



## Caracterización geológica de los ensambles metamórficos de Taxco y Taxco el Viejo, Guerrero, México

María Fernanda Campa-Uranga<sup>1,\*</sup>, Rafael Torres de León<sup>2</sup>, Alexander Iriondo<sup>3</sup>,  
Wayne R. Premo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> C130-Geología, Universidad Autónoma de la Ciudad de México-Plantel Cuauhtépec, ciudad de México, 07160, México.

<sup>2</sup> CIID, Universidad Autónoma de la Ciudad de México-Plantel Cuauhtépec, ciudad de México, 07160, México.

<sup>3</sup> Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Juriquilla, Querétaro, 76230, México.

<sup>4</sup> United States Geological Survey, MS 963, Denver Federal Center, Denver, Colorado, 80225, EE.UU.

\* geoatea@hotmail.com

### Resumen

Trabajos como el presentado en este artículo, que incluyen estudios básicos de cartografía, microtectónica, petrografía, geoquímica y geocronología de rocas de arco, permitirán iniciar una revisión geológica individual y colectiva de los arcos volcánicos que afloran en gran parte del territorio de México. La combinación de este tipo de esfuerzos permitirá proponer modelos de evolución geológica más precisos y menos especulativos para este importante proceso de generación de corteza mediante la acreción de arcos volcánicos (p. ej. terreno Guerrero).

La geoquímica y petrología de las rocas metavolcanoclásticas (filitas), metalavas y metaignimbritas de Taxco y Taxco Viejo son muy similares y, en conjunto, permiten proponer un origen equivalente para su formación que, seguramente, está asociado a un ambiente de formación de tipo arco volcánico. En este estudio se describe por primera vez que la Roca Verde Taxco Viejo es, en realidad, una metaignimbrita. La deformación estudiada (macro- y microtectónica) de las rocas metavolcánicas de Taxco y Taxco Viejo es muy similar independientemente de la naturaleza del protolito. Estas rocas presentan planos de foliación muy bien desarrollados en conjunto que buzan tanto al E-NE como hacia el W-SW, lo cual sugiere la existencia de más de un evento de deformación regional.

En este estudio proponemos que las edades <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U obtenidas a partir del método SHRIMP-RG en cristales únicos de circón, para las muestras de Taxco ( $137.1 \pm 0.9$  Ma) y Taxco Viejo ( $135.6 \pm 1.4$  Ma), son más confiables que las obtenidas mediante la técnica convencional ID-TIMS (poblaciones multigrano), y representan las mejores estimaciones de la edad de cristalización para ambos protolitos volcánicos. Por último, destacamos que estas edades U-Pb resultan iguales, dentro de los límites de error asignados a cada muestra, por lo que sugerimos existe una conexión temporal entre el vulcanismo cretácico temprano presente en Taxco y en Taxco Viejo.

Esta edad cretácica temprana para los arcos volcánicos metamorfosados, que se discute a detalle en este trabajo, fue inicialmente presentada en una convención científica en 2004, y desde entonces significó terminar con la especulación clásica de posibles edades precámbrica y paleozoica para estas rocas conocidas formalmente como Esquisto Taxco y Roca Verde Taxco Viejo. Este avance sustancial del conocimiento permitió dar mayor certeza a la hipótesis de que estas rocas de arco son de edad cretácica y/o jurásica como lo sugerían las relaciones estratigráficas observadas en los ensambles vulcanosedimentarios con control fosilífero de lo que hoy se conoce como terreno Guerrero.

Esta edad cretácica de los arcos –acompañada de la hipótesis, cada vez más influyente, de la posible evolución geológica alóctona de estos arcos volcánicos, que propondría la posterior acreción de los mismos a una zona continental (p. ej. Oaxaquia) en el Cretácico Tardío– presenta una clara alternativa a las ideas fijistas/autóctonas clásicas que sugirieron un basamento antiguo para el terreno Guerrero que implicaría un origen continental para este arco volcánico hoy representado por las rocas de Taxco y Taxco Viejo.

Palabras clave: Taxco, Taxco Viejo, edades U-Pb cretácicas, vulcanismo félsico, terreno Guerrero.

### Abstract

*A combination of studies that include geological mapping, petrography, microtectonics, geochemistry and geochronology, like the one presented here, allows the understanding of individual volcanic arcs and their collective context throughout the Mexican territory. This understanding will allow the development of more precise, and therefore less speculative, geological models to explain crustal growth through volcanic arc accretion processes (e.g. Guerrero terrane) along the continental margin.*

*The petrology and geochemistry of metavolcaniclastic (phyllites), metalava and metaignimbrite units present in Taxco and Taxco Viejo are very similar, suggesting a common origin of formation in a volcanic arc environment. In fact, this is the first time that the Taxco Greenstone is defined as a metaignimbrite. Macro- and micro-tectonic studies of metavolcanic units in Taxco and Taxco Viejo indicate very similar deformation patterns, irrespective of the nature of the protolith. These rocks present well-developed foliation with E-NE and W-SW orientation that clearly suggests more than one deformational event in the region.*

*In this study we propose that the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages obtained by the SHRIMP-RG single-grain zircon technique are more reliable estimates of the time of crystallization of the Taxco ( $137.1 \pm 0.9$  Ma) and the Taxco Viejo ( $135.6 \pm 1.4$  Ma) metavolcanic protoliths than those obtained by the more conventional ID-TIMS (multi-grain) method. It is important to note that since both crystallization ages are the same, within analytical error, it is safe to propose a common igneous event linking the Early Cretaceous volcanism of Taxco and Taxco Viejo.*

*This Early Cretaceous age for the metamorphosed volcanic arcs, discussed in detail in this paper, was first proposed in 2004 during a scientific meeting, and since then the classic speculation that these rocks, known as the Taxco Schist and the Taxco Viejo Greenstone, were Precambrian and Paleozoic, respectively, was proven to be incorrect. This milestone in geological knowledge helps support a hypothesis that suggested a Cretaceous and/or Jurassic age for these volcanic units present in Taxco and Taxco based on stratigraphic and paleontological constraints of volcano-sedimentary units in the Guerrero terrane.*

*The proposed Cretaceous age for the volcanic arc rocks –combined with the influential hypothesis that suggests an allochthonous geological character for these volcanic arcs that later collided against the continental margin (e.g., Oaxaquia) during the Late Cretaceous– represents a strong alternative to the autochthonous origin that suggests an old, perhaps Precambrian, basement for the Guerrero terrane in the Taxco and Taxco Viejo areas, implying a continental volcanic arc environment for these volcanic rocks.*

*Keywords: Taxco, Taxco Viejo, Cretaceous U-Pb ages, felsic volcanics, Guerrero terrane.*

## 1. Introducción

La problemática geológica que motivó este estudio tiene que ver con una revisión de análisis diversos, a partir de los cuales se caracterice la geología de cada uno y globalmente a los numerosos arcos mesozoicos que se conocen a lo largo del territorio mexicano, desde Baja California hasta Chiapas, reunidos en el terreno compuesto Guerrero (Campa y Coney, 1983).

Taxco es una pequeña ciudad del sur de México, localizada en la parte norte del estado de Guerrero, muy conocida por sus artesanías de plata. Se fundó y creció en torno de una gran veta mineralizada en uso desde la época prehispánica, hace más de 500 años. Las casas y sus callejones empedrados se descuelgan de los acantilados de la sierra hacia las barrancas profundas del sinclinorio de Taxco formado por turbiditas plegadas con abundantes fósiles del Cretácico Tardío (Fries, 1960), donde aflora un bloque de rocas foliadas constituido por depósitos volcánicos, terrígenos y calizas, deformados por un metamorfismo de bajo grado (Figura 1).

Taxco Viejo es otro pueblo situado en el sinclinorio hacia Iguala, a la vera del río Taxco, donde también aflora otro bloque exótico constituido por un ensamble volcánico-

sedimentario metamórfico de bajo grado, que cabalga sobre el flanco oriental del anticlinorio de Coxcatlán; esto es, sobre bancos y capas de caliza del Cretácico medio con dos deformaciones superpuestas de la plataforma Guerrero-Morelos (Fries, 1960).

La bibliografía relativa a la geología de Taxco y Taxco Viejo es relativamente escasa y desigual, aunque abundante en notas e informes mineros, que da cuenta de una reflexión científica de larga duración realizada durante más de 25 años en la Universidad Autónoma de Guerrero hasta hoy. En este artículo, sin embargo, nos hemos propuesto avanzar en la caracterización geológica, que no solamente petrológica (esto es, petrográfica y geoquímica), aunada a la geocronológica de las rocas metamórficas que forman las denominadas formaciones Esquisto Taxco y Roca Verde Taxco Viejo (Fries, 1960).

Las edades cretácicas obtenidas en circones con geocronología U-Pb, dadas a conocer en un resumen publicado anteriormente (Campa-Uranga e Iriondo, 2004), vinieron a reforzar la hipótesis de que estos ensamblajes metavolcánicos sustentan las plataformas de depósito de calizas, como partes de un archipiélago cretácico acrecionado que forma el terreno Guerrero conceptualizado por Campa y Coney (1983), y descartan las edades

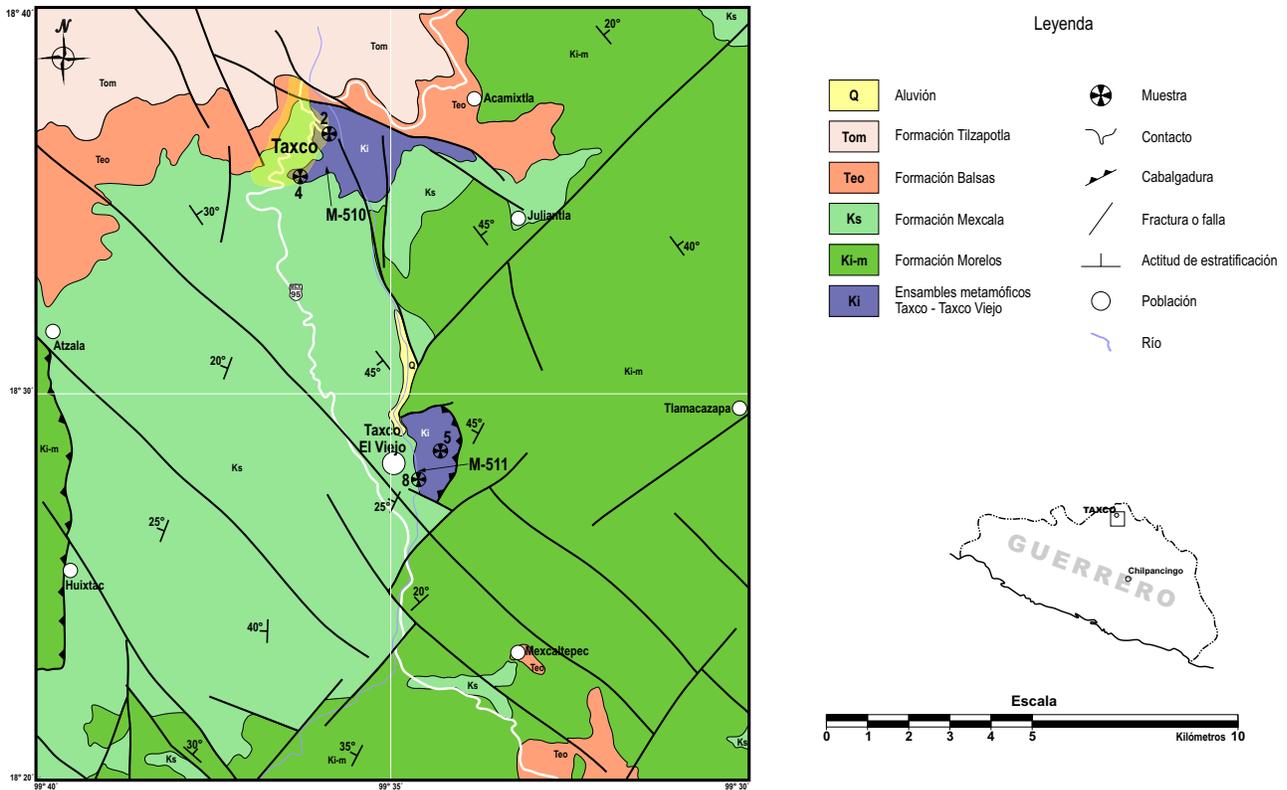


Figura 1. Mapa geológico de localización de los ensambles metamórficos Taxco y Taxco Viejo, Guerrero, México.

precámbrica, paleozoica y triásica propuestas para los Esquistos Taxco y la Roca Verde Taxco Viejo (de Cserna *et al.*, 1974; Fries, 1960). Otras publicaciones más recientes no aportan ningún dato duro acerca de las edades, sino que continúan en la misma línea de hipótesis por comprobar, igual que los clásicos fundadores antes mencionados.

La caracterización de ensambles complejos asociados a depósitos volcánicos está limitada a artículos publicados en revistas especializadas con una mirada parcial de los procesos geológicos, pues hasta hoy, se analizan con la visión de la geoquímica y sus modelos, o la geocronología y sus modelos, o las estructuras y sus modelos, o la paleontología-sedimentología y sus modelos. Este artículo tiene el propósito de sintetizar el conjunto de análisis que pudieran caracterizar un arco y, con ello, aportar un método globalizador, con el fin de aplicarlo en la revisión de los cientos de arcos antiguos y actuales que forman parte del territorio de México y que son motivo de exploración activa, por su riqueza mineral.

De ahí que en este escrito se describan la petrografía y la microtectónica que caracterizan a las rocas metamórficas de Taxco y Taxco Viejo, su geoquímica, las edades U-Pb de rocas metavolcánicas de ambos ensambles y, finalmente, se discutan los resultados e interpretaciones deducidas de los datos analíticos y las observaciones de campo.

## 2. Petrografía y microtectónica

Los afloramientos de Taxco y Taxco Viejo están formados por un conjunto de rocas finamente foliadas y plegadas, descritos como esquistos, mismas que al ser observadas con detenimiento, así como el metamorfismo de bajo grado y deformación en dos fases que las distinguen, permiten reconocer los depósitos originales compuestos por rocas volcánicas lávicas e ignimbríticas y depósitos de rocas sedimentarias interestratificados, modelo sedimentológico éste, típico de arco volcánico insular y/o de *rift*.

Las descripciones de las rocas se presentan, dada su distribución geográfica, en las dos localidades separadas de Taxco y Taxco Viejo.

### 2.1. Taxco

El ensamble metamórfico que aflora en la ciudad de Taxco se extiende unos 3 km más allá de Tehuilotepic, al sur de la falla del Muerto (Figura 1). Los denominados formalmente Esquistos Taxco (Fries, 1960) son en realidad filitas con variaciones en su fábrica, pero se pueden describir en campo como rocas de color gris verdoso que intemperizan a color crema, amarillo ocre y café rojizo, en cuyas superficies se ve un lustre micáceo, hematita y calcita. Afloran debajo de las calizas de la Formación Morelos, así como también subyacen a las turbiditas de la Formación

Mezcala y los flujos continentales de ignimbritas terciarias (Figura 2a). El ensamble consiste de depósitos de rocas metasedimentarias y metavolcánicas, con una foliación fina plegada, abundantes vetas de cuarzo policristalino y fracturas en red.

Al microscopio, se observa una fábrica dominal representada por foliación espaciada o esquistosidad

disyuntiva (Figura 3a), caracterizada por la típica intercalación de dominios micáceos (dominios de clivaje) y dominios cuarzo-feldespáticos (microlitones).

Los dominios de clivaje son regulares, uniformes y paralelos, presentan flexión en torno a los porfiroclastos. Son formados por sericita y clorita y en algunos planos están fuertemente oxidados a hematita. La clorita se

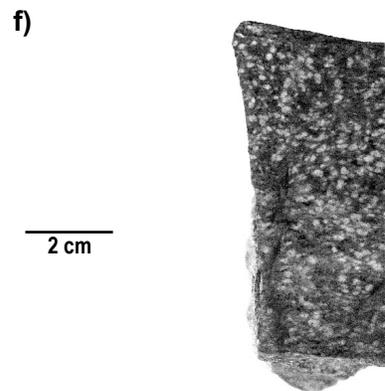
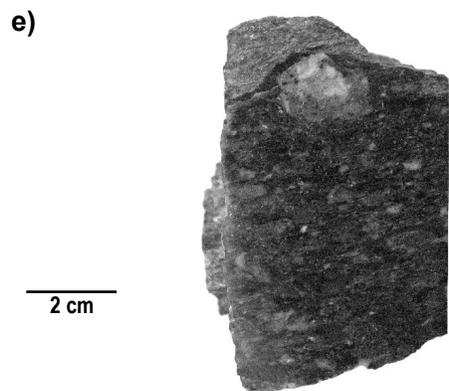
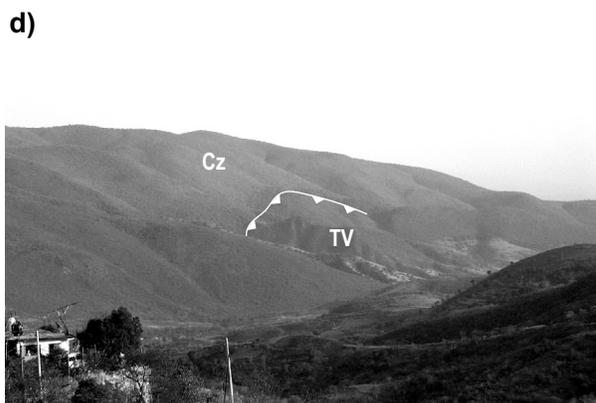
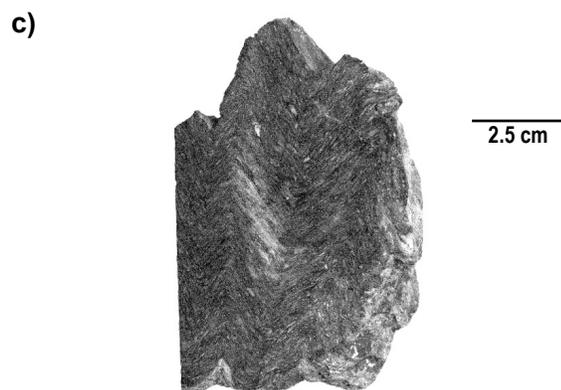
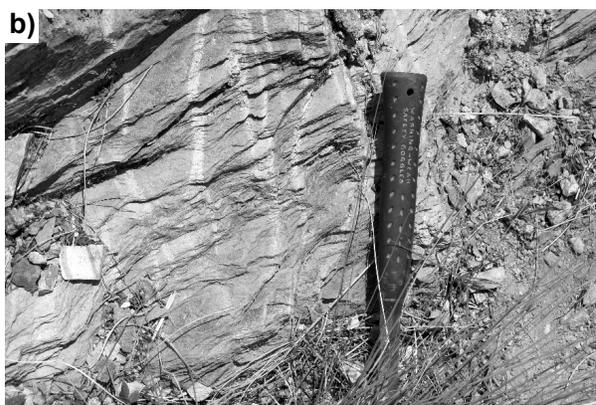
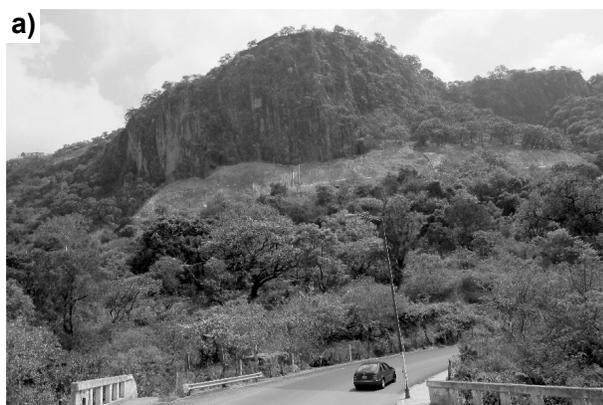


Figura 2. a) Domo riolítico Monte Taxco sobre capas rojas de la Formación Balsas al norte de la traza de la Falla del Muerto, en el puente, al sur el ensamble metamórfico Taxco. b) Afloramiento de filitas micáceas que muestran los planos de foliación plegados tipo *kink*. c) Pliegues tipo *kink* en filitas. d) Sinclinorio visto desde Taxco hacia Taxco Viejo, mostrando el ensamble metamórfico Taxco Viejo (TV) sobre calizas de la Formación Morelos (Cz) que forman el anticlinorio Coxcatlán. e) Fábrica de fragmentos de cuarzo y líticos de brecha de flujo ignimbrítico del ensamble Taxco Viejo. f) Porfiroclastos de plagioclasas en metalava dacítica del ensamble Taxco Viejo.

encuentra en hojuelas de tamaño muy fino y la sericita se encuentra también en cristales de tamaño muy fino ( $< 0.05$  mm) con forma acicular. Estos dominios llegan a ocupar una alta proporción de la roca, hasta el 90 % (Figura 3b). Los microlitones se pueden describir en términos de dos

variantes, como grandes granos relictos –porfiroclastos– y como una matriz de grano fino.

Los microlitones se observan principalmente como porfiroclastos de cuarzo, feldespatos, piroxenos y líticos. Los granos de cuarzo tienen forma angulosa a subredondeada,

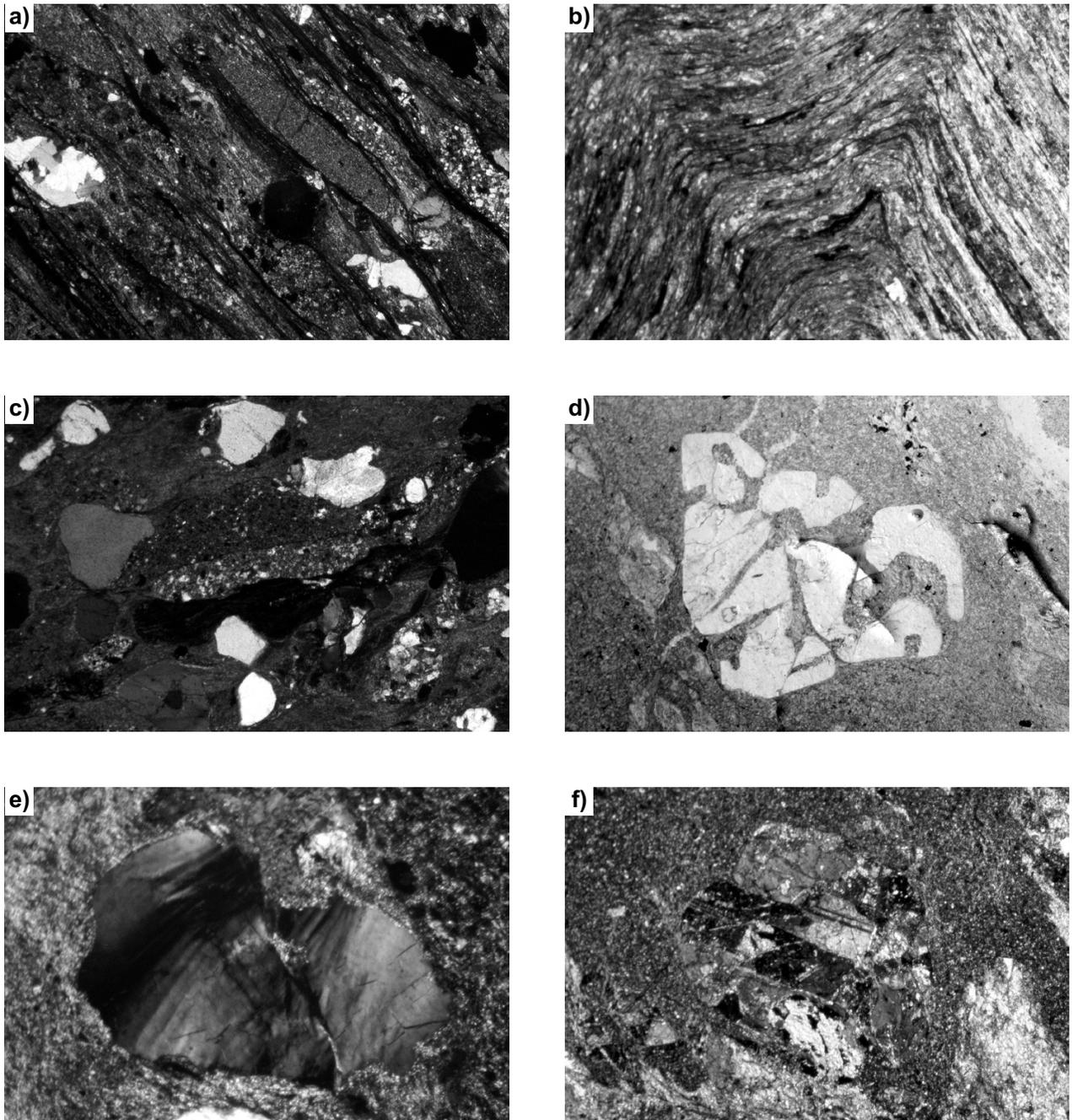


Figura 3. Fotomicrografías de: a) fábrica de filita volcániclastica formada por fragmentos de cuarzo, feldespatos y líticos, donde sobresalen dos fragmentos de cuarzo con extinción ondulosa y un lítico volcánico alargado entre los dominios de clivaje. Luz polarizada, ancho de vista 4.5 mm; b) Micropliegue conjugado en filita cuyo núcleo es simétrico y se bifurca en dos pliegues angulosos conservando espesor de los dominios de clivaje. Luz polarizada, ancho de vista 4.5 mm; c) Fábrica de metaigneimbrita formada por porfiroclastos de cuarzo, feldespatos y líticos volcánicos en una matriz de grano muy fino recrystalizada. Luz polarizada, ancho de vista 4.5 mm; d) Porfiroclasto de cuarzo engolfado en una matriz de grano muy fino recrystalizada. Luz natural, ancho de vista 4.5 mm; e) Porfiroclasto de cuarzo con fracturas y estructuras de deformación intracristalina como subgranos alargados y extinción ondulosa inmerso en una matriz de cuarzo recrystalizado. Luz polarizada, ancho de vista 1 mm; f) Porfiroclasto deformado de plagioclasa con relictos de maclado. Luz polarizada, ancho de vista 2.5 mm

con tamaño de 0.25 a 1 mm aproximadamente, con extinción ondulosa y recta y bordes lobados. Los feldespatos, ortoclasa y plagioclasa macladas, tienen tamaño similar hasta de 1 mm, son anedrales con forma angulosa a subredondeada, están alterados a calcita, sericita y hematita. Los líticos son los más abundantes, su tamaño varía de 1 a 5 mm, son de forma ovalada y elipsoidal, muchos de ellos tienen simetría monoclinica y están orientados en el sentido de la foliación. Están constituidos por un mosaico de cuarzo interlobado. En el corte del libramiento debajo de la Plaza Las Américas, las filitas contienen cristales de piroxeno (¿hiperstenas?), con tamaño de 0.5 mm o menos, envueltos en los dominios de clivaje.

La parte de los microlitones que se ve como una matriz de grano fino puede ser interpretada como mesostasis relicta cuarzofeldespática, con alteraciones a sericita con calcita y clorita.

Adicionalmente, se observan algunos cristales de piritita inmersos en los planos de foliación y fracturas rellenas de calcita con tamaño de 1 a 2 mm. También se ven cristales de sericita sobrepuestos en diagonal al mosaico de grano muy fino y a los dominios de clivaje, por lo cual pudieran ser más jóvenes, como la moscovita fechada en el metamórfico del sur de la plataforma Guerrero-Morelos, conocido como formación Chapolapa y Esquistos Izcuinatoyac (Campa-Uranga e Iriando, 2004).

El rasgo relevante de esta roca, que aflora en los cortes de carretera y del libramiento de Taxco, es su foliación plegada en pliegues tipo *kink* y chevrón inclinados al SE (Figuras 2b y 2c). Además, se observan abundantes vetillas, algunas rellenas de cuarzo, otras rellenas de óxidos de hierro y hay extensas zonas con alteración hidrotermal. También se observan, tanto en afloramientos como en los tiros de la mina, abundantes diques negros máficos, otros grises andesíticos y otros claros félsicos, que no fueron estudiados.

Las rocas presentan planos de foliación muy bien desarrollados sin importar la naturaleza del protolito. Los planos de foliación buzan tanto al E-NE como hacia el W-SW, lo cual sugiere eventos de deformación compleja. Los planos de foliación plegados forman una lineación de intersección muy bien desarrollada de dirección general E-W y un sentido de cizalla de cima hacia el E (Salinas-Prieto, 1994, 2007).

La conclusión del análisis petrográfico y microtectónico del ensamble metamórfico de Taxco se interpreta como un conjunto formado por depósitos metavolcanoclásticos y metalavas, plegados con típicos minipliegues *kink* y pliegues amplios recostados hacia el NE.

## 2.2. Taxco Viejo

En la localidad del pueblo de Taxco el Viejo, el ensamble metamórfico Roca Verde Taxco Viejo está constituido principalmente por flujos de ignimbrita y lavas metamorfizadas de bajo grado, caracterizadas por una foliación con planos irregulares anastomosados que bordean

a los abundantes porfiroclastos de líticos verdes, morados y blancos de cuarzo, hasta de varios centímetros.

A lo largo del contacto occidental del bloque del ensamble metamórfico se observa claramente una discordancia angular de las turbiditas muy plegadas de la Formación Mezcala del Cretácico Tardío, y lentes de caliza recristalizada, sobre las rocas metavolcánicas del cretácico temprano (Campa, 1975). Las calizas también están plegadas y muestran al microscopio un mosaico de cristales anhedrales maclados de tamaño muy fino, inferior a 0.1 mm, orientados formando una fina foliación inclinada hacia el W. Las calizas tienen lentes formados por cristales de calcita y hematita orientados paralelamente a la foliación, con tamaño variable de aproximadamente 1 a 5 mm. También hay vetillas plegadas rellenas de un mosaico de calcita, acomodadas a lo largo de los planos de foliación dominante plegada.

El ensamble de rocas metamórficas que aflora en las inmediaciones del río Taxco y la barranca Honda hacia la sierra de Coxcatlán (Figura 2d) expone un flujo ignimbítico y metalavas foliadas que descansan tectónicamente discordantes sobre calizas plegadas de la Formación Morelos (Campa, 1976). En los afloramientos del límite sur-sureste del ensamble metamórfico se observan filitas consolidadas de color gris que intemperizan a caolín color crema, finamente foliadas y que presentan minipliegues tipo *kink band*, similares a los presentes en Taxco.

Se observan variaciones en los diversos flujos de metaignimbritas compactas de color morado con tonalidades verdosas, constituidas por fragmentos de tamaño variable, desde 2 a 3 mm hasta fragmentos de 5 cm, aunque la media se halla en torno a 1 y 2 cm (Figura 2e). Los fragmentos son de roca volcánica y cuarzo policristalino, además de que se observan algunos minerales verdes diseminados que son de clorita y epidota. La forma predominante de los clastos es lenticular subangulosa. Todos estos fragmentos están orientados en el sentido de la foliación inclinada hacia el SW. Esta roca está intercalada con capas de metaarenisca, por lo cual pudiera ser un depósito de canal de un río cretácico.

Al microscopio, se observa una roca con fábrica porfídica relicta consistente de porfiroclastos de cuarzo, feldespatos y líticos inmersos en una matriz de grano muy fino, silicificada y alterada, constituida por un mosaico de cuarzo y sericita. El tamaño de los granos varía de 1 a 5 mm, predominando los de 2 a 3 mm. En general, su forma es de angulosa a subredondeada. (Figura 3c). El cuarzo muestra variaciones en su deformación, hay cristales con extinción recta, algunos presentan golfos (Figura 3d), en la mayoría se observan microestructuras como extinción ondulosa, láminas de deformación (Figura 3e) y unos pocos tienen los bordes recristalizados. También se ve variedad en los tipos de líticos, unos están formados por un mosaico de cuarzo de grano grueso y bordes suturados, otros consisten en un mosaico de cuarzo de grano fino, otros tienen una textura afanítica y están sericitizados. Hay fragmentos alargados, elipsoidales y unos pocos tienen simetría monoclinica.

La unidad de metatobas aflora extensamente en la parte nor-noroeste del conjunto metamórfico de Taxco Viejo. Es un ensamble de rocas de color verde que intemperiza a caolín color crema con tonalidades verdosas, y se observa intensamente foliado. Además, se encuentran variaciones típicas de los diversos niveles de un flujo de ignimbrita, tales como: breccias; metatoba lítica compuesta por fragmentos de roca volcánica con un tamaño de 2 mm hasta de poco más de 10 mm; también se observan algunos fragmentos de cuarzo de aproximadamente 2 mm y óxidos diseminados, soportados por una mesostasis de ceniza muy fina que presenta textura piroclástica relictas. Otro tipo de metatoba es una roca color verde que intemperiza a verde claro, intensamente foliada y constituida por cristales anhedrales y subhedrales de feldespato envueltos en una mesostasis afanítica.

Los depósitos de metalava afloran en el lecho del río Taxco a la vera del poblado Taxco el Viejo. Se trata de una roca porfídica compacta color verde oscuro con fenocristales blancos, que intemperiza a color café, está foliada y en algunas partes la foliación está plegada. Al microscopio petrográfico se confirma la fábrica porfídica relictas formada por porfiroclastos subhedrales a anhedrales de plagioclasa cuyo longitud varía de 1 a 10 mm pero con media de 3 a 4 mm inmersas en una matriz verde de grano muy fino cloritizada (Figura 2f).

En otra sección delgada se observa una roca con fábrica porfídica relictas compuesta por porfiroclastos de plagioclasa y escasos de cuarzo dentro de una matriz de grano muy fino recrystalizada. La plagioclasa es subhedral a anhedral y está reemplazada por calcita y sericita, pero en algunos cristales se observa maclado tipo Carlsbad y de albita (Figura 3f). Hay fracturas rellenas de calcita.

En uno de los varios meandros del río Taxco, cercano a la barranca Honda, se observa una discordancia subhorizontal de las turbiditas de la Formación Mezcala muy plegadas sobre una caliza recrystalizada de unos metros de espesor descansando sobre el ensamble metamórfico. Esta discordancia puede ser interpretada como una fase de deformación del Cretácico medio observada en otras localidades pero aún no investigada.

Al fondo de la barranca Honda, el ensamble metamórfico volcánico félsico de Taxco Viejo, antes descrito, se encuentra cabalgando a calizas de la Formación Morelos también foliadas y plegadas, a través de un contacto tectónico en falla inversa subhorizontal inclinada al SW.

### 3. Geoquímica de rocas metavolcánicas

Se seleccionaron cuatro muestras para análisis geoquímico de elementos mayores, traza y tierras raras; dos de Taxco (2 y 4) y dos de Taxco Viejo (5 y 8). Las concentraciones elementales están listadas en la Tabla 1. Los análisis se realizaron en el laboratorio comercial ACTlabs utilizando los métodos XRF para elementos mayores e ICP-

MS para los elementos traza y tierras raras (REE).

Los diagramas para clasificación e identificación tectónica de rocas a partir de geoquímica usados en este artículo fueron creados para rocas recientes y sin metamorfismo, por lo que han de utilizarse con precaución cuando se trata de rocas de bajo metamorfismo como las de Taxco y Taxco Viejo. Por otro lado, las interpretaciones clásicas derivadas de estos diagramas, hoy en día son cuestionadas por muchos autores (p. ej. Campbell y O'Neill, 2012). A pesar de que se analizaron pocas muestras, éstas son representativas de las diferentes unidades litológicas de cada ensamble y sus características geoquímicas son coherentes con las observaciones de campo y petrográficas.

Los valores de pérdida por calcinación (LOI) varían de 1.96 % a 4.49 % en peso, siendo la muestra #5 de la metaignimbrita de Taxco Viejo la más baja y la muestra #4, una filita volcániclaística de Taxco, la más alta (Tabla 1). Estos valores altos señalan una concentración moderada de volátiles, por lo que existe la posibilidad de que la química de estas rocas esté modificada, ya sea por el proceso metamórfico de bajo grado o por algún otro proceso de baja temperatura, como el hidrotermalismo del área, pues no hay que olvidar la mineralización de sulfuros y óxidos de ambos ensambles. Sin embargo, decidimos dar estos datos anómalos que pudieran tener un significado en la evolución y acumulación de deformaciones, más que un error, que simplemente nos conduce a desechar el dato, sobre todo hoy en día que se están revisando las evidencias de isótopos de silice contra la Condrita-Enstatita de la Tierra (Fitoussi y Bourdon, 2012). Esto es relevante debido a que algunos elementos móviles se emplean en la interpretación petrogenética.

#### 3.1. Elementos mayores

Las rocas metavolcánicas de Taxco y Taxco Viejo analizadas tienen una concentración de SiO<sub>2</sub> alta a muy alta con un rango amplio de 67.03 % a 79.46 % en peso (Figuras 4a, 4b y 4c). El contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es de bajo a moderado, de 9.32 % a 15.38 % en peso, en correlación negativa con el SiO<sub>2</sub> (Figura 4d). El contenido de álcalis es muy bajo a moderado con valores de Na<sub>2</sub>O de 0.02 % a 2.72 % en peso, de K<sub>2</sub>O de 1.72 % a 3.52 % en peso y de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O de 3.54 % a 5.32 % en peso. El contenido de CaO varía de bajo a moderado, de 0.12 % a 2.08 % en peso y muestra un comportamiento contrastante ya que en dos muestras (2 y 5) es muy bajo, pero en las otras dos (4 y 8) es alto (Figura 4e). Los valores de MgO (0.44 % a 1.36 % en peso), de MnO (0.01 % a 0.11 % en peso), de TiO<sub>2</sub> (0.31 % a 0.64 % en peso) y de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.03 % a 0.23 % en peso) todos son bajos.

En el diagrama de clasificación de las rocas volcánicas de silice contra álcalis totales (Le Bas *et al.*, 1986), estas rocas se ubican en el campo de las dacitas (4 y 8) y de las riolitas (2 y 5) de la serie magmática subalcalina (Irvine y Baragar, 1971) (Figura 4a) y dentro de las series

Tabla 1. Concentraciones de elementos mayores, traza y tierras raras de rocas metavolcánicas de Taxco (2 y 4) y Taxco el Viejo (5 y 8).

<b>Muestra</b>	<b>Muestra-2</b> Filita volcániclastica 18° 32' 50.7" N 99° 36' 23.7" W	<b>Muestra-4</b> Filita volcániclastica 18° 33' 23.1" N 99° 35' 49.8" W	<b>Muestra-5</b> Metaignimbrita 18° 29' 17.4" N 99° 34' 22.8" W	<b>Muestra-8</b> Metalava 18° 28' 54.0" N 99° 34' 40.5" W
<b>Elementos mayores</b>				
SiO <sub>2</sub>	74.04	70.55	79.46	67.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.53	12.93	9.32	15.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	5.2	5.42	4.17	4.84
MnO	0.03	0.11	0.01	0.07
MgO	0.44	1.09	0.55	1.36
CaO	0.12	2.08	0.25	1.85
Na <sub>2</sub> O	2.43	0.46	0.02	2.72
K <sub>2</sub> O	1.72	3.2	3.52	2.6
TiO <sub>2</sub>	0.64	0.31	0.44	0.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.03	0.23	0.12
LOI	3.38	4.49	1.96	4.04
<b>Total</b>	<b>100.6</b>	<b>100.7</b>	<b>99.92</b>	<b>100.5</b>
<b>Elementos traza</b>				
Sc	17	18	9	11
V	87	28	57	43
Cr	100	40	110	50
Co	6	2	3	5
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	10	10	< 10	< 10
Zn	40	90	< 30	90
Cs	7.3	9.9	24.9	10.4
Rb	60	127	127	96
Ba	454	541	679	477
Sr	46	33	17	92
Zr	164	292	197	252
Hf	3.9	6.7	4.6	5.8
Nb	9.4	9.6	9.9	7.4
Ta	0.63	0.67	0.72	0.59
Th	6.52	7.52	7.92	8.92
U	2.35	2.92	2.67	2.51
Pb	24	< 5	< 5	9
<b>Tierras raras (REE)</b>				
La	24.4	26.6	32.6	30.8
Ce	51.0	57.3	66.3	61.7
Pr	5.69	6.66	7.65	7.11
Nd	22.5	27.9	32.3	28.2
Sm	4.72	6.66	7.11	5.92
Eu	0.684	0.876	0.717	1.060
Gd	4.56	6.90	7.14	5.64
Tb	0.75	1.15	1.14	0.95
Dy	4.43	6.80	6.44	5.78
Ho	0.91	1.40	1.32	1.16
Er	2.67	4.14	3.88	3.43
Tm	0.419	0.623	0.586	0.521
Yb	2.9	4.2	3.8	3.4
Lu	0.484	0.675	0.618	0.577
Y	25.4	38.7	40.8	31.5

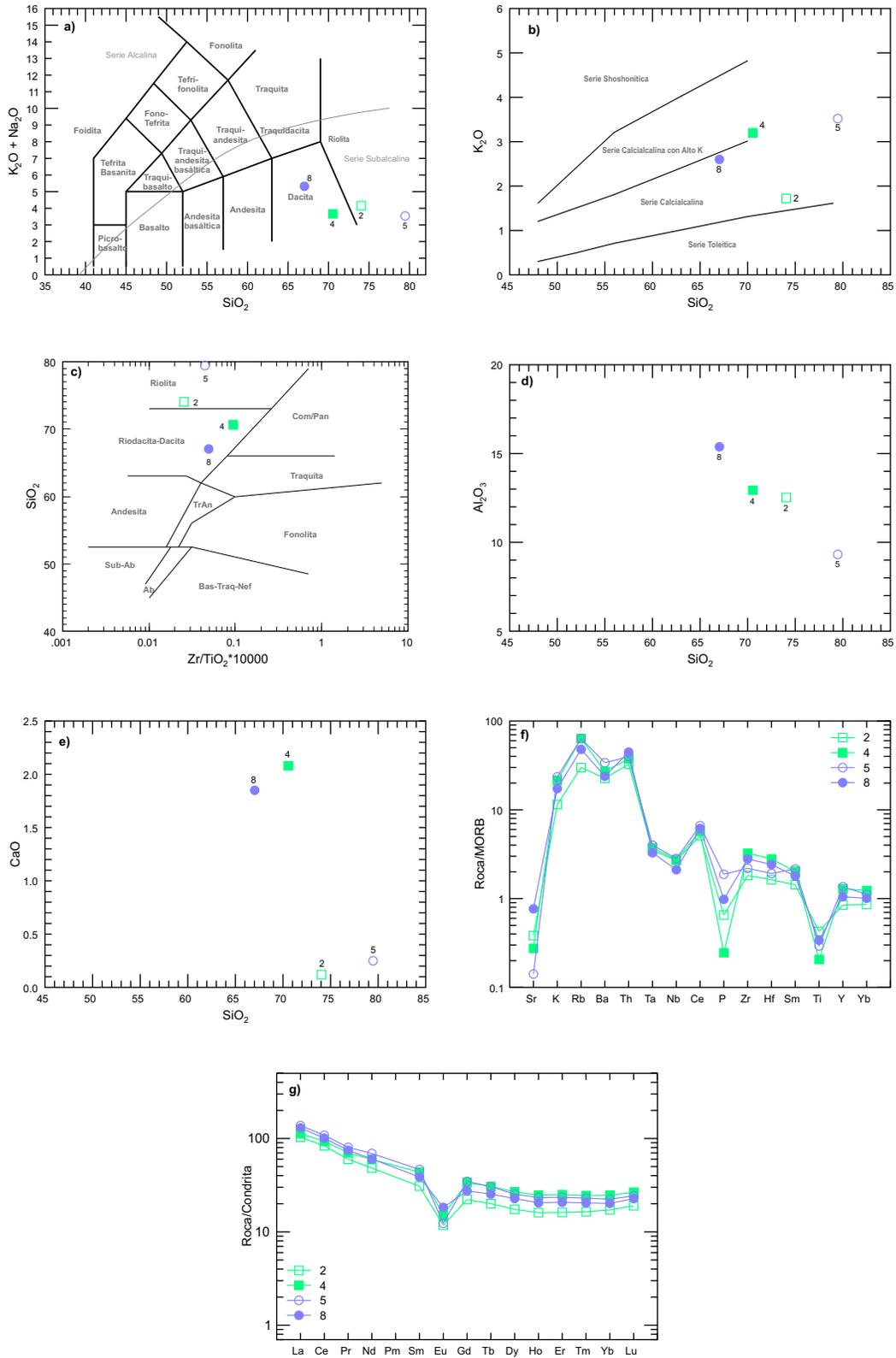


Figura 4. Caracteres geoquímicos de las rocas metamórficas de los ensambles de Taxco y Taxco Viejo. Los números en el interior de los diagramas refieren al nombre de las muestras. a) Diagrama de clasificación de las rocas volcánicas de sílice contra álcalis totales con las divisiones de Le Bas *et al.* (1986) al que se le agregó la división de las series alcalina y subalcalina de acuerdo con Irvine y Baragar (1971). b) Diagrama de clasificación de la serie subalcalina de Peccerillo y Taylor (1976). c) Diagrama de  $Zr/TiO_2$  contra sílice para las rocas volcánicas antiguas de Winchester y Floyd (1977). d) Diagrama de variación tipo Harker con  $SiO_2$  vs.  $Al_2O_3$ , e) Diagrama de variación tipo Harker con  $SiO_2$  vs. CaO. f) Diagrama de elementos traza normalizado con MORB con los valores y orden de los elementos propuestos por Pearce (1983). g) Diagrama de tierras raras normalizado a condrita con los valores de normalización de Sun y McDonough (1989).

calcialcalina y calcialcalina con alto K de acuerdo con su contenido de  $K_2O$  en el esquema de Peccerrillo y Taylor (1976) (Figura 4b).

Debido a la conocida movilidad de los álcalis y a que nuestras muestras tienen un metamorfismo de bajo grado, complementamos la clasificación anterior de estas rocas con la propuesta de clasificación de las rocas volcánicas antiguas de Winchester y Floyd (1977), que está basada en elementos inmóviles. De entre los diagramas sugeridos se seleccionó el de  $SiO_2$  contra  $Zr/(TiO_2 \cdot 10000)$  en la que las muestras se ubican en los campos de riodacita-dacita (4 y 8) y riolita (2 y 5) (Figura 4c); así se corrobora la determinación hecha con los álcalis.

Estos rasgos químicos de elementos mayores son consistentes con las observaciones petrográficas y de campo, que muestran el carácter félsico de los depósitos volcánicos de ambos ensambles.

### 3.2. Elementos traza

Estas rocas están enriquecidas en elementos incompatibles de bajo potencial iónico como Ba (454 ppm a 679 ppm) y Rb (60 ppm a 127 ppm) pero tienen un marcado empobrecimiento en Sr (17 ppm a 92 ppm). También presentan contenidos elevados de los elementos incompatibles de alto potencial iónico como el Zr (164 ppm a 292 ppm), Hf (3.9 ppm a 6.7 ppm), Nb (7.4 ppm a 9.9 ppm), Ta (0.59 ppm a 0.72 ppm), Th (6.52 ppm a 8.92 ppm) y U (2.35 ppm a 2.92 ppm). Los metales de transición (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn) están empobrecidos. Estos enriquecimientos y/o empobrecimientos son en referencia a los valores promedio de la serie calcialcalina citados en la literatura (Jakeš y White, 1972; Baker, 1982; Pearce, 1982).

El diagrama de multielementos de estas rocas metavolcánicas está normalizado a MORB con los valores y orden de los elementos de Pearce (1983) (Figura 4f). En el gráfico se pueden observar patrones de distribución inclinados con enriquecimiento de los elementos K, Rb, Ba y Th, marcadas anomalías negativas de Sr, P y Ti, anomalías negativas menos pronunciadas en Ta y Nb y una anomalía ligeramente positiva de Ce.

### 3.3. Tierras raras (REE)

El diagrama de tierras raras para estas rocas está normalizado a condrita con los valores de Sun y McDonough (1989) (Figura 4g). En este gráfico se observan en todas las muestras patrones de distribución con altas concentraciones de tierras raras ( $\Sigma REE$  entre 126 y 171), enriquecimiento de las tierras raras ligeras (La-Sm) con relación a las tierras raras pesadas (Gd-Lu) expresado en una relación  $(La/Yb)_N$  de 4.54 a 6.44, una marcada anomalía de Eu con  $Eu/Eu^*$  de 0.31 a 0.56 y un patrón semiplano en las tierras raras pesadas con  $(Gd/Lu)_N$  de 1.16 a 1.43.

Díaz-Jerónimo (2010) analizó seis muestras de los ensambles Taxco y Taxco Viejo, la diferencia más

importante entre sus resultados y los aquí presentados, es que ese autor reporta rocas de composición máfica a intermedia con valores de  $SiO_2$  de 46.9 a 63.5% en peso.

Las características químicas descritas de las rocas metavolcánicas presentan una marcada afinidad con la serie calcialcalina de arco, que se observa en los patrones de distribución en los diagramas de multielementos y tierras raras que muestran enriquecimiento en los elementos de bajo potencial iónico y las tierras raras ligeras y anomalías negativas de Nb, Ta, Ti y Eu.

## 4. Geocronología U-Pb en circones (Técnicas ID-TIMS y SHRIMP-RG)

La edad de las rocas metavolcánicas que forman los ensambles Taxco y Taxco Viejo se obtuvo de muestras de cada localidad (Figura 1), de las que se extrajeron circones para su análisis por el método U-Pb.

Los separados de los circones (poblaciones y cristales individuales) de las rocas metavolcánicas fueron obtenidos empleando los métodos convencionales de separación mineral. Las muestras pesaron aproximadamente 5 kg, fueron quebradas, pulverizadas y luego tamizadas. La fracción igual o menor a 250  $\mu m$  fue lavada y procesada magnéticamente a fin de obtener la fracción no magnética; esta fracción fue pasada a través del líquido pesado yoduro de metileno ( $MeI = 3.33$ ) para concentrar el circón, que siempre corresponde a la fracción más pesada. Después de un breve lavado con acetona, las fracciones de circón a ser analizadas por geocronología U-Pb (ID-TIMS y SHRIMP-RG), fueron seleccionadas a mano a partir del concentrado de pesados.

Los estudios de espectrometría de masas con ionización térmica y dilución isotópica (*isotope dilution thermal ionization mass spectrometry*, ID-TIMS) se realizaron en los laboratorios isotópicos del United States Geological Survey de Denver, Colorado, utilizando un espectrómetro de masas de ionización térmica marca y modelo VG Isomass 54R. Este sistema está totalmente automatizado y dispone de un sólo colector para realizar las medidas isotópicas. Tanto los detalles de la técnica de separación elemental por dilución isotópica (ID), como los aspectos de análisis y reducción de datos, están presentados en detalle en Iriondo et al. (2004). Las edades U-Pb se calcularon utilizando las constantes de decaimiento de Steiger y Jäger (1977) y los algoritmos de Ludwig (1980, 2001a) que usan el método de regresión de York (1969). Los datos de U-Th-Pb generados por la técnica ID-TIMS se presentan en la Tabla 2.

Los estudios de U-Pb a partir de la técnica de microsonda iónica sensible de alta resolución con geometría inversa (*sensitive high-resolution ion microprobe-reverse geometry*, SHRIMP-RG) se realizaron en la Universidad de Stanford, California, donde el instrumento se encuentra en copropiedad con el United States Geological Survey. Los procedimientos analíticos de esta instrumentación están presentados a detalle en Williams (1998) y Nourse et al. (2005). Los circones

Tabla 2. Datos analíticos U-Th-Pb por método ID-TIMS de circones de rocas metavolcánicas de Taxco y Taxco el Viejo, Guerrero, México.

Fración analizada	Detalles específicos de las poblaciones de circones	Peso de muestra (mg)	U (ppm)	Th (ppm)	Pb (ppm)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb <sup>a</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb <sup>b</sup>	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb <sup>b</sup>	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U <sup>c</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U <sup>c</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb <sup>c</sup>	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U <sup>#</sup>	Edad (Ma) <sup>#</sup>
<b>M510</b>	<b>Taxco (metalava)</b>	Coordenadas geográficas: 18°32'57.9" N, 99°36'01.3" W											
4(93)	Población de 11 granos claros y euhedrales	0.040	931	336	19.2	1064.6 (0.61)	0.05669 (1.03)	0.11892 (1.23)	0.02022 (0.197)	0.13601 (0.299)	0.04879 (0.214)	129.04 (0.20)	
5(93)	19 granos de zircón menos claros, euhedrales a subhedrales	0.048	1036	377	21.9	1332.1 (0.37)	0.05600 (0.765)	0.11917 (0.900)	0.02074 (0.330)	0.14106 (0.353)	0.04933 (0.119)	132.32 (0.33)	
6(93)	24 granos, incluso menos claros y euhedrales a subhedrales	0.096	1020	377	22.0	899.4 (0.41)	0.06216 (0.369)	0.13971 (0.394)	0.02051 (0.098)	0.13571 (0.249)	0.04799 (0.223)	130.86 (0.10)	
<b>M511</b>	<b>Taxco el Viejo (metaignimbrita)</b>	Coordenadas geográficas: 18°28'56.4" N, 99°34'39.5" W											
1(93)	8 granos euhedrales a sub-eudrales claros y con algunas inclusiones	0.032	278	113	7.00	210.3 (1.1)	0.09644 (2.25)	0.23243 (2.31)	0.02064 (0.648)	0.13699 (2.03)	0.04814 (1.82)	131.68 (0.65)	
2(93)	13 granos euhed-subhed, claros y cc algunas inclusiones	0.028	315	130	8.56	323.5 (0.35)	0.08539 (2.27)	0.17336 (2.81)	0.02425 (0.387)	0.19998 (0.546)	0.05981 (0.357)	154.45 (0.39)	
3(93)	16 granos eu-subhedrales, claros y cc algunas inclusiones	0.042	297	116	9.54	638.4 (0.25)	0.06867 (1.64)	0.13196 (2.15)	0.03062 (0.191)	0.24200 (0.275)	0.05733 (0.185)	194.4 (0.19)	

a - relaciones isotópicas únicamente corregidas por fraccionamiento,  $0.08 \pm 0.03$  % por a.m.u. en copa Faraday,  $0.301 \pm 0.045$  % por a.m.u. usando el colector Daly.

b - relaciones corregidas por fraccionamiento y por blancos de laboratorio de Pb; entre 42 y 75 pg totales de Pb con una composición medida de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 19.05 \pm 0.24$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.496 \pm 0.065$ , y  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.87 \pm 0.19$ .

c - relaciones radiogénicas corregidas por fraccionamiento, blancos de laboratorio de Pb y valores iniciales de Pb común a partir de Stacey y Kramers (1975) para una edad aproximada de la muestra y para un segundo paso con valores de  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb} = 9.74$ .

( ) - los números en paréntesis son los errores (en porcentaje) reportados a nivel 2-sigma de los números directamente encima de ellos (relaciones isotópicas y edades).

# - Edad en millones de años calculada usando algoritmos de Ludwig (1980; 1985) y las constantes de desintegración de Steiger y Jäger (1977).

fueron montados junto a circones estándar (R33) en resina epoxi (probetas) para su posterior caracterización mediante microscopía óptica y electrónica. De particular importancia es la obtención de imágenes de catodoluminiscencia a partir de microscopio electrónico (Figura 5) para poder elegir adecuadamente los lugares de muestreo con la microsonda iónica de alta resolución.

El haz primario de oxígeno ( $\text{O}^{2-}$ ), con una corriente de 4 a 6 nA, perfora un pequeño orificio de 25 a 30 micras de diámetro y de 1 a 2 micras de profundidad. Los datos para cada lugar de muestreo o *spot* son recolectados en grupos de 5 escaneos en un rango de masas preestablecido. De forma secuencial se miden con un colector individual las señales de la muestra de circón a partir de nueve picos que corresponden con  $^{90}\text{Zr}_2^{16}\text{O}$ ,  $^{204}\text{Pb}$ , background (0.050 unidades de masa por encima de  $^{204}\text{Pb}$ ),  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{248}\text{Th}^{16}\text{O}$ , y  $^{254}\text{U}^{16}\text{O}$ . La sensibilidad oscila en un rango de 5 a 30 cps por ppm de Pb. Las relaciones isotópicas reducidas se normalizan con el circón estándar R33 ( $418.9 \pm 0.4$  Ma, edad U-Pb ID-TIMS reportada a 2-sigma de circones de la monzodiorita del Braintree Complex, Vermont; Black *et al.*, 2004). Para tener un buen control en las relaciones U-Pb se mide un circón estándar cada 4 o 5 análisis de circón desconocido. Las concentraciones de U se monitorean analizando el estándar MAD con una composición de U de ~4200 ppm. Las concentraciones de U y Pb son estimadas con una exactitud de 10 % a 20 %. Los datos isotópicos se redujeron y corrigieron por Pb común utilizando el programa Squid de Ludwig (2001b). Posteriormente, se graficaron con el programa IsoplotEx de Ludwig (2001a) en diagramas de concordia tipo Tera-Wasserburg para visualizar agrupaciones coherentes de

edades (Figura 7). Las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  medias ponderadas se calcularon a precisión 2-sigma utilizando los mejores análisis para así estimar las edades de cristalización de nuestras rocas metavolcánicas. Los datos analíticos de U-Th-Pb generados por la técnica SHRIMP-RG son presentados a precisión 1-sigma en la Tabla 3.

#### 4.1. Muestra M-510 de metalava de Taxco.

El afloramiento del que se extrajo esta muestra se encuentra en el corte del libramiento de Taxco, entre la secundaria y el cantil bajo el Hotel Loma Linda (Figura 1). En esta localidad afloran diversos cuerpos de metalava interestratificados con el paquete metasedimentario.

La metalava fechada es una roca compacta color verde oscuro que intemperiza a color café con abundantes fracturas, presenta estructura masiva a fuertemente foliada y preserva la textura porfídica original. Está compuesta por cristales de feldespato inmersos en una matriz afanítica. Al microscopio petrográfico se observa una roca con una evidente fábrica porfídica relicta formada por porfiroclastos de plagioclasa inmersos en una mesostasis de grano muy fino.

Los circones de esta roca tienen forma de eudral a subedral y varían de incoloros a ligeramente coloreados a ámbar, con tamaño promedio entre 100  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ . En la Figura 5a se muestran las imágenes de electrones secundarios y catodoluminiscencia de tres cristales de circón representativos; en las primeras se ven granos en gran parte homogéneos con los bordes ligeramente alterados, mientras que en las segundas se notan cristales con zoneamiento oscilatorio, típico de los circones ígneos.

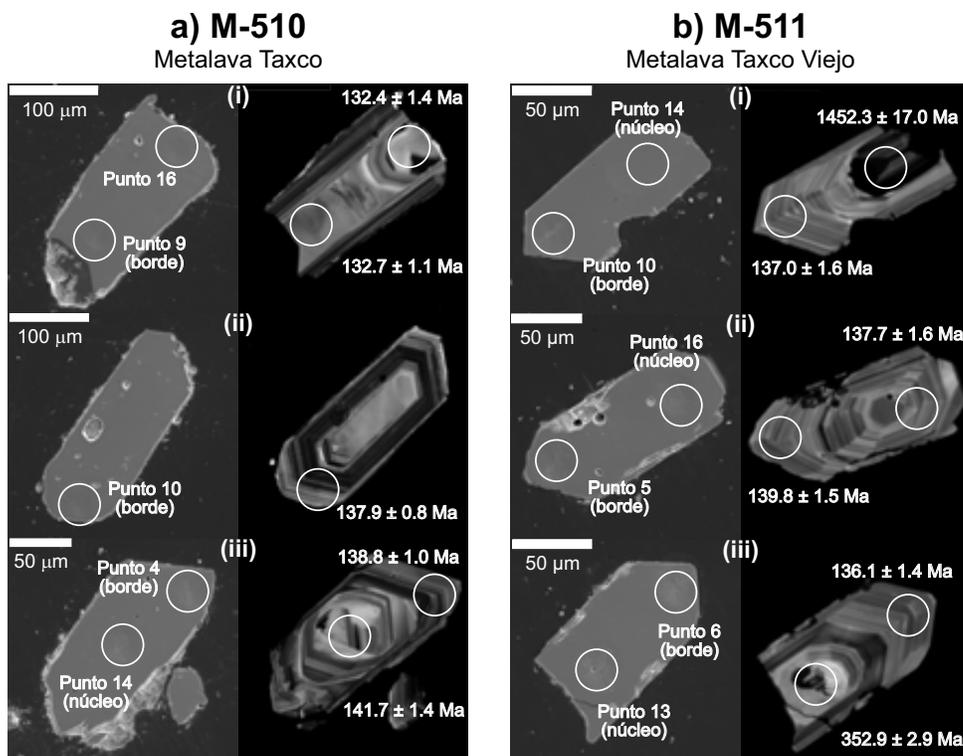


Figura 5. Imágenes de electrones secundarios y cátodoluminiscencia de circones analizados por SHRIMP-RG de la metalava de Taxco (a) y de la ignimbrita de Taxco Viejo (b). Las barras blancas indican la escala para apreciar el tamaño de los circones y los círculos blancos marcan la localización aproximada del punto de análisis.

Para fechamiento por ID-TIMS se analizaron tres poblaciones de circones que totalizan 54 cristales. Las tres fracciones produjeron edades ligeramente discordantes que son 129.04 Ma en la fracción 4 (11 cristales), 132.32 Ma en la fracción 5 (19 cristales), y 130.86 en la fracción 6 (24 cristales) (Tabla 2), resultando una edad promedio ponderada  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $130.6 \pm 2.6$  Ma (Figura 6); edad que se interpreta como el tiempo de cristalización de la roca volcánica.

Para el caso del fechamiento por SHRIMP-RG de la misma muestra, se realizaron 16 mediciones en bordes y núcleos de cristales de circones (Tabla 3 y Figura 5). El rango de edades obtenido está muy bien constreñido al Cretácico Temprano (Berriasiano-Barremiano) y va desde 130.0 Ma a 141.7 Ma. La edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de  $137.1 \pm 0.9$  Ma es calculada a partir de los mejores análisis de circones (Figuras 7a, b y c), y la interpretamos como la edad de cristalización del protolito volcánico de la metalava. La disparidad en las edades obtenidas por los diferentes métodos de fechamiento U-Pb será discutida a continuación.

#### 4.2. Muestra M-511 de metaignimbrita de Taxco Viejo

La metaignimbrita está bien expuesta en los cortes del río Taxco y la muestra fue colectada en el corte occidental del río (Figura 1). Este cuerpo de metaignimbrita está intercalado con otras unidades metavolcánicas aflorantes

en la zona.

En estos afloramientos frescos se puede observar una roca color verde oscuro con textura porfídica relicta compuesta por porfiroclastos de plagioclasa y cuarzo inmersos en una matriz de grano muy fino. La plagioclasa es subhedral a anhedral, alterada y hay fracturas rellenas de calcita.

Los cristales de circones de esta roca varían de forma subhedral a euhedral, son incoloros, y presentan pequeñas inclusiones, tienen un tamaño promedio de 100  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$ . En las imágenes de electrones secundarios (Figura 5b) se ven cristales en gran parte homogéneos pero con bordes moderadamente alterados (cristales ii y iii). Las imágenes de cátodoluminiscencia muestran algunos granos de circones con núcleos heredados (cristales i y iii) sobre los que ha crecido circones con zoneamiento oscilatorio típico de crecimiento ígneo, que corresponde con los circones de edades cretácicas.

Para el fechamiento por la técnica de ID-TIMS se analizaron tres poblaciones de circones que totalizan 37 cristales (Tabla 2). De las tres fracciones, la 1 es concordante a una edad de 131.58 Ma (8 cristales), mientras que las fracciones 2 y 3 son muy discordantes, con edades de 154.45 Ma (13 cristales) y 194.4 Ma (16 cristales) (Tabla 2 y Figura 6). La fracción 1 proporciona, por sí sola, una edad de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $131.7 \pm 0.9$  Ma (Figura 6). Si se consideran las fracciones 1 y 2 se obtiene una edad de intersección inferior

Tabla 3. Datos analíticos U-Th-Pb por método SHRIMP-RG de circones de rocas metavolcánicas de Taxco y Taxco el Viejo, Guerrero, México.

Número de spot	Comentarios	<sup>206</sup> Pb común (%)	U (ppm)	Th (ppm)	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb*	error (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb*	error (%)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U#	error (%)	Edad <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U# (Ma)	error (Ma)
<b>M-510</b> <i>metalava de Taxco</i> <i>Probeta SHRIMP-RG Alex-4 (junio 2005)</i> <i>Coordenadas geográficas: 18°32'57.9" N, 99°36'01.3" W</i>													
M510-15	núcleo; alto Pb común	18.94	369	157	0.44	39.80046 ± 2.72	0.19930 ± 4.14	0.02037 ± 0.0006				130.0 ± 3.9	
M510-16	núcleo	-0.09	493	85	0.18	48.23091 ± 1.01	0.04800 ± 3.93	0.02075 ± 0.0002				132.4 ± 1.4	
M510-9	borde	0.42	688	101	0.15	47.86745 ± 0.84	0.05206 ± 3.14	0.02080 ± 0.0002				132.7 ± 1.1	
M510-11	borde	0.07	1147	297	0.27	47.63446 ± 0.60	0.04923 ± 2.37	0.02098 ± 0.0001				133.8 ± 0.8	
M510-3	borde	0.27	427	116	0.28	47.29676 ± 1.00	0.05090 ± 3.76	0.02109 ± 0.0002				<b>134.5 ± 1.4</b>	
M510-1	borde; alto Pb común	8.02	868	330	0.39	43.21966 ± 0.65	0.11258 ± 2.59	0.02128 ± 0.0002				135.8 ± 1.1	
M510-12	núcleo	0.10	1309	528	0.42	46.87717 ± 0.56	0.04954 ± 2.10	0.02131 ± 0.0001				<b>135.9 ± 0.8</b>	
M510-7	borde	0.26	1508	596	0.41	46.74550 ± 0.50	0.05084 ± 1.84	0.02134 ± 0.0001				<b>136.1 ± 0.7</b>	
M510-13	borde	-0.04	1783	678	0.39	46.85199 ± 0.48	0.04842 ± 1.81	0.02135 ± 0.0001				<b>136.2 ± 0.7</b>	
M510-6	borde	0.19	1190	356	0.31	46.20561 ± 0.60	0.05032 ± 2.24	0.02160 ± 0.0001				<b>137.8 ± 0.8</b>	
M510-8	borde	0.24	2208	641	0.30	46.15785 ± 0.43	0.05070 ± 1.59	0.02161 ± 0.0001				<b>137.8 ± 0.6</b>	
M510-10	borde	-0.03	1235	483	0.40	46.26351 ± 0.57	0.04853 ± 2.17	0.02162 ± 0.0001				<b>137.9 ± 0.8</b>	
M510-2	borde	0.78	1319	308	0.24	45.86876 ± 0.53	0.05499 ± 1.88	0.02163 ± 0.0001				<b>138.0 ± 0.7</b>	
M510-4	borde	-0.15	772	183	0.25	46.02824 ± 0.73	0.04766 ± 2.82	0.02176 ± 0.0002				<b>138.8 ± 1.0</b>	
M510-5	borde	0.12	2103	545	0.27	45.77367 ± 0.45	0.04981 ± 1.70	0.02182 ± 0.0001				139.1 ± 0.6	
M510-14	núcleo	0.17	456	134	0.30	44.91582 ± 0.96	0.05023 ± 3.59	0.02223 ± 0.0002				141.7 ± 1.4	
<b>n = 16</b>												<b>Edad <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U media ponderada =</b>	<b>137.1 ± 0.9</b>
													(n = 9; MSWD = 2.1)
<b>M-511</b> <i>metaignimbrita de Taxco el Viejo</i> <i>Probeta SHRIMP-RG Alex-4 (junio 2005)</i> <i>Coordenadas geográficas: 18°28'56.4" N, 99°34'39.5" W</i>													
M511-1	borde; alto Pb común	2.17	354	125	0.36	47.84986 ± 1.00	0.06589 ± 3.31	0.02045 ± 0.0002				130.5 ± 1.4	
M511-4	borde	0.30	347	112	0.33	48.20682 ± 1.10	0.05102 ± 4.09	0.02068 ± 0.0002				<b>132.0 ± 1.5</b>	
M511-9	borde	0.34	201	55	0.28	47.70594 ± 1.39	0.05139 ± 5.14	0.02089 ± 0.0003				<b>133.3 ± 1.9</b>	
M511-8	borde	0.37	345	112	0.34	47.40832 ± 1.12	0.05164 ± 4.20	0.02102 ± 0.0002				<b>134.1 ± 1.5</b>	
M511-11	borde	0.39	366	126	0.36	47.26933 ± 1.01	0.05179 ± 3.72	0.02107 ± 0.0002				<b>134.4 ± 1.4</b>	
M511-3	borde	0.81	309	102	0.34	46.92165 ± 1.12	0.05514 ± 4.00	0.02114 ± 0.0002				<b>134.9 ± 1.5</b>	
M511-7	borde	0.44	345	112	0.33	46.98066 ± 1.06	0.05220 ± 3.91	0.02119 ± 0.0002				<b>135.2 ± 1.5</b>	
M511-2	borde	0.42	335	107	0.33	46.85821 ± 1.11	0.05205 ± 4.11	0.02125 ± 0.0002				<b>135.6 ± 1.5</b>	
M511-6	borde	-0.15	376	127	0.35	46.92930 ± 1.01	0.04753 ± 3.84	0.02134 ± 0.0002				<b>136.1 ± 1.4</b>	
M511-10	borde	0.21	320	101	0.33	46.45956 ± 1.14	0.05042 ± 4.27	0.02148 ± 0.0003				<b>137.0 ± 1.6</b>	
M511-16	núcleo	0.02	308	101	0.34	46.31502 ± 1.12	0.04895 ± 4.22	0.02159 ± 0.0002				<b>137.7 ± 1.6</b>	
M511-12	borde	0.29	237	69	0.30	46.06799 ± 1.51	0.05111 ± 4.84	0.02164 ± 0.0003				<b>138.0 ± 2.1</b>	
M511-5	borde	-0.14	355	118	0.34	45.66291 ± 1.08	0.04776 ± 4.13	0.02193 ± 0.0002				<b>139.8 ± 1.5</b>	
M511-13	núcleo	1.07	316	109	0.35	17.58343 ± 0.81	0.06220 ± 2.35	0.05626 ± 0.0005				352.9 ± 2.9	
M511-14	núcleo	0.77	78	31	0.41	3.92723 ± 1.20	0.09786 ± 1.79	0.25267 ± 0.0033				1452.3 ± 17.0	
<b>n = 15</b>												<b>Edad <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U media ponderada =</b>	<b>135.6 ± 1.4</b>
													(n = 12; MSWD = 1.9)

\* Relaciones isotópicas sin corrección.

# Las relaciones isotópicas y las edades están coregidas por Pb inicial utilizando la cantidad de <sup>207</sup>Pb.

Todos los errores están reportados a nivel 1-sigma, con la excepción de las edades <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U medias ponderadas que están reportadas a 2-sigma. Las edades en negritas fueron utilizadas para calcular la edad <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U media ponderada de cada muestra.

de 132.6 ± 1.5 Ma, edad con mayor error, pero que apoya, dentro de los límites de error, la edad obtenida sólo con la fracción concordante y que interpretamos como la mejor aproximación a la edad de cristalización de la ignimbrita original de Taxco Viejo.

De igual manera que en la metalava de Taxco, en ésta muestra se realizaron 15 mediciones por SHRIMP-RG en bordes y núcleos de cristales de circones (Tabla 3 y Figura 5). Del total de datos, 13 edades son cretácicas (Tabla 3) y forman un rango constreñido al Berriasiano-Barremiano que va de 130.5 Ma a 139.8 Ma. Las dos edades restantes corresponden a núcleos heredados posiblemente de edad paleozoica y precámbrica (Figura 5b y Tabla 3). La edad <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U media ponderada calculada con los mejores circones cretácicos es de 135.6 ± 1.4 Ma (Figura 7c, d y e). Esas edades paleozoicas y precámbricas en los núcleos de algunos circones son muy importantes y serán discutidas en más detalle en un apartado posterior. De igual manera, discutiremos el hecho de que las edades obtenidas por ambas técnicas U-Pb para circones de esta metaignimbrita sean diferentes dentro de los límites de error, caso éste similar al de la muestra de metalava de Taxco.

## 5. Conclusiones e interpretaciones

En la región oeste y sur de México, desde el Norte de Baja California hasta Chiapas, pasando por el Sur de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Veracruz y Chiapas, se encuentran aflorando cientos de arcos volcánicos oceánicos metamorfoseados de bajo grado, que forman parte de ensamblajes constituidos por depósitos de rocas metasedimentarias y metavolcánicas, cuya edad es principalmente cretácica (Campa *et al.*, 1974; Campa y Coney, 1983).

El número de muestras estudiadas en este artículo es representativo de los diversos análisis pero limitado, dado el propósito de caracterizar geológicamente un arco, razón por la cual es conveniente continuar los estudios de caracterización geológica con un número mayor de muestras tomadas con base en un trabajo de campo que abarque a todas las unidades que forman parte de los ensamblajes diversos de los arcos volcánico-sedimentarios. Aún falta

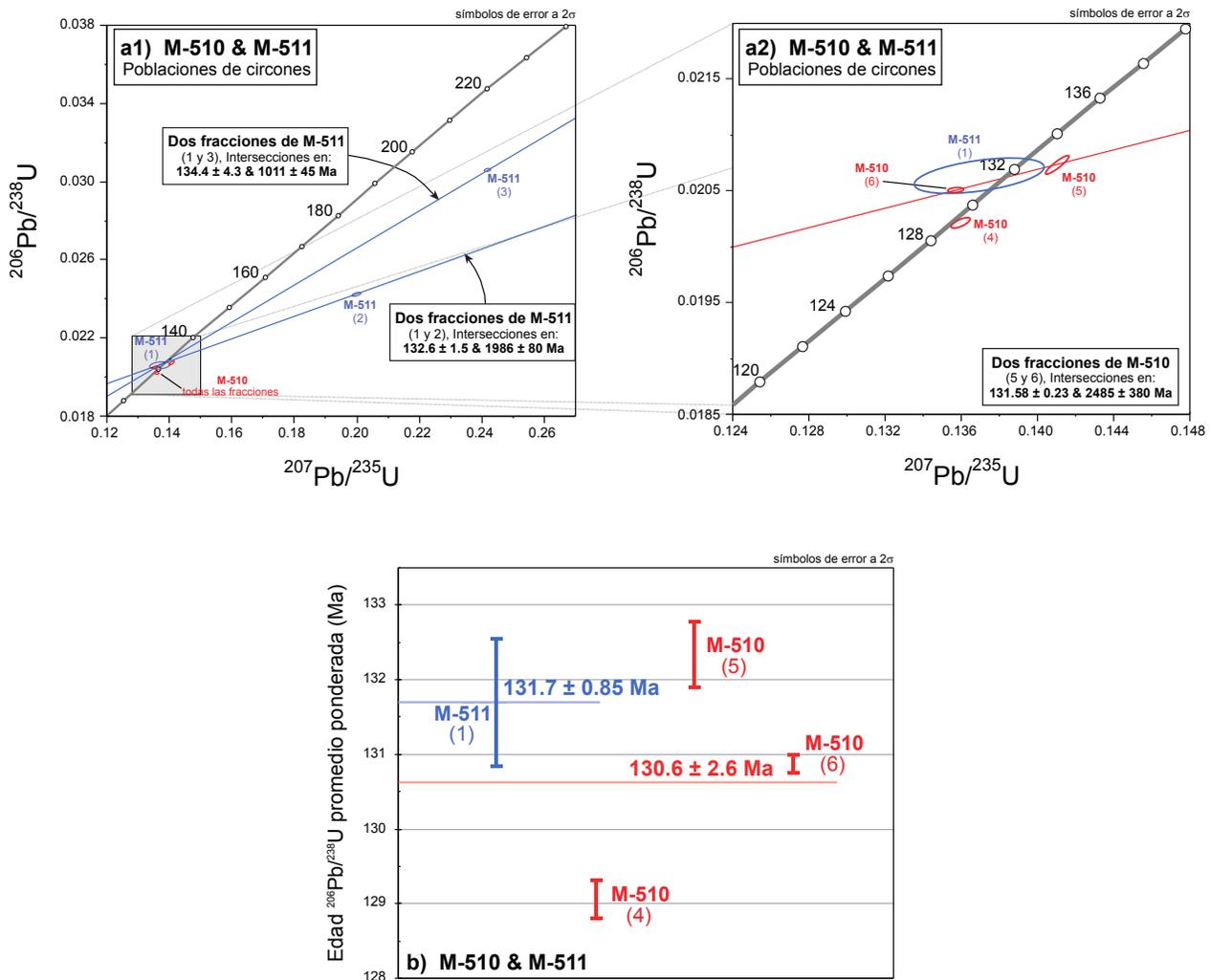


Figura 6. Diagramas de edad U-Pb de las poblaciones de circones analizadas por técnica ID-TIMS para muestras metavolcánicas de Taxco y Taxco Viejo, Guerrero. a1) y a2) Diagramas de concordia tipo Wetherill. b) Diagrama de edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada.

estudiar, por ejemplo, el significado de los depósitos de plataformas asociadas a arcos y sedimentología, localizados en ambientes activos, para los que no hay explicación genética ni modelos hipotéticos.

### 5.1. Conclusiones de petrografía y microtectónica

Las rocas estudiadas presentan planos de foliación muy bien desarrollados en conjunto sin importar la naturaleza del protolito. Los planos de foliación buzan tanto al E-NE como hacia el W-SW, lo cual sugiere más de un evento de deformación. Los planos de foliación contienen una lineación mineral y de estiramiento muy bien desarrolladas en dirección general E-W y un sentido de cizalla de la cima hacia el E (Salinas-Prieto, 2007).

La deformación final observada en sus estructuras es producto de una evolución precretácica tardía, a la que se suma una fase K/T (laramídica) y postectónica.

### 5.2. Conclusiones geoquímicas

La química de las rocas no muestra diferencias mayores en las dos áreas que se están comparando (Taxco y Taxco Viejo), es decir, las dos filitas (o volcanoclásticas diferentes entre sí), una metalava y una metaignimbrita, poseen una caracterización química que permite interpretarlas como genéticamente relacionadas. Los datos son contundentes por lo siguiente: 1) en la gráfica de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Figura 3d) hay una correlación lineal negativa de las cuatro rocas, o sea que la roca más rica en Si es la más pobre en Al y viceversa; 2) en la gráfica de  $\text{CaO}$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Figura 3e), hay una diferencia muy marcada entre las rocas de composición riolítica y las de composición dacítica; 3) los patrones de distribución de los elementos traza y las tierras raras son paralelos entre las cuatro rocas y en los dos diagramas. Estos argumentos se encuentran entre los citados en la literatura para indicar que un conjunto de rocas tienen origen común.

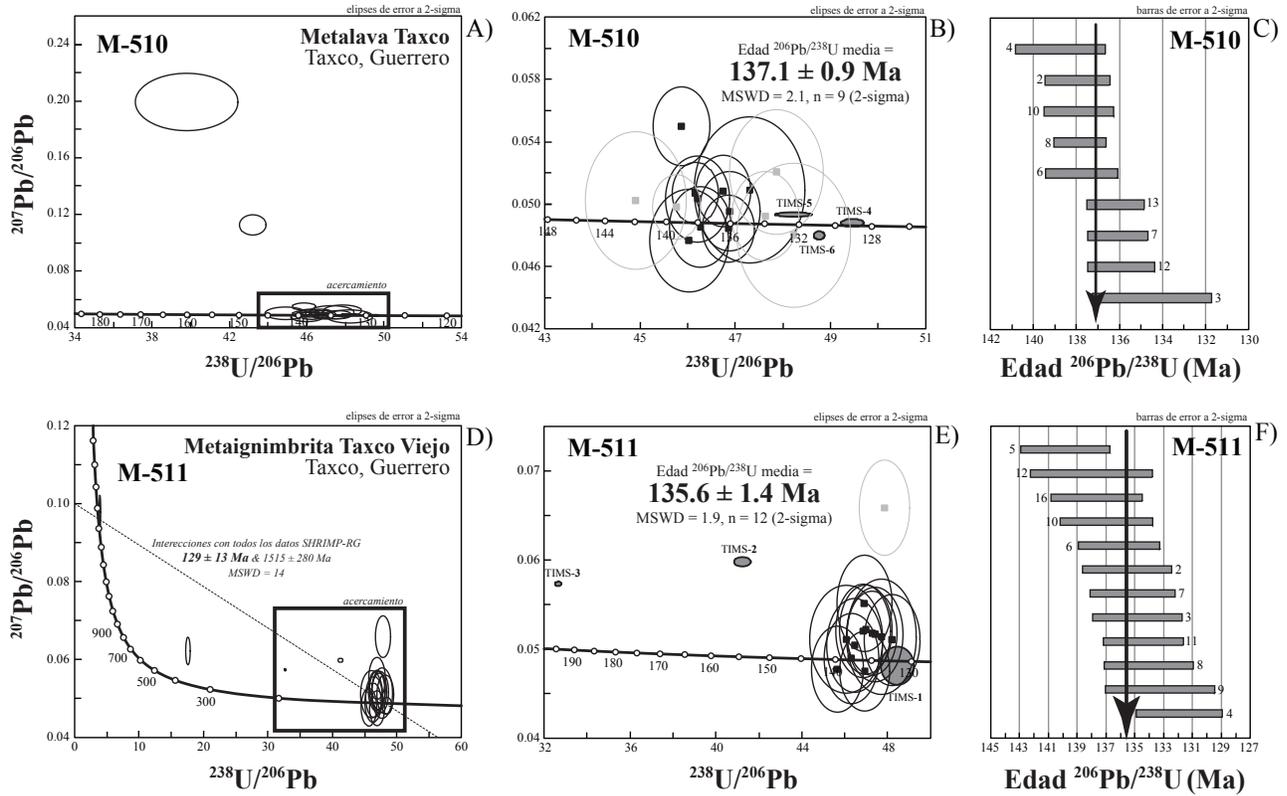


Figura 7. Diagramas de edad U-Pb de circones individuales analizados por técnica SHRIMP-RG para muestras metavolcánicas de Taxco y Taxco Viejo, Guerrero. A, B y C) Diagramas de concordia Tera-Wasserburg y de edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la metalava M-510 de Taxco. D, E y F) Diagramas de concordia Tera-Wasserburg y de edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la metaignimbrita M-511 de Taxco Viejo. En ambos casos, las elipses de error en color negro y, con cuadros negros, representan los análisis de circón empleados para calcular la edad U-Pb media ponderada de cada muestra. Las elipses de color gris, con cuadros del mismo color, son análisis descartados para el cálculo de la edad. El MSWD (*mean square of weighted deviates*) es un cálculo que permite evaluar el ajuste estadístico de los datos geocronológicos; normalmente, es deseable que este número sea menor de 2.5. Para ambas muestras metavolcánicas se grafican los datos U-Pb de circones obtenidos por técnica ID-TIMS, que son graficados amplificando sus errores a aproximadamente 3-sigma para obtener una visualización más adecuada de los mismos.

Los elementos traza muestran una distribución típica de magmas calcialcalinos enriquecidos en los elementos incompatibles de bajo potencial iónico con relación a los de alto potencial iónico, baja concentración de los metales de transición y anomalías negativas de Nb, Ta, Ti y Eu.

Los datos geoquímicos aquí reportados muestran, en conclusión, un carácter félsico marcado para los ensambles Taxco y Taxco Viejo, lo que lleva a interpretarlos como partes componentes de un arco volcánico desarrollado en un ambiente tectónico de arco magmático continental, como lo sugiere García-Díaz (2004).

### 5.3. Conclusiones geocronológicas

Las diferencias de edad entre las dos técnicas de fechamiento U-Pb en circones para una misma muestra son, como poco, intrigantes. Los análisis por técnica de ID-TIMS presentados en este estudio representan poblaciones de granos de circón (poblaciones desde 8 hasta 24 granos cada una). Cada grano de estas poblaciones tiene una historia particular en la que podemos tener desde herencia

de circones más viejos hasta fenómenos de pérdida de Pb por efectos posteriores a la formación del circón ígneo (metamorfismo, hidrotermalismo, intemperismo, etc.) o incluso la incorporación de Pb común. El resultado es, potencialmente, un “coctel” de información isotópica de los circones pertenecientes a la misma población que puede o no tener significado geológico. Sí es cierto que las mediciones por TIMS son muy precisas, pero esto no significa que sean exactas, por lo que hay que tener cautela al elegir la mejor edad. En nuestro caso en particular, podríamos pensar que las poblaciones de circones medidas por TIMS, principalmente las de la muestra M-510 de metalava de Taxco (Figura 7b), hubieran sufrido fenómenos de pérdida de Pb asociados al metamorfismo que presentan las unidades metavolcánicas en ambas localidades y, por lo tanto, causando un rejuvenecimiento de varios millones de años en las edades U-Pb obtenidas por este método.

En cierto modo, las determinaciones isotópicas mediante microsonda iónica (p. ej., SHRIMP-RG) pueden hacerse evitando algunos de estos fenómenos que complican la sistemática isotópica original de los circones. El pequeño

orificio que se perfora en el circón hace posible la elección de los lugares de muestreo más francos, evitando, en lo posible, núcleos antiguos, zonas de fractura, o simplemente dominios del circón donde se aprecien complejidades en su crecimiento. Esta elección de los lugares de muestreo, no cabe duda, ha de ser guiada por una buena caracterización de los circones mediante técnicas de microscopía óptica (luz transmitida y reflejada) y electrónica (imágenes de catódoluminiscencia y de electrones retro-dispersados).

Dicho esto, y con ánimo de dar certeza a los fechamientos U-Pb de circones presentados en este estudio, proponemos que las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  medias ponderadas obtenidas a partir del método SHRIMP-RG para las muestras de Taxco ( $137.1 \pm 0.9$  Ma) y Taxco Viejo ( $135.6 \pm 1.4$  Ma) son las mejores estimaciones de la edad de cristalización para ambos protolitos volcánicos. Además destacamos que estas edades resultan iguales dentro de los límites de error asignados a cada muestra, por lo que podríamos sugerir que existe una conexión temporal entre el vulcanismo cretácico presente en Taxco y en Taxco Viejo.

Por otro lado, es irrefutable que circones de edad paleozoica y precámbrica, como los presentes en la muestra de Taxco Viejo (Figuras 5, 6 y 7), fueron incorporados a la cámara magmática a partir de la cual se extrajeron los magmas precursores de las rocas volcánicas cretácicas bajo estudio. Esto pudiera indicar la presencia de basamento de esa edad en la región, pero como alternativa, también podríamos explicar esta presencia de circones a partir del transporte sedimentario desde una región continental (p. ej. Oaxaquia) hacia la región del arco (Taxco y Taxco Viejo), es decir, como circones detríticos que posteriormente fueron incorporados al substrato del arco volcánico participante en el ciclo magmático cretácico. Hay que entender que este estudio tuvo como propósito principal disipar las dudas sobre las edades de los protolitos de las rocas metavolcánicas presentes en la región y que, con los pocos datos geocronológicos disponibles, sería un despropósito intentar resolver la incógnita de la existencia o no de basamento paleozoico-precámbrico en esta región del terreno Guerrero.

Lo que si podemos afirmar con estas nuevas edades cretácicas es que las edades hipotéticas propuestas por Fries (1960), de un supuesto protolito paleozoico y triásico para los esquistos de Taxco y Taxco Viejo (Roca Verde), respectivamente, son equivocadas. De la misma manera, podemos descartar la edad precámbrica del Esquisto Taxco obtenida por el método Pb-alfa en circones (de Cserna et al., 1974). Destacamos que las edades cretácicas son importantes para reforzar la hipótesis de que estos arcos volcánicos de carácter principalmente oceánico sustentan los depósitos de calizas de la plataforma Guerrero-Morelos, como partes del archipiélago acrecionado del terreno Guerrero conceptualizado por Campa y Coney (1983). Por último, mencionar que las edades isotópicas U-Pb en circones confirman la edad obtenida con fósiles de amonitas en los depósitos metasedimentarios de la región (Campa

et al., 1974).

#### 5.4. Conclusiones acerca de los modelos hipotéticos

En la actualidad hay una gama de modelos interpretativos acerca del origen de ensambles volcánicos observados en la corteza mexicana, que corren en paralelo y nunca se tocan, modelos producto de análisis geofísicos, geoquímicos, sedimentológicos, estructurales y tectónicos, cuyo análisis puntual se sale de los propósitos del presente artículo, dado que requiere ser tratado en otro artículo. Esos modelos, como tales, responden a un cierto tipo de visión enclaustrada en las técnicas que se emplean en los métodos analíticos, cuando la caracterización geológica compleja de los arcos obliga a elaborar nuevos modelos capaces de responder a una síntesis global de los análisis que caracterizan a cada arco volcánico.

A la fecha, las Ciencias de la Tierra cuentan principalmente con dos modelos teóricos de interpretaciones mayores:

1) El clásico basamento antiguo de acuerdo con la evolución autóctona, donde el triásico se acomoda debajo de la caliza cretácica y encima del basamento metamórfico paleozoico, sin que esa sucesión se observe en el campo y sin que haya sido comprobada por los análisis geocronológicos.

2) Un modelo alternativo cuyo depósito tardío es una plataforma de bancos y capas de caliza llamada Guerrero-Morelos, metamorfoseada, plegada y cabalgada hacia el Oriente, sobre el basamento precámbrico-paleozoico del terreno Oaxaca-Mixteca, interpretado como un microcontinente denominado Oaxaquia. Este modelo es una modificación del propuesto originalmente por Campa y Coney (1983), en un tiempo en que se discutía cuáles serían los límites del terreno Guerrero y Mixteca, a partir de las fallas cabalgantes de Teloloapan o de Papatlultra, y cuál sería el basamento de la plataforma Guerrero-Morelos.

Los datos de edades isotópicas, caracteres geoquímicos, petrográficos y microtectónicos aquí expuestos, soportan la hipótesis de que los ensambles del Cretácico Temprano de Taxco y Taxco Viejo pertenecen a un archipiélago que forma el Terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983).

#### Agradecimientos

Iriondo y Premo quisieran agradecer enormemente a Joe Wooden, Frank Mazdab, Bettina Wiegand and Brad Ito del United States Geological Survey en la Universidad de Stanford, California, por su supervisión en la obtención de datos y calibrado del instrumento SHRIMP-RG. También agradecer a Pedro Castiñeras, antiguo postdoctorante de la Universidad de Colorado en Boulder, por su ayuda en la obtención de datos SHRIMP-RG, además de por su apoyo en la obtención de imágenes de microscopía electrónica (BSE y CL). La adquisición de estas imágenes fue supervisada por Heather Lowers del United States Geological Survey en Denver, Colorado. También agradecemos a dos revisores

anónimos por sus observaciones y recomendaciones para mejorar el contenido de este manuscrito.

## Referencias

- Baker, P.E., 1982, Evolution and classification of orogenic volcanic rocks, *en* Thorpe, R.S. (ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*: Chichester, Reino Unido, John Wiley & Sons, 11-23.
- Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundil, R., Campbell, I.H., Korsuch, R.J., Williams, I.S., Foudoulis, C., 2004, Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards: *Chemical Geology*, 205, 115-140.
- Campa Uranga M.F., 1975, *Las Rocas Ígneas y Metamórficas del Área Taxco-Teloloapan*, Guerrero, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Grado de Maestría en Ciencias, 95p.
- Campa Uranga M.F., 1976, La Cabalgadura Laramídica del Dominio Volcánico-sedimentario (Arco Alisitos-Teloloapan) sobre el Miogeosinclinal mexicano en los límites de los estados de Guerrero y México, *en* *Memorias del Tercer Congreso Latinoamericano de Geología*, Acapulco, México, 15p.
- Campa, M.F., Coney, P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040-1051.
- Campa-Uranga, M.F., Iriondo A., 2004, Significado de dataciones cretácicas de los arcos volcánicos de Taxco, Taxco el Viejo y Chapolapa, en la evolución de la Plataforma Guerrero Morelos (resumen), *en* IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra: Juriquilla, Querétaro, Sociedad Geológica Mexicana, 76.
- Campa-Uranga, M.F., Campos, M., Flores, R., Oviedo, R., 1974, La secuencia mesozoica volcánico-sedimentaria metamorfozada de Ixtapan de la Sal, Méx. – Teloloapan, Guerrero: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 35, 7-28.
- Campbell, I.H., O'Neill, H.S.C., 2012, Evidence against a chondritic Earth: *Nature*, 483, 553-558.
- de Cserna, Z., Fries, C., Rincón-Orta, C., Westey, H., Solorio-Munguía, J., Schmitter-Villada, E., 1974, Edad Precámbrica Tardía del Esquisto Taxco, Estado de Guerrero: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 26, 183-193.
- Díaz-Jerónimo, E.A., 2010, Petrografía y geoquímica de la secuencia de Chiautla, Puebla y correlación con las secuencias de Taxco-Taxco el Viejo, Tlahuizapa y La Venta, Guerrero: Taxco, Guerrero, Universidad Autónoma de Guerrero, tesis de licenciatura, 124 p.
- Fitoussi, C., Bourdon, B., 2012, Silicon Isotope Evidence Against an Enstatite Chondrite Earth: *Nature*, 335, 1477-1480.
- Fries, C., 1960, Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central-meridional de México: *Boletín del Instituto de Geología (Universidad Nacional Autónoma de México)*, 60, 1-236.
- García-Díaz, J.L., 2004, Etude geologique de la Sierra Madre del Sur aux environs de Chilpancingo et d'Olinala, Guerrero: Saboya, Francia, Université de Savoie, tesis de doctorado, 148 p.
- Iriondo, A., Premo, W.R., Martínez-Torres, L.M., Budahn, J.R., Atkinson, Jr., W.W., Siems, D.F., Guarás-González, B., 2004, Isotopic, geochemical and temporal characterization of Precambrian basement rocks in the Quitovac region, northwestern Sonora, Mexico: Its implications for the tectonic reconstruction of southwestern North America: *Geological Society of America Bulletin*, 116, 154-170.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Jakeš, P., White, A.J.R., 1972, Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas: *Geological Society of America Bulletin*, 83, 29-40.
- James, K., Lorente, M.A., y Pindell, J. (eds), *The geology and evolution of the region between North and South America*, Geological Society, London, Special Publication.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram: *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Ludwig, K.R., 1980, Calculation of uncertainties of U-Pb isotope data: *Earth and Planetary Science Letters*, 46, 212-220.
- Ludwig, K.L., 1985, PBDAT200: A Computer Program for processing raw Pb-U-Th isotope data: Boulder, Colorado, United States Geological Survey, Open-File Report 85-547, 54 p.
- Ludwig, K.R., 2001a, ISOPLOT/Ex, version 2.49, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel: Berkeley, California, Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 1A, 56 p.
- Ludwig, K.R., 2001b, SQUID 1.02: A user's manual: Berkeley, California, Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 2, 19 p.
- Nourse, J.A., Premo, W.R., Iriondo, A., Stahl, E.R., 2005, Contrasting Proterozoic basement complexes near the truncated margin of Laurentia, northwestern Sonora-Arizona international border region, *en* Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., Steiner, M.B. (eds.), *The Mojave-Sonora Megasear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*: Geological Society of America Special Papers, 393, 123-182.
- Pearce, J.A., 1982, Trace elements characteristic of lavas from destructive plate boundaries, *en* Thorpe, R.S. (ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*: Chichester, Reino Unido, John Wiley & Sons, 525-548.
- Pearce, J.A., 1983, The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, *en* Hawkesworth, C.L., Norry, M.J. (eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*: Cambridge, Massachusetts, EE.UU., Shiva, 230-249.
- Peccerillo, A., Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Salinas-Prieto, J.C., 1994, Etude Structurale du Sud-ouest mexicain (Guerrero): Orleans, Francia, Université d'Orléans, tesis de doctorado, 211 p.
- Salinas-Prieto, J.C., 2007, Análisis de la deformación dúctil en la región norte del estado de Guerrero: *Geociencia*, 1(2), 5-25.
- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model: *Earth and Planetary Science Letters*, 26, 207-221.
- 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.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, *en* Saunders, A.D., Norry, M.J., (eds.), *Magmatism in Ocean Basins*: Londres, Geological Society of London, Special Publication 42, 313-345.
- Williams, I.S., 1998, U-Th-Pb geochronology by ion microprobe, *en* McKibben, M.A., Shanks, W.C., Ridley, W.I., (eds.), *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes: Reviews in Economic Geology*, 7, 1-35.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- York, D., 1969, Least-squares fitting of a straight line with correlated errors: *Earth and Planetary Science Letters*, 5, 320-324.

Manuscrito recibido: Noviembre 22, 2011.

Manuscrito corregido recibido: Julio 28, 2012.

Manuscrito aceptado: Agosto 28, 2012.