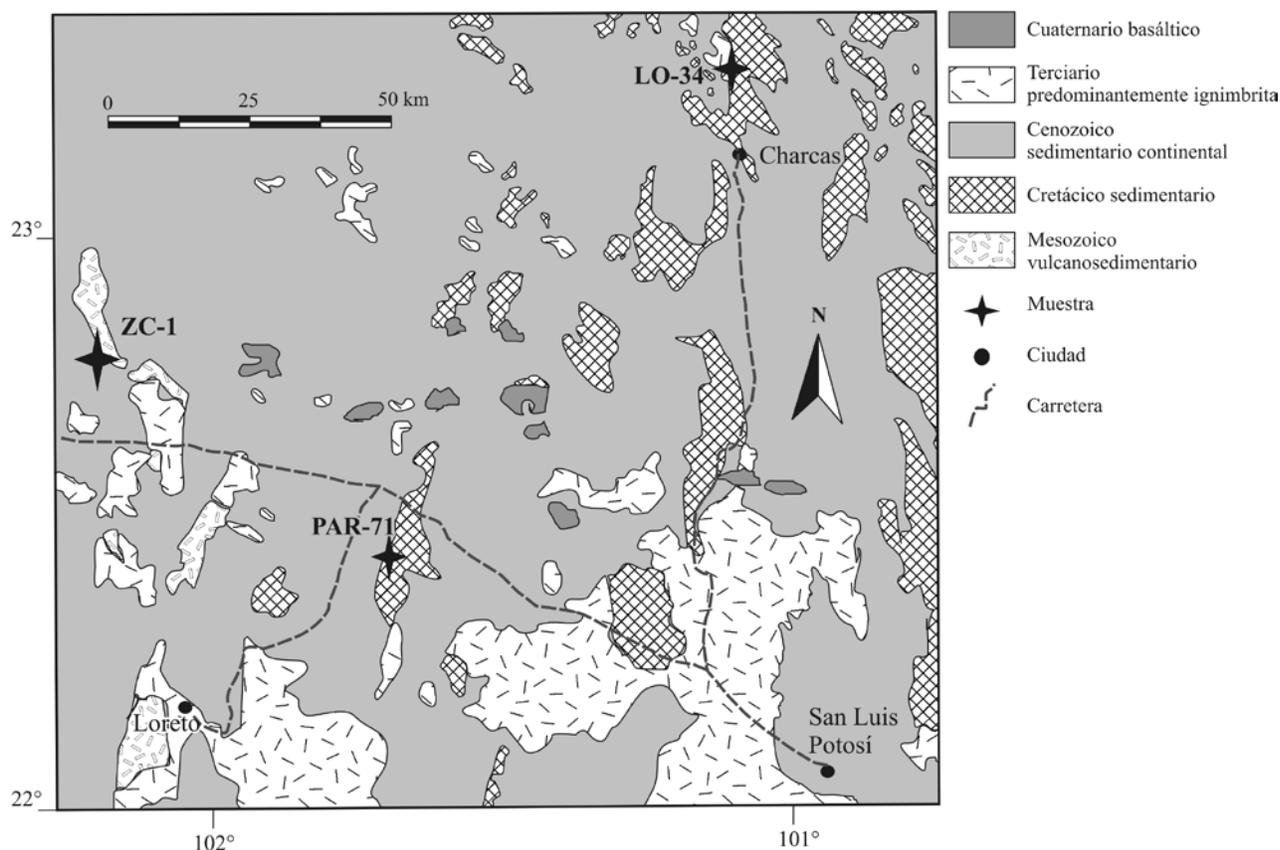


Figura 8. Mapa geológico simplificado con la ubicación de las muestras fechadas en la región de la Mesa Central, San Luis Potosí y Zacatecas.

La Tesorera, fechado por Mújica-Mondragón y Jacobo-Albarrán (1983).

### San Luis Potosí

#### Hoja Charcas (1:50,000)

LO-34. La muestra corresponde a una dacita que se considera un miembro de la Formación Nazas, la cual es una secuencia volcánica del Jurásico inferior y de la base del Jurásico medio (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004). A su vez, la muestra se encuentra descansando sobre una secuencia constituida por lutitas y areniscas que presentan un metamorfismo regional y que por su posición estratigráfica y características litológicas ha sido correlacionada con la Formación Zacatecas de edad Triásico superior. Al parecer, este contacto es de carácter discordante. Sobre la dacita, y también en contacto discordante, se tienen sedimentos de grano fino, limolitas, lutitas y conglomerados que han sido correlacionados con la Formación La Joya del Jurásico medio-superior. La matriz de la dacita está constituida por microcristales de plagioclasa y los fenocristales son de plagioclasa euhedral. Los cristales de feldespato alcalino son escasos. Presenta minerales opacos. De esta dacita se separó plagioclasa, dando una edad de  $71 \pm 4$  Ma. Esta edad es difícil de interpretar, puesto que no parece corresponder a la estratigrafía. Es posible establecer algunas explicacio-

nes: pudiera tratarse de un sill, también puede ser que la correlación con la Formación La Joya no sea correcta, y otra alternativa sería que se trate de un proceso de recalentamiento laramídico.

#### Hoja Salinas de Hidalgo (1:100,000)

PAR-71. Riolita perteneciente al intrusivo Peñón Blanco. Intruye a la Fm. Caracol del Cretácico Superior. La matriz está constituida por cuarzo microcristalino. Los fenocristales son de cuarzo euhedral a subhedral, feldespato alcalino y plagioclasa euhedral. Presenta grandes cristales de moscovita. Se separó moscovita, la cual dio una edad de  $51 \pm 2$  Ma, considerada la edad del intrusivo. Otra muestra de este intrusivo fue datada por Mújica y Albarrán (1983) en  $48 \pm 4$  Ma.

### Zacatecas

#### Hoja Zacatón (1:50,000)

ZC-1. Granito de la localidad Noria de Cerro de Santiago. Intrusiona a una secuencia vulcanosedimentaria (Fm. Chilitos) y está a su vez cortado por domos y diques riolíticos del Oligoceno. Mújica y Albarrán (1983) dataron una muestra del arroyo La Tesorera, localizado 7 km al Sur de ZC-1, por el método K/Ar en biotita, reportando una edad de  $74 \pm 6$  Ma. Este granito está formado principalmente

por cuarzo, feldespato, plagioclasa, biotita (parcialmente alterada a clorita) y anfíboles. Algunos cristales de feldespato presentan minerales arcillosos en sus superficies. Se separó biotita parcialmente cloritizada de la que se obtuvo una edad de  $77 \pm 3$  Ma. Se interpreta como la edad mínima del intrusivo.

## AGRADECIMIENTOS

Colaboraron en este estudio por parte del Consejo de Recursos Minerales: Miguel Aguilera Martínez, Eleuterio Aparicio Cordero, Eugenio Buenrostro Raygoza, José Luis Busto Díaz, Juan Antonio Caballero Martínez, Francisco Chávez Rangel, Diego Cruz López, Rodrigo Cruz Pérez, Teobaldo Fuentes, José Luis García Padilla, Antonio González Ramos, Rafael Juárez Jacobo, David Maraver Romero, José Martín del Campo, Heriberto Martínez, Amador Mérida Cruz, Emilio Reyes Ruelas, Joaquín Salazar Reyes, Raúl Soto Araiza, Miguel de la Teja Segura, Antonio Urriza Iturríos. Colaboraron en este estudio por parte de la UNAM: Rufino Lozano y Patricia Girón en la medición del K por fluorescencia de rayos X, Teresa Pi y Gerard Pairó en la separación de minerales, Caridad Hernández-Bernal en la medición del argón de algunas muestras, Aline Concha en asesoría para la elaboración de las figuras en un Sistema de Información Geográfica y Mario Ramos brindando apoyo en la elaboración de las figuras. A todos ellos se les agradece su colaboración.

## REFERENCIAS

- Aguillón-Robles, A., Aranda-Gómez, J., Solorio-Munguía, J., 1994, Geología y tectónica de un conjunto de domos riolíticos del Oligoceno medio en el sur del Estado de San Luis Potosí: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(1), 29-42.
- Aguirre-Díaz, G., 1996, Volcanic stratigraphy of the Amealco Caldera and vicinity, central Mexican volcanic belt: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(1), 10-51.
- Aguirre-Díaz, G., McDowell F.W., 1991, The volcanic section at Nazas, Durango, Mexico, and the possibility of widespread Eocene volcanism within the Sierra Madre Occidental: *Journal of Geophysical Research*, 96, 13373-13388.
- Barboza-Gudiño, J., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macias, P., 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(3), 299-319.
- Bartolini, C., Lang, H., Spell, T., 2003, Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Mesozoic Nazas arc in north-central Mexico, and its continuation to northern South America, *en* Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J., (eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics: American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 79, 427-461.
- Damon, P., Shafiqullah, M., Clark, K., 1981, Evolución de los arcos magmáticos de México y su relación con la metalogénesis: *Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología*, 5(2), 223-238.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999, Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt: *Geology*, 27, 303-306.
- Ferrari L., Pasquaré G., Venegas S., Romero F., 2000, Geology of the western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block: *Geological Society of America, Special Paper*, 334, 65-84.
- Ferrari, L., Valencia, M., Bryan, S., 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 343-378.
- Fuhrmann, U., Lippolt, H.J., Hess, J.C., 1987, Examination of some proposed K-Ar standards:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analyses and conventional K-Ar data: *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 66, 41-51.
- Gastil, R.G., Diamond, J., Knaack, Ch., Walawender, M., Marshall, M., Boyles, C., Chadwick, B., 1990, The problem of the magnetite-ilmenite boundary in southern Baja California, *en* Anderson, J.L. (ed.), *The Nature of Cordilleran Magmatism: Geological Society of America Memoir*, 174, 19-32.
- Hernández-Bernal, M.S., Morán-Zenteno, D.J., 1996, Origin of the Río Verde batholith, southern Mexico, as inferred from its geochemical characteristics: *International Geology Review*, 38, 361-373.
- Herrmann U.R., Nelson B.K., Ratschbacher L., 1994, The origin of a terrane: U/Pb zircon geochronology and tectonic evolution of the Xolapa complex (southern Mexico): *Tectonics*, 13, 455-474.
- Lang, B., Steinitz, G., Sawkins, F. J., Simmons, S. F., 1988, K-Ar Age studies in the Fresnillo Silver District, Zacatecas, Mexico: *Economic Geology*, 83, 1642-1646.
- McDowell F.W., Clabaugh S.E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: *Geological Society of America Special Paper*, 180, 113-124.
- McDowell F.W., Keizer R.P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlán, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1479-1487.
- Meza-Figueroa, D., Valencia-Moreno, M., Valencia, V.A., Ochoa-Landín, L., Pérez-Segura, E., Díaz-Salgado, C., 2003, Major and trace element geochemistry and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Laramide plutonic rocks associated with gold-bearing Fe skarn deposits in Guerrero state, southern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 205-217.
- Morán-Zenteno, D., Martiny, B., Tolson, G., Solís-Pichardo, G., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M., Macías-Romo, C., Martínez-Serrano, R., Schaaf, P., Silva-Romo, G., 2000, Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, 27-58.
- Morán-Zenteno, D., Tolson, G., Martínez-Serrano, R., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M.S., Solís Pichardo, G., 1999, Tertiary arc-magmatismo of the Sierra Madre del Sur, México, and its transition to the volcanic activity of Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 513-535.
- Mújica-Mondragón, R., Jacobo-Albarrán, J., 1983, Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas del Altiplano Mexicano: *Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección Técnica de Exploración, Proyecto C-1156, informe técnico (inédito)*.
- Nieto-Samaniego, A., Macías-Romo, C., Alaniz-Álvarez, S., 1996, Nuevas edades isotópicas de la cubierta volcánica cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(1), 117-122.
- Odin, G.S. y 35 coautores, 1982, Interlaboratory standards for dating purposes, *en* Odin, G.S. (ed.) *Numerical Dating in Stratigraphy: Chichester, Wiley*, 123-150.
- Ortega-Gutiérrez F., Mitre-Salazar L.M., Roldán-Quintana J., Aranda-Gómez J., Morán-Zenteno D., Alaniz-Álvarez S., Nieto-Samaniego A., 1992, Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Energía, Minas

- e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa con texto explicativo.
- Schaaf, P., Morán-Zenteno, D., Hernández-Bernal, M., Solís-Pichardo, G., Tolson, G., Köhler, H., 1995, Paleogene continental truncation in southwestern México: geochronological evidence: *Tectonics*, 14, 1339-1350.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Acapulco (E14-11), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1999, Carta geológico-minera Chacala (G13-C54), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Charcas (F14-A43), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Chilpancingo (14Q(k) 1), escala 1:100,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Comala (E13-B34), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1999, Carta geológico-minera Comedero (G13-C64), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1998, Carta geológico-minera Durango (G13-11), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera El Oro de Hidalgo (E14-A16), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera El Rosario (F12-B23), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera El Salto (F13-2), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Guadalajara (F13-12), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Manzanillo (E13-2-5), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Minatitlán (E15-7), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Salina Cruz (Juchitán) (E15-10), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Salinas de Hidalgo (14Q(a) 7), escala 1:100,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera San Juan de los Planes (F12-B14), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2004, Carta geológico-minera San Bernardino de Milpillas Chico (F13-A39), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Santiago Papasquiaro (G13-8), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Torreón (G13-9), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Zaachila (E14-12), escala 1:250,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2000, Carta geológico-minera Zacatón (F13-B59), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.
- Solé, J., Enrique, P., 2001, X-ray fluorescence analysis for the determination of potassium in small quantities of silicate minerals for K-Ar dating: *Analytica Chimica Acta*, 440, 199-205.
- Steiger, R.H., Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology: *Earth and Planetary Science Letters*, 36, 359-362.

Manuscrito recibido: Octubre 4, 2005

Manuscrito corregido recibido: Febrero 2, 2007

Manuscrito aceptado: Febrero 12, 2007