

LAS ROCAS METAMORFICAS DE LA REGION DE ZACUALPAN, ESTADO DE MEXICO

Víctor Díaz-García*

RESUMEN

En la región de Zacualpan, en la parte suroccidental del Estado de México, afloran rocas metamórficas anteriores al Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Formación Acuitlapán). El estudio geológico semidetallado a lo largo del cauce del Arroyo de Ayotusco reveló que las rocas metamórficas se presentan en tres unidades litológicas cartografiables, siendo la más antigua de éstas el Esquisto Taxco, en medio la Formación Ayotusco y la más joven la Rocaverde Taxco Viejo. Su grado de metamorfismo corresponde a la facies de esquisto verde.

El Esquisto Taxco consiste en rocas volcanosedimentarias de composición intermedia y posee tres foliaciones secundarias.

La Formación Ayotusco consiste principalmente de pizarras carbonosas, algo de cuarcita, calizas foliadas y metapsamitas, que se presentan con dos foliaciones bien desarrolladas.

La Rocaverde Taxco Viejo está formada por lahares, lavas de composición andesítica y tobas con foliación incipiente.

La relación entre el Esquisto Taxco y la Formación Ayotusco no se presenta con toda claridad; sin embargo, al contacto puede interpretarse como una discordancia que pudiera estar afectada por fallamiento. El contacto entre la Formación Ayotusco y la Rocaverde Taxco Viejo es al parecer discordante, debido a las relaciones de campo; pero en este caso, también pudiera haber habido movimiento a lo largo de este contacto.

Las dataciones radiométricas efectuadas en estas rocas en la región acusan una historia térmica muy compleja, por lo que aún no existen fechas absolutas concluyentes. En base a las relaciones estructurales, estratigráficas y petrológicas que guardan estas unidades litoestratigráficas entre sí y con la Formación Acuitlapán, se concluye que la Rocaverde Taxco Viejo probablemente sea del Triásico Tardío y posiblemente del Jurásico Temprano, la Formación Ayotusco probablemente del Pensilvánico-Pérmico, mientras que el Esquisto Taxco probablemente del Misisípico-Pensilvánico.

ABSTRACT

In the Zacualpan region of southwestern Mexico State, pre-Upper Jurassic-Lower Cretaceous (Acuitlapán Formation) metamorphic rocks are exposed.

Semi-detailed geological study along the course of Arroyo de Ayotusco revealed that these metamorphic rocks are mappable in three lithologic units, being the oldest the Taxco Schist, in the middle the Ayotusco Formation and the youngest the Taxco Viejo Greenstone. Their grade of metamorphism is that of the greenschist facies.

The Taxco Schist consists of volcano-sedimentary rocks of intermediate composition, and has three secondary foliations.

The Ayotusco Formation consists principally of carbonaceous slates, some quartzite, foliated limestone and metapsamite, which show two well-developed foliations.

The Taxco Viejo Greenstone is formed by lahars, lavas of andesitic composition and tuffs with incipient foliation.

The relation between the Taxco Schist and the Ayotusco Formation has not been observed with clarity; however, the contact can be interpreted as an unconformity that might be affected by faulting. The contact between the Ayotusco Formation and the Taxco Viejo Greenstone appears to be discordant, as detected from the field relations, but in this case also movements could have occurred along this contact.

The radiometric dating of these rocks in this region indicates a very complex thermal history, for which to date there are no absolute ages available. On the basis of structural, stratigraphic and petrologic relations that exist among these three lithostratigraphic units, as well as with the overlying Acuitlapán Formation, it is concluded that the Taxco Viejo Greenstone is probably Late Triassic and possibly Early Jurassic, the Ayotusco Formation is probably Pennsylvanian-Permian, while the Taxco Schist is probably of Mississippian-Pennsylvanian age.

INTRODUCCION

El presente artículo está basado en el estudio que se desarrolló a sugerencia del Dr. Zoltan de Cserna, del Instituto de Geología de la UNAM, bajo la supervisión del Dr. Fernando Ortega-Gutiérrez, también del mismo Instituto, y

*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coahuacán, 04510 México, D.F.

constituyó la tesis profesional del autor presentada en la Facultad de Ingeniería de la UNAM; contiene interpretaciones y conclusiones a las que llegó posteriormente.

El objeto del estudio fue investigar la secuencia estratigráfica anterior a la Formación Acuitlapán que aflora en esta región, en la que están alojados importantes yacimientos de plomo y zinc argentíferos.

El área de estudio está situada en los alrededores de Zacualpan (Figura 1), ubicada en la parte suroccidental del

Estado de México, cerca de los límites noroccidentales del Estado de Guerrero, y a una altitud aproximada de 2,000 m.s.n.m. La investigación se concentró en el área del Arroyo de Ayotusco, localizado 3 km al norponiente de Zacualpan (Figura 2).

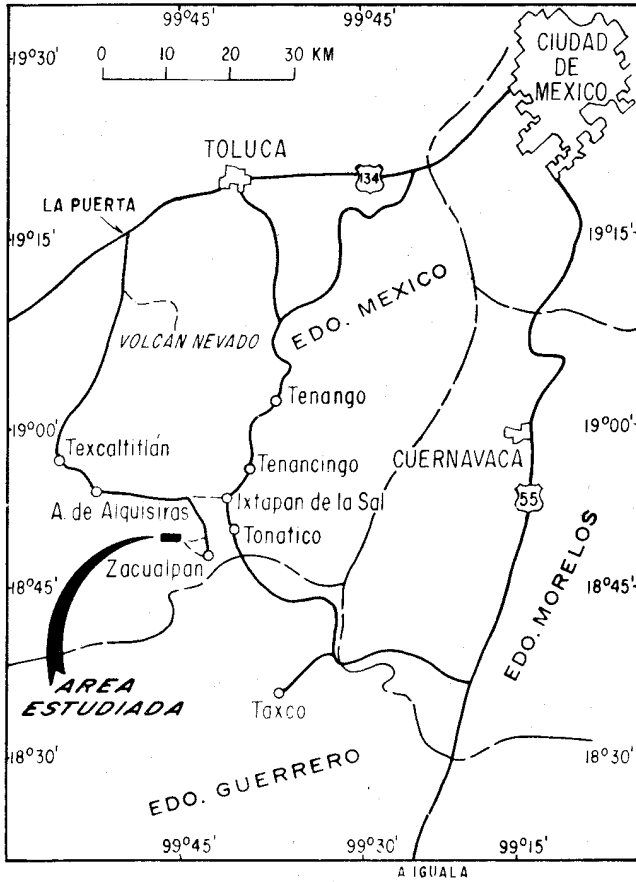


Figura 1.- Mapa que muestra la localización del área de estudio.

La región de Zacualpan se encuentra en el borde centro-septentrional de la subprovincia llamada Cuenca del Balsas-Mexcala, de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (Raisz, 1959). Esta cuenca comprende una región severamente disectada, donde afloran rocas cuya edad varía desde el posible Precámbrico hasta el Cuaternario. La región posee las características morfológicas de la etapa de madurez, con una topografía disectada y un sistema de drenaje bien desarrollado, formando valles de variadas formas y tamaños. Las diferencias altimétricas entre el fondo de los arroyos principales y la cima de las elevaciones es de unos

300 m, aproximadamente.

ESTRATIGRAFIA

Las rocas expuestas en la región de Zacualpan son metamórficas, sedimentarias marinas y continentales. La presente investigación se dirigió al estudio de las rocas metamórficas, en las que se encontró una secuencia de rocas volcánicas y, principalmente, de rocas sedimentarias con bajo grado de metamorfismo regional. La base de la columna está formada por semiesquistos de clorita y sericitita; seguidos en la parte central por pizarras, metapsamitas, cuarcitas y calizas foliadas. La cima de la columna está compuesta por toba, pizarra y un lahar con derrames lávicos y estratos pelíticos intercalados (Figura 3).

Estas rocas y sus relaciones fueron encontradas en el Arroyo de Ayotusco, así como también en el corte del camino de terracería que comunica a la mina "El Regenerador" con el poblado de Zacualpan (Figura 4).

ESQUISTO TAXCO

Descripción general.- Las rocas más antiguas que afloran en las cercanías del área de estudio fueron consideradas como pertenecientes al Esquisto Taxco (Fries, 1960). Estas rocas también afloran en las partes extremo occidentales del área (Figura 4) y son volcanosedimentarias metamorfoseadas. La base de esta unidad litoestratigráfica no aflora dentro de los límites del área estudiada.

Petrografía.- En la parte noroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco, se encontró una roca volcanosedimentaria, de color verde claro, foliada y ligeramente oxidada, que puede clasificarse como un semiesquisto micáceo. En sección delgada, específicamente corresponde a una toba híbrida, de tipo ácido. El cuarzo es el mineral más abundante y presenta extinción ondulante; la matriz es de grano submicroscópico, de carácter félsico. En la matriz existen porfidoclastos de cuarzo con extinción ondulante, y algunos de ellos presentan cierta orientación. Los minerales metamórficos se encuentran intercrecidos en la matriz. Los cristales de mica blanca, en forma de hojillas, tienen una orientación paralela a la foliación. La clorita está ligada a la mica blanca, es de grano muy fino y, al igual que esta última, está distribuida en toda la matriz. Sin embargo, la clorita en algunas ocasiones está concentrada en grumos semejando pseudomorfos de algún antiguo mineral máfico. La turmalina y el zircón son escasos y son los únicos minerales pesados identificados.

Relaciones de campo.- La foliación más prominente en estos esquistos tiene un rumbo de N 10-20 E, e inclinación de más de 20 grados hacia el suroriente. Sin embargo, se observaron dos foliaciones adicionales, una de las cuales ha producido "kink bands" (Figura 5).

El contacto superior de esta formación metavolcánica con la unidad litoestratigráfica sobreyacente, que es la Formación Ayotusco, está marcado por la presencia de un intervalo de metatobas de color negro y foliación fina, en el cual se encuentra un gran número de venas de cuarzo, que junto con la foliación están sumamente deformadas y que constituyen la base de esta última formación. Las relaciones observadas en el campo no permiten diagnosticar con claridad si este contacto es de naturaleza sedimentaria o tectónica. No obstante, existe una diferencia detectable entre

la posición de la foliación secundaria observada en esta unidad (el Esquisto Taxco) y en la de la Formación Ayotusco, la cual también puede tener como causa la refracción del cruce por diferencia de ductibilidad del material. Los esquistos verdes de esta unidad metamórfica continúan aguas

arriba en el cauce del Arroyo Ayotusco, conservando la inclinación de la foliación más prominente con una orientación similar a la de las demás unidades metamórficas sobreyacentes y presentando algunas intercalaciones de pizarras carbonosas de poco espesor.



Figura 2.- Vista hacia el poniente del valle del Arroyo de Ayotusco, donde se llevó a cabo la mayor parte del presente estudio. Fotografía de V. Díaz-García.

Esta unidad metamórfica, considerada en este estudio como Esquisto Taxco también aflora en sitios al surponiente del área, como la barranca del Arroyo de Aquiapán.

FORMACION AYOTUSCO

La secuencia de rocas sedimentarias metamorfoseadas expuesta en la región de Zacualpan descansa sobre el Esquisto Taxco y subyace a la Rocaverde Taxco Viejo, que descansa sobre semiesquistos cloritizados y sobre la cual se depositaron las demás formaciones más recientes en el área de estudio; en este artículo se denomina como Formación Ayotusco.

Descripción general.- Varios autores en sus descripciones sobre la geología del lugar mencionan la presencia de pizarras carbonosas en el área de Zacualpan (Ortega y Larsen, 1933; Robles-Ramos, 1937; y Gutiérrez-González, 1973). Robles-Ramos colocó a las pizarras en la base de la columna estratigráfica y Gutiérrez-González estudió un ejemplar en sección delgada.

La expresión topográfica de esta formación es muy semejante a la de la Rocaverde Taxco Viejo (Fries, 1960, p. 35), caracterizándose por superficies bastante disectadas, de pendientes muy inclinadas con escasa vegetación. Donde la denudación ha eliminado la protección de la roca suprayacente, la pizarra es susceptible a un fácil desgaste erosivo y a un intemperismo acentuado. La pirita es el sul-

furo más abundante en las pizarras y está diseminada en todo su espesor. Las pizarras son de color negro y verde cuando son frescas y ligeramente pardo cuando están oxidadas. Al intemperismo pueden tomar los colores ocre, amarillo, crema, blanco y rojo. Puede confundirse la Formación Ayotusco con la Formación Acuitlapán (Fries, 1960, p. 38), la cual está constituida por pizarras, filitas y calizas muy semejantes a las descritas en este estudio. La mejor guía para distinguirlas es la posición que guardan respecto a la Rocaverde Taxco Viejo, ya que la Formación Ayotusco sirve de zócalo a la Rocaverde Taxco Viejo y la Formación Acuitlapán descansa sobre esta última.

Relaciones de campo.- En la parte occidental del área estudiada, la Formación Ayotusco está encima del Esquisto Taxco, considerando a este contacto como sedimentario, aunque bien pudiera representar también una relación tectónica. En la parte oriental del Arroyo de Ayotusco, la Rocaverde Taxco Viejo sobreyace a la Formación Ayotusco. En esta localidad, inmediatamente debajo de la rocaverde afloran calizas foliadas con interestratos de cuarcitas (Figura 6). Los estratos son delgados y el espesor de estas rocas no excede los 15 m. A las calizas y cuarcitas sobreyacen pizarras con metapsamitas interestratificadas de un espesor considerable, que constituyen la mayor parte de esta formación (Figuras 7 y 8). Se desconoce la extensión lateral precisa que pueda tener la Formación Ayotusco, pero se considera que continúa hacia el sureste siguiendo el contacto con la

Rocaverde Taxco Viejo rumbo a Texicapan y aún más al sur, hacia Tlanilpa, Guerrero, de acuerdo a las descripciones

de del Vecchio-Carranza (1978), y continuando la misma dirección, posiblemente al sur de Teloloapan, Guerrero.

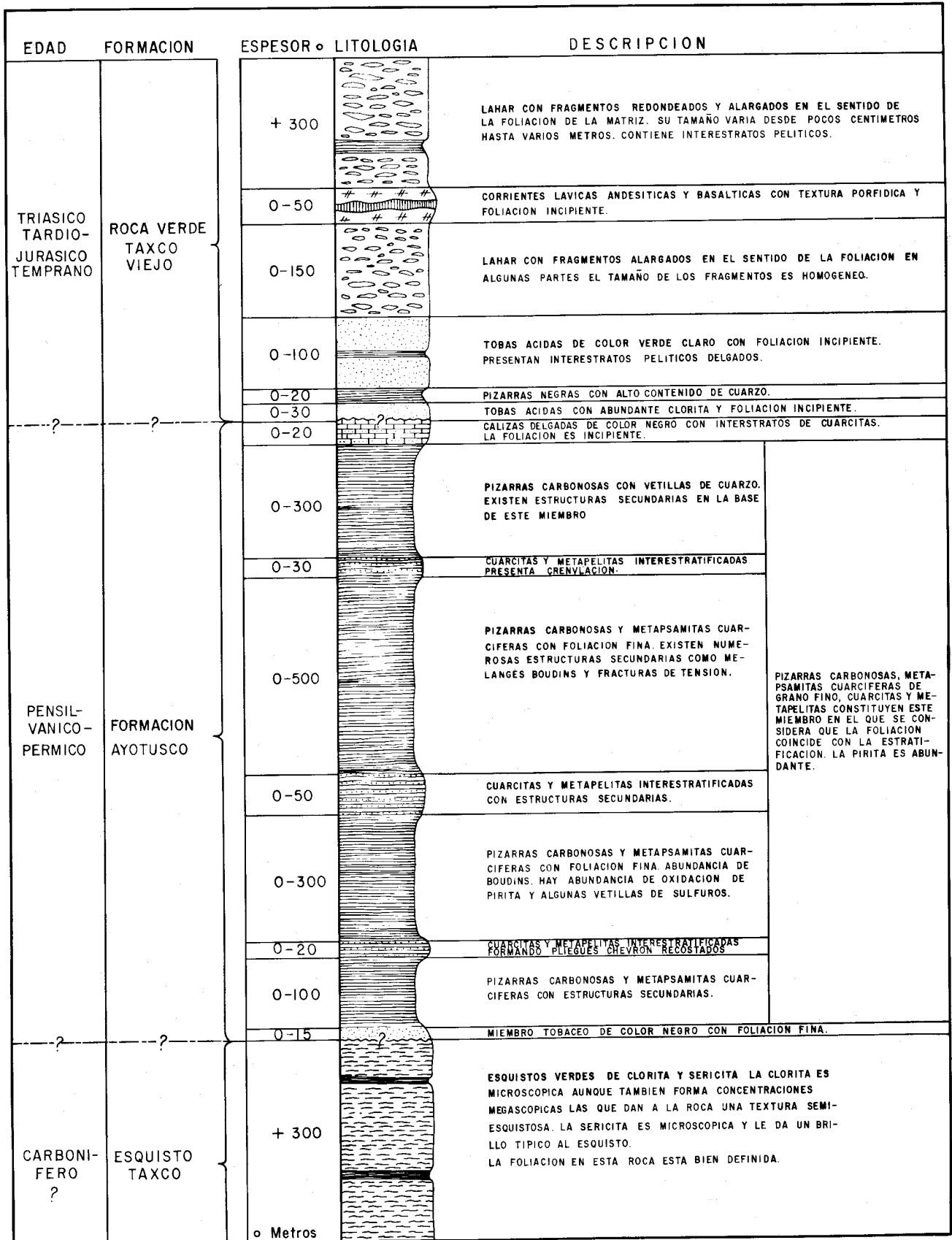


Figura 3.- Sección columnar que muestra las unidades litológicas presentes a lo largo del Arroyo de Ayotusco.

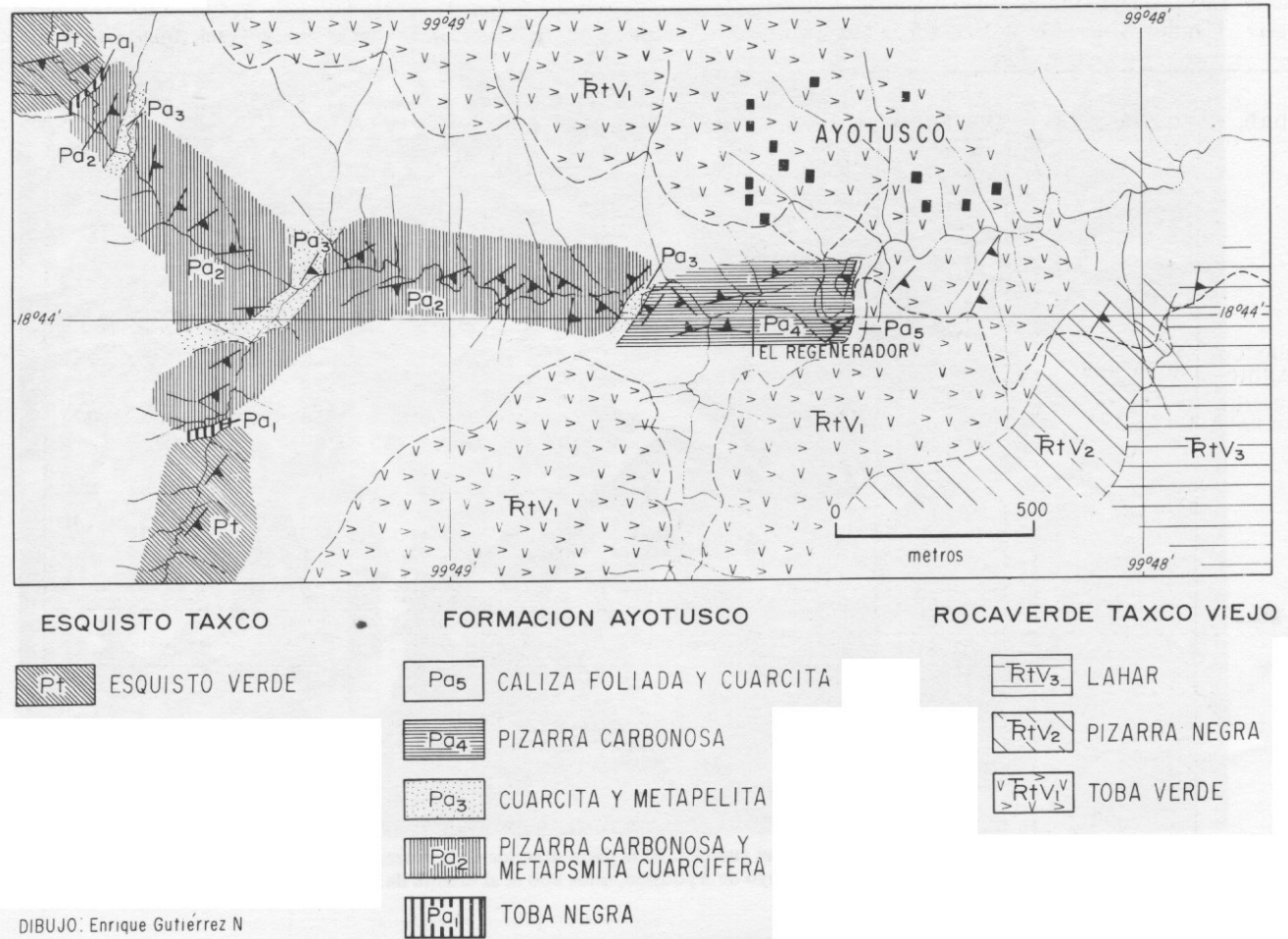


Figura 4.- Mapa que muestra la distribución de las diferentes litologías de las rocas metamórficas a lo largo del Arroyo de Ayotusco.

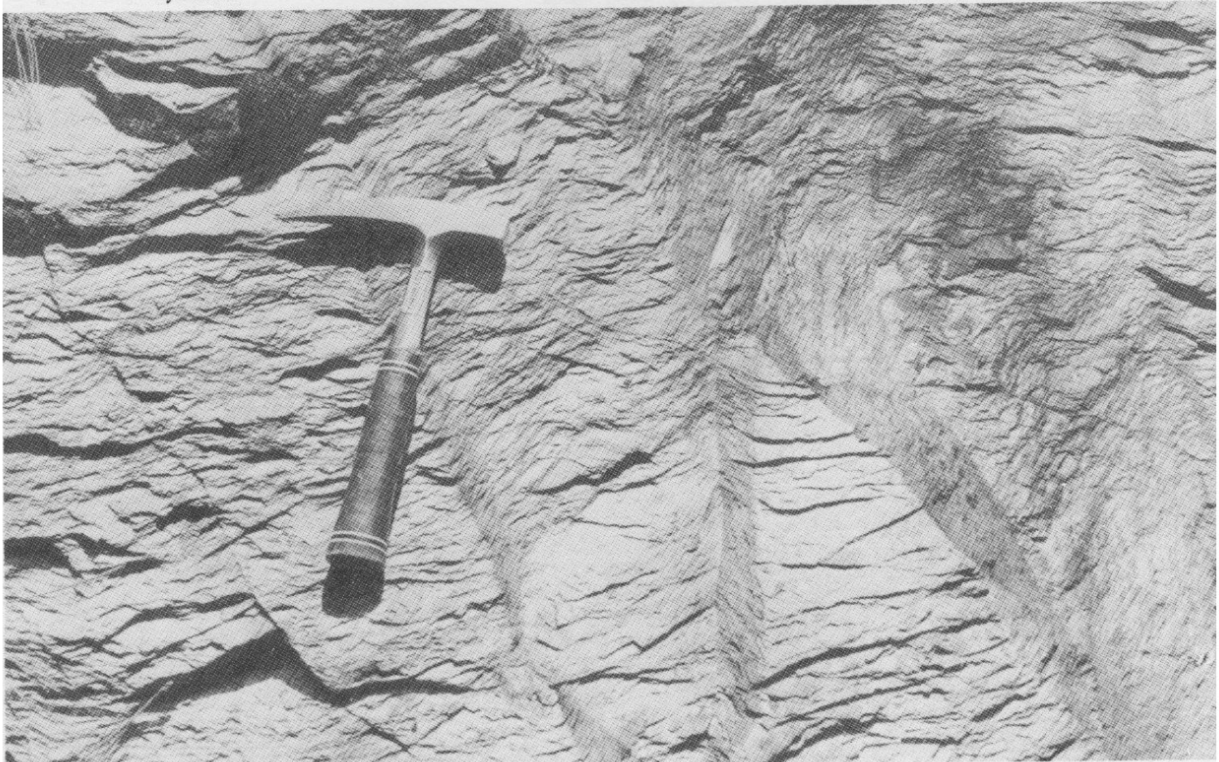


Figura 5.- "Kink bands" en esquisto micáceo (metatoba híbrida) del Esquisto Taxco, en la parte occidental del valle del Arroyo de Ayotusco. Fotografía de V. Díaz-García.



Figura 6.- Caliza foliada, interestratificada con cuarcita, en la parte superior de la Formación Ayotusco. El afloramiento está en la margen derecha del Arroyo de Ayotusco, unos 200 m al oriente de la mina El Regenerador. Fotografía de V. Díaz-García.

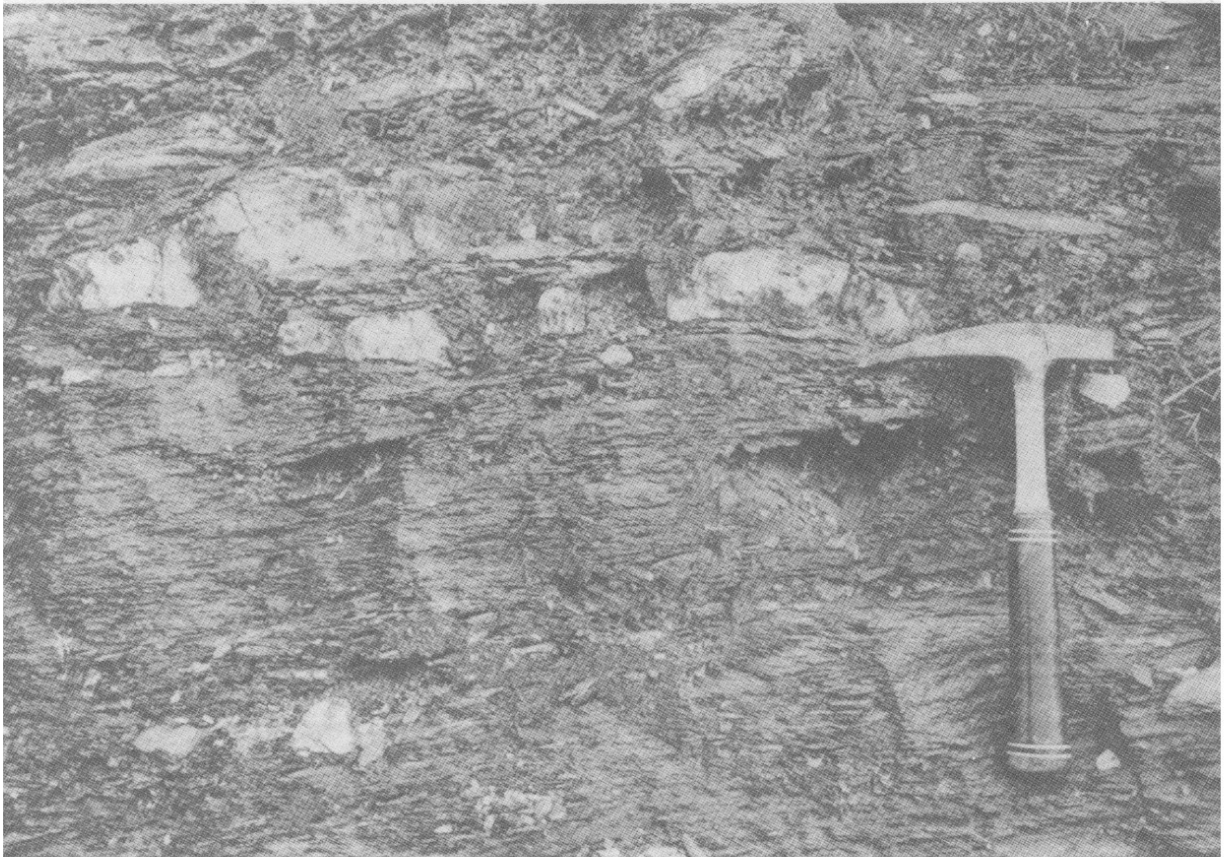


Figura 7.- Pizarras carbonosas con vetas de cuarzo de la Formación Ayotusco. Fotografía de V. Díaz-García.

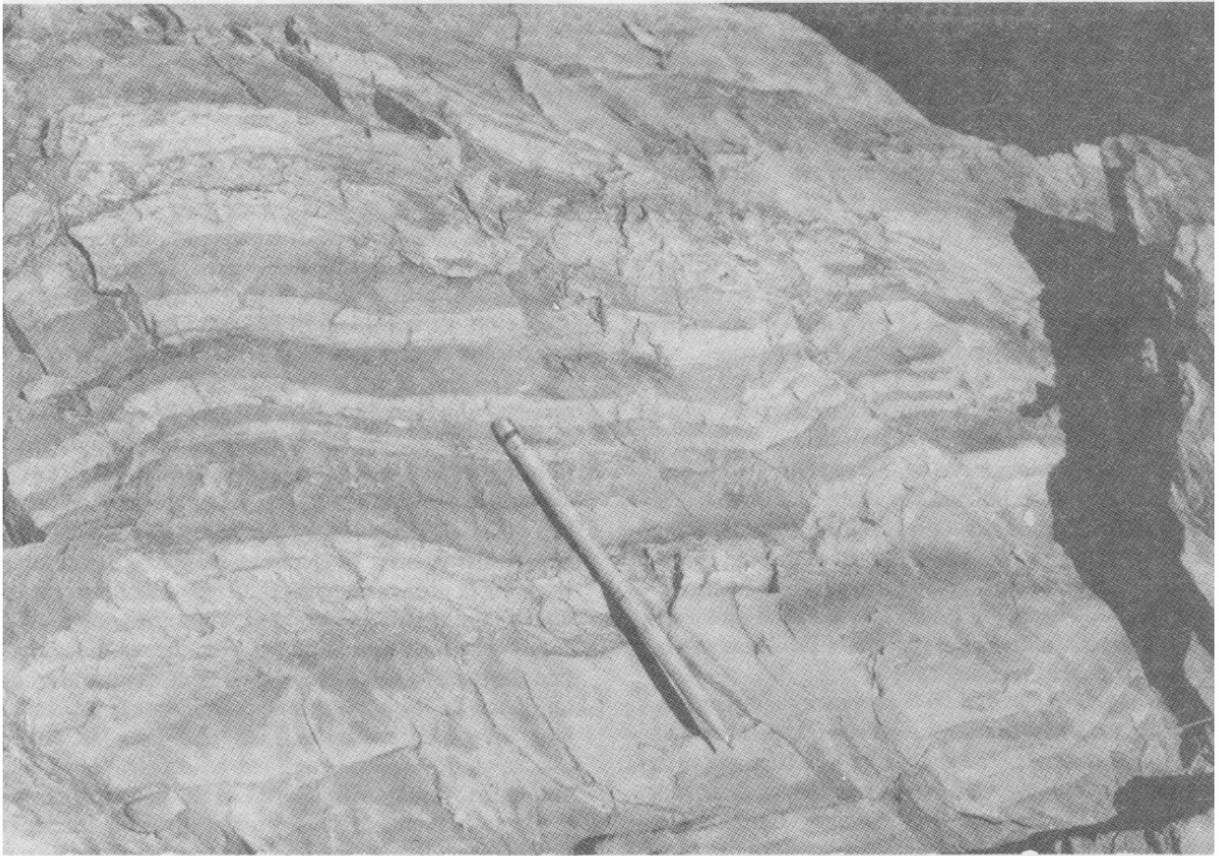


Figura 8.- Alternancia de metapsamitas de composición diferente en la Formación Ayotusco, que aflora en la parte occidental del curso del Arroyo de Ayotusco. Nótese los planos de foliación, que están en una posición normal a la estratificación. Fotografía de V. Díaz-García.

En el área de estudio, la pizarra aflora en varios sitios además del Arroyo de Ayotusco, tales como en los Arroyos del Bobo y de la Gama, localizados al noroeste de Zacualpan y en el Arroyo del Alacrán, al sureste de dicha población. En los caminos de terracería que parten de Zacualpan rumbo a la mina El Alacrán, a la subestación Coronas y al poblado de Texicapan, se encuentran pizarras cuyo espesor es considerable, así como las que se encuentran en el camino que liga Coronas con Aquiapan. También afloran pizarras sobre la carretera asfaltada que liga Almoloya de Alquisiras con Zacualpan, pero éstas podrían corresponder a otra unidad estratigráfica. Al norte y al noroeste de Zacualpan, las pizarras están expuestas en zonas distribuidas irregularmente, lo cual se debe a la presencia de fallas que han alterado la fisiografía y hacen difícil establecer su correlación.

Petrografía.- Las pizarras de la Formación Ayotusco están constituidas en forma alternada por pizarras carbonosas, metapsamitas cuarcíferas, cuarcitas y metapelitas.

La pizarra es la roca más abundante en esta formación. La foliación de esta roca es, generalmente facoidal, en la cual las láminas definen lentes alargados con sus ejes longitudinales paralelos entre sí. Al microscopio, la pizarra está constituida por un bandeamiento composicional formado por la distribución de los minerales formadores de la roca. Este bandeamiento es paralelo a la foliación y lo forman bandas delgadas y anchas. Las primeras están constituidas por materia carbonosa en abundancia; presentan además sericita en forma de pequeñas hojas alineadas en el sentido de las bandas. Las segundas poseen abundante cuarzo detrítico, de extinción ondulante. El tamaño de los cristales de

cuarzo varía en forma gradual, desde muy pequeño hasta el de limo, sugiriendo una gradación durante el proceso sedimentario. La clorita existe intercrecida con el cuarzo en forma de cristales muy pequeños. La calcita es la menos abundante y aparece dispersa en las bandas anchas, siguiendo la orientación de las bandas. Casualmente, las bandas pueden estar atravesadas por fracturas normales a la foliación, rellenas de cuarzo o de calcita. Entre los planos de foliación es común encontrar una delgada zona de oxidación.

La interpretación petrogenética sugiere un origen sedimentario, en el cual el material detrítico fue depositado en un medio tranquilo, rico en materia orgánica, con escaso oxígeno y circulación de agua.

En las cercanías del contacto entre la Rocaverde Taxco Viejo y la Formación Ayotusco afloran calizas foliadas en estratos de 5 a 10 cm de espesor, con interestratos de cuarcitas de 5 cm de espesor. La potencia de este intervalo es de 15 m aproximadamente, pues no fue posible apreciarlo en su totalidad ya que se encuentra parcialmente cubierto por suelo. Las calizas son de color negro con vetillas de cuarzo normales a la foliación, que es aún incipiente. La textura microscópica de esta roca es cataclásica, con abundancia de cuarzo. Las cuarcitas constituyen delgados interestratos de color gris claro, con hidróxidos de hierro entre sus planos de foliación. La foliación en ambas rocas es fina y coincide con la estratificación.

Las metapsamitas forman intervalos de más de 50 m de espesor dentro de las pizarras; son de foliación fina y se encuentran tanto en la parte superior como en la inferior de la Formación Ayotusco. En la parte media de la forma-

ción también existe un intervalo de metapsamita, de unos 20 m de espesor, que presenta interestratos delgados de metapelitas y metapsamitas cuarcíferas. El mineral más abundante en las metapsamitas es el cuarzo detrítico, el cual presenta una clara extinción ondulante. Su distribución es irregular, pues está concentrado en zonas, tanto de grano fino como de grano grueso; la sericita está intercrecida con el cuarzo formando bandas paralelas de la foliación. La clorita es abundante y de grano fino, está intercrecida con el cuarzo y la sericita y su distribución es irregular. Paralelos a la foliación se observan agregados de hidróxidos de hierro. Los únicos minerales pesados que se encontraron son el zircón y la turmalina, distribuidos escasamente en la roca.

En la parte noroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco aflora una metapsamita cuarcífera de grano fino. Esta metapsamita tiene textura cataclástica y presenta un bandeamiento composicional de cuarzo y mica blanca. El cuarzo detrítico, de extinción ondulante, posee una gradación de tamaños desde muy fino hasta de limo. La mica blanca se presenta en bandas paralelas a la foliación; la clorita es escasa y se introdujo posteriormente por fracturas, al igual que los hidróxidos de hierro que le dan un color de oxidación a la roca. También paralelas a la foliación se observan vetillas de cuarzo recrystalizado.

En la parte suroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco, retirada de las pizarras, se observó la presencia de una cuarcita. La roca consiste de cuarzo detrítico como el mineral más abundante, el cual forma granos equidimensionales de unas 400 micras de diámetro, con extinción moderadamente ondulante. El cuarzo detrítico se presenta también como material cementante, recrystalizado a un mosaico de finos cristales alargados, intercrecidos con hojillas de mica blanca. Le sigue en abundancia la plagioclasa, también de origen detrítico, en forma de cristales gemelados, sin alteración o recrystalización. La plagioclasa presenta sólo una ligera deformación, evidenciada por su extinción ondulante o planos de gemelación fracturados o ligeramente doblados. Su composición es andesina. Los minerales metamórficos son la clorita, mica blanca y la calcita. La primera forma escasas y pequeñas hojillas isotrópicas, orientadas en la dirección de la foliación, la cual está conjuntamente definida por ésta y la mica blanca. La mica blanca, además de encontrarse en forma aislada, también forma concentraciones en bandas lenticulares muy angostas o se encuentra intercrecida con el cuarzo recrystalizado del antiguo cementante. La calcita forma porfidoblastos regularmente espaciados y abundantes. Su presencia en vetas, rellenando fracturas, sugiere que fue introducida posteriormente reemplazando al cuarzo y a la plagioclasa. Se observó la presencia de minerales pesados como turmalina y zircón muy redondeado. También se encontraron en poca cantidad cristales de piritita bien formados. La roca fue originalmente una cuarcita algo feldespática de grano fino y cementada por sílice e impurezas arcillosas.

En la localidad anterior, pero más cerca de las pizarras, se encontró una metafelsarenita que consiste principalmente de cuarzo detrítico. Los granos de cuarzo son de variado tamaño, oscilan entre 200-400 micras, con extinción moderadamente ondulante. El cuarzo también se encuentra recrystalizado en una matriz de naturaleza félsico-clorítica, de grano submicroscópico. Intercrecidos en la matriz se encuentran pequeños cristales de mica blanca de forma alargada. La plagioclasa de origen detrítico es menos abundante,

se encuentra muy alterada y apenas puede distinguirse su gemelación característica; el tamaño de sus cristales es mayor que el de los de cuarzo y se encuentran en forma aislada. Los minerales metamórficos están presentes en escasas cantidades y son clorita, mica blanca y calcita. La calcita y la mica blanca se encuentran intercrecidas en la matriz, sin una orientación definida y en forma más o menos dispersa. La calcita es muy escasa y se encuentra cerca de la plagioclasa. Rellenando fracturas de distribución irregular, se encuentran hidróxidos de hierro, los cuales deben haberse formado posteriormente por la introducción del agua a través de las fracturas. El único mineral pesado que se encontró fue el zircón de forma muy redondeada.

Debajo de la metafelsarenita antes mencionada se presenta un intervalo de metatobas de escaso espesor, que forma la base de esta formación. Su color oscila entre el café oscuro y el púrpura en ciertos sectores. Cabe señalar que este intervalo también aflora en la parte noroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco, en donde puede apreciarse más claramente. El ejemplar estudiado megascópicamente revela la presencia de porfidoclastos de plagioclasa incluidos en una matriz muy fina de color gris oscuro. Al microscopio, se observa en la matriz abundancia de cuarzo detrítico de tamaño submicroscópico, con extinción ondulante. La forma de los granos es equidimensional. El cuarzo también se presenta recrystalizado en forma de porfidoblastos, aunque en escasa cantidad y no presentan orientación preferente. Los porfidoclastos están constituidos por plagioclasas metadetríticas de tamaño medio, clorotizadas y sericitizadas. Estos porfidoclastos son abundantes y presentan cierta orientación en el sentido de la foliación. Los minerales metamórficos presentes, además del cuarzo enunciado anteriormente, son la clorita y la plagioclasa, que se encuentran intercrecidos en la matriz definiendo un aparente bandeamiento paralelo a la foliación. El zircón es el único mineral pesado que se encontró, y al igual que en las rocas anteriores está muy redondeado.

Estructura.- La Formación Ayotusco presenta una foliación fina en casi toda su extensión. El espesor de la foliación en ejemplar de mano varía desde 0.1-1.0 mm. Sin embargo, en las secciones delgadas observadas al microscopio, este espesor es aún más fino. Se supone que la foliación coincide en la mayor parte de los afloramientos con la estratificación original, ya que en sus intervalos constituidos por calizas, pizarras y metapsamitas los planos de estratificación coinciden claramente con la foliación. En algunos lugares la pizarra presenta foliación secundaria. En estos lugares, los esfuerzos han sido mayores que en el resto de la unidad, como es el caso de la parte noroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco, o bien cerca de fallas. El rumbo de la foliación de la formación es, en general al noreste; el sentido de su inclinación varía considerablemente debido a las estructuras que posee; sin embargo, puede considerarse no mayor de 30 grados. Se presentan también fracturas de todos tamaños; las menores podrían estar rellenas de calcita o de cuarzo y ser normales o paralelas a la foliación, mientras que las mayores tienen tres direcciones principales, siendo la tercera normal a las otras dos, que se interceptan en forma oblicua.

Las principales estructuras que se encuentran en la Formación Ayotusco son fracturas, fallas y pliegues. Las fracturas constituyen un sistema con dos juegos principales, uno con rumbo N 45 E y otro N 40 W. Existe un tercer

juego normal a los dos anteriores. Las fallas son normales e inversas de poco desplazamiento. En la parte noroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco pueden observarse pequeñas cabalgaduras en la pizarra. El rumbo general de las fallas es N-S; la inclinación de las fallas normales no suele ser mayor de 70° y en las inversas no excede los 30°. Los pliegues son pequeños y están a todo lo largo del cauce del arroyo. Los mejores afloramientos de los pliegues están en la parte noroccidental de la barranca del Arroyo de Ayotusco, formados en pizarras y metapsamitas cuarcíferas; son pliegues recostados hacia el norponiente, de tipo *chevron*, con la foliación paralela a los planos axiales.

El espesor de la Formación Ayotusco fue calculado, en base a la sección levantada a lo largo del Arroyo de Ayotusco (Figura 4), en más de 700 m; sin embargo, este espesor puede aumentar o disminuir según la intensidad de la deformación en el lugar, pues esta unidad está entre rocas metavolcánicas de mayor competencia (Esquisto Taxco y Rocaverde Taxco Viejo).

ROCAVERDE TAXCO VIEJO

Descripción general.- El nombre Rocaverde Taxco Viejo fue propuesto por Fries (1960, p. 35) para las rocas que afloran al oriente del poblado de Taxco Viejo. La Rocaverde Taxco Viejo está formada por una interestratificación de toba, brecha y menor cantidad de derrames lávicos, casi todos andesíticos. Según Fries, la Rocaverde Taxco Viejo descansa discordantemente sobre el Esquisto Taxco y en algunos sitios tiene un conglomerado basal formado por fragmentos de esquisto.

Esta formación se puede correlacionar con la rocaverde encontrada en el área de Zacualpan, donde la Rocaverde Taxco Viejo guarda una relación aparentemente discordante encima de la Formación Ayotusco debido a su expresión estratigráfica y estructural en el campo; le suprayacen formaciones sedimentarias marinas y continentales más recientes. En esta región consiste de tobas, lahares y derrames lávicos, principalmente de composición andesítica, teniendo huellas de un leve metamorfismo.

Relaciones de campo.- La Rocaverde Taxco Viejo está expuesta en grandes extensiones en la región de Zacualpan y es de color verde claro. Debido a la presencia principalmente de clorita, la roca intemperiza a amarillo, ocre, café oscuro, y en ocasiones negro. Cuando el intemperismo ha transformado esta unidad en regolita, el color que toma es rojo-naranja en diferentes tonos.

En el Arroyo de Ayotusco los afloramientos de la Rocaverde están muy espaciados; sin embargo, existe gran cantidad de fragmentos y bloques de esta roca a lo largo de su cauce, que han sido transportados por el arroyo en épocas de avenidas. Los mejores afloramientos de esta formación fueron observados en los cortes de los caminos que parten de Zacualpan rumbo a los diferentes poblados de los alrededores.

Petrografía.- En el área estudiada, la secuencia que se correlaciona con la Rocaverde Taxco Viejo es la siguiente:

a) En la base se presentan tobas de unos 30 m de espesor, de color verde oscuro cuando fresco, con pequeños granos de cuarzo alargados, contenidos en una matriz microscópica. La abundancia de clorita en esta roca resulta evidente y se presenta como cristales de forma alargada. Su

foliación es incipiente y está atravesada por numerosas vetillas de calcita y, en menor cantidad, por cuarzo.

b) Un intervalo de pizarra carbonosa de 20 m de espesor.

c) Un intervalo de toba, de composición ácida, de 150 m de espesor, con foliación incipiente y de color verde.

d) Un lahar de 50 m de espesor, formado por fragmentos de color crema, redondeados y alargados en el sentido de la foliación bien definida en la matriz de naturaleza arcillosa. Los fragmentos alargados son de variada composición, es decir, algunos tienen porfidoclastos de augita, otros porfidoclastos de olivino o simplemente porfidoclastos de plagioclasa. También se observan algunos fragmentos con una textura vesicular.

e) Derrames lávicos, de composición andesítica y basáltica de unos 200 m de espesor. La lava andesítica tiene porfidoclastos de augita de variado tamaño (de 1.0-10.0 mm); la lava basáltica tiene abundancia de porfidoclastos de olivino serpentizado (cuyo tamaño no excede los 5 mm). Las lavas son de color verde claro y poseen foliación incipiente.

Es importante señalar que cerca del contacto con la Formación Ayotusco en el cauce del Arroyo de Ayotusco, la parte basal de Rocaverde Taxco Viejo está formada por una toba, cubierta por un derrame de lava andesítica de augita, seguida por un lahar. Las relaciones son semejantes a las que se observan en el túnel de la mina El Regenerador, situado en la margen derecha del Arroyo de Ayotusco. En la mayoría de los sitios donde puede observarse el contacto entre ambas formaciones, la base de la rocaverde es tobácea.

El lahar está formado por fragmentos redondeados y alargados en el sentido de la foliación (Figuras 9 y 10). El tamaño de los fragmentos es diverso; los hay de escasos centímetros hasta de 1 m de espesor por 2 m de longitud. En ciertas partes del lahar hay homogeneidad en el tamaño de los fragmentos. La composición de los fragmentos es semejante a la del lahar descrito anteriormente. Se desconoce el espesor del intervalo formado por lahares; sin embargo, bien podría sobrepasar los 300 m y contener derrames lávicos e interstratos pelíticos.

En la parte suroccidental del Arroyo de Ayotusco, en las cercanías del contacto con la Formación Ayotusco, en un pequeño afluente está expuesta la Rocaverde Taxco Viejo. Esta roca de textura porfidoblástica consiste de una matriz de saurita y clorita criptocristalinas donde flotan pseudomorfos de calcita, clorita, cuarzo y pumpellyita que reemplaza a los minerales máficos. El origen de esta roca debió ser ígneo, probablemente dolerítico o gabroide.

A unos cuantos metros de la muestra anterior se encontró un metalahar andesítico-dacítico. Los clásticos están definidos por pseudomorfos, a partir de plagioclasas. Su relación textural es semejante a la muestra anterior con clorita, calcita y poco cuarzo. La matriz que rodea los clásticos es criptocristalina; en ella abundan clorita, sericita y saurita.

El lahar es el miembro más característico de la Rocaverde Taxco Viejo en el área estudiada. Este miembro contiene fragmentos de forma lenticular de color más claro que el resto de la roca en la que se encuentran incluidos (Figura 10). Estos xenoclastos son, en su mayoría, de composición andesítica; no obstante, hay también basálticos y pumíticos. La foliación del lahar está bien definida por la matriz en algunos lugares; en aquéllos en donde no es así, la orientación de los xenoclastos nos da la posición de la estra-

tificación. El tamaño de los xenoclastos es muy variado, desde unos centímetros hasta varios metros. Sin embargo, en algunos afloramientos (como en el camino que parte de la carretera a Zacualpan rumbo a la mina El Regenerador) el tamaño de los xenoclastos es muy homogéneo, sugiriendo

con ello la posibilidad de que este miembro de composición intermedia se depositara en un ambiente acuoso y posteriormente se formara durante el metamorfismo (Dr. F. Ortega-Gutiérrez, comunicación personal).



Figura 9.- Depósito de lahar en la Rocaverde Taxco Viejo, de composición andesítica. El afloramiento está en la parte inferior de esta formación, situado al oriente de la mina El Regenerador. Fotografía de V. Díaz-García.

En un afloramiento frente al poblado de Ayotusco, se encontró en la rocaverde una muestra de roca con textura filonítica. Los minerales más abundantes en ésta son la fengita, de grano muy fino, y el cuarzo en forma de porfiroblastos, siendo la plagioclasa y la clorita muy escasas. Esta roca presenta una foliación acentuada por la orientación de la fengita y el cuarzo. Su composición mineral y textura relicta permiten suponer que tiene un origen volcánico.

En la parte basal de la Rocaverde Taxco Viejo se encontró una metalava cuya textura más común es la porfiroclástica. Esta roca presenta una matriz clorítico-sausurítica con pseudomorfos a partir de plagioclasas, los cuales están completamente sausuritizados y sericitizados. Los pseudomorfos, a partir de augita, son numerosos también. El cuarzo está asociado a la calcita en un mosaico muy fino, estando ambos concentrados en forma de arcos lenticulares. Su origen es volcánico a partir de una andesita porfírica de augita. El nombre más común para esta roca es metandesita.

En las rocas lávicas de la rocaverde en el área de estudio se encontraron bandas de cristales de hornblenda café alineadas paralelamente; la longitud de cada cristal no excede los 5 cm. Estas bandas de hornblenda dentro de la unidad lávica sugieren la presencia de algún intrusivo en estas rocas.

Las rocas metavolcánicas expuestas en la región del

Arroyo de Ayotusco presentan una carbonatación muy notable. La abundancia de calcita (Fries, 1960) sugiere que la unidad pudo haber sido depositada en aguas marinas, aunque la descomposición de las plagioclasas y la propilitización pudieron, asimismo, originar la calcita.

Estructura.- La foliación que se observa en las diferentes rocas de esta formación es incipiente, a excepción de las tobas y de la matriz arcillosa del lahar, donde está mejor desarrollada. A través de toda la formación se observó un sistema bien definido de fracturas cuyos juegos tienen una orientación N 70° W y N 60° E, respectivamente. Existen innumerables vetas de cuarzo y calcita de todos tamaños en la formación, las cuales rellenan fracturas en cualquier posición; sin embargo, éstas se hacen más numerosas en el contacto con la Formación Ayotusco y pudieran haber resultado de un movimiento tectónico a lo largo de este contacto. Además, se encontraron evidencias de texturas cataclásticas de acuerdo a Spray (1969), en las rocas del contacto entre ambas formaciones.

La Rocaverde Taxco Viejo en el área estudiada tiene un espesor muy grande, tal vez mayor de 500 m.

METAMORFISMO

Los minerales de metamorfismo de las diferentes ro-

cas estudiadas en la región de Zacualpan corresponden a la facies de esquisto-verde y, localmente, quizás a la de prehnita-pumpellyita.

Las asociaciones de minerales de metamorfismo en las rocas metasedimentarias del área estudiada son estables en la subfacies de cuarzo-albita-muscovita-clorita (Turner, 1968), lo que significa una recrystalización de los minerales a baja temperatura (menor de 400°C) (Barth, 1962, p. 312).

Las pizarras tienen como mineral más abundante al cuarzo, seguido por la muscovita. Las metapsamitas están constituidas esencialmente por cuarzo, siendo sus minerales de metamorfismo más abundantes la mica blanca y la clorita. Las pizarras carbonosas tienen gran cantidad de material bituminoso, además del cuarzo y la muscovita. La plagioclasa encontrada en poca cantidad en las rocas metasedimentarias es detrítica.



Figura 10.- Detalle de la litología del depósito de lahar, mostrado en la Figura 8. Nótese la foliación incipiente, que está mejor desarrollada en la matriz que en los fragmentos, así como el alineamiento de los fragmentos y su aparente alargamiento, que son rasgos originales de depósito. Fotografía de V. Díaz-García.

En las rocas metavolcánicas las asociaciones de minerales de metamorfismo son estables, tanto en las facies zeolíticas como en la de esquisto verde. Lo anterior se puede suponer por la presencia de pumpellyita y fengita en la metalava andesítica, lo cual también puede implicar una transición de un grado de metamorfismo menor a uno mayor, ya que la estabilidad para las facies de pumpellyita-prehnita-cuarzo es una temperatura inferior de 300°C (Winkler, 1979). Los demás minerales metamórficos de la metalava y del metalahar estudiados son estables en la subfacies cuarzo-albita-muscovita-clorita. Los minerales constituyentes de la metalava andesítica son la plagioclasa y augita en forma de reliquias de porfiroclastos; la clorita y la sausruta, la calcita y el cuarzo están en la matriz principalmente, así como en los pseudomorfos de la plagioclasa y la augita.

La presencia de reliquias de minerales, tanto en las rocas metasedimentarias como en las metavolcánicas, demuestra que la recrystalización ha sido incompleta. Las texturas originales en las rocas metasedimentarias pueden distinguirse al microscopio, a excepción de aquellas rocas que se encuentran en las cercanías del contacto con unidades diferen-

tes cuyas texturas son cataclásticas.

En el área de Zacualpan el metamorfismo presente en las rocas es regional dinámico, producto de diversas deformaciones que se sucedieron, tal vez desde el Paleozoico hasta el Mesozoico. Debe considerarse también el metamorfismo en las rocas del área de estudio debido a la actividad hidrotermal, la cual se llevó a cabo posteriormente a la deformación. Esto se deduce por la presencia de cuarzo, calcita y clorita, además de sulfuros (de plata, plomo, fierro y zinc) alojados en vetas que actúan como relleno de fallas y fracturas de variado tamaño. Ambas estructuras son posteriores a la foliación y están presentes, tanto en la más antigua como en la más joven de las unidades metamórficas estudiadas.

No obstante que los esquistos verdes se consideraron como la unidad metamórfica basal del área de estudio y de sus alrededores, se contempla la posibilidad de que afloren rocas de distinto grado de metamorfismo y composición en otras áreas metamórficas circundantes, que puedan demostrar o no una posición estratigráfica subyacente de acuerdo a sus relaciones estructurales, ya que éstas también pueden

formar parte del complejo basal propuesto por Fries (1960), para el cual la roca verde, las pizarras y los esquistos son considerados en este estudio como la parte más superior de ese mismo complejo metamórfico.

EDAD DE LAS ROCAS METAMORFICAS

Las rocas más antiguas de la región del área estudiada fueron consideradas como pertenecientes al Esquisto Taxco. La edad del Esquisto Taxco fue considerada por Fries (1960) como del Paleozoico tardío, sin basarse en determinaciones radiométricas, sino en su grado de metamorfismo, correlacionándolo con grandes regiones del centro y sur del país, y en su posición respecto a la formación suprayacente de edad inferida. De Cserna y colaboradores (1974) consideraron al Esquisto Taxco como de edad precámbrica tardía, basándose en el concentrado de zircones autígenicos de una metatoba, los cuales por el método de plomo-alfa, dieron una edad de $1,020 \pm 100$ m.a. Sin embargo, los estudios geocronológicos que se llevan a cabo en la cuenca del Río Balsas tienden a indicar una historia metamórfico-térmica muy compleja para esta región, por lo cual aún no se pueden ofrecer conclusiones categóricas en cuanto a edades absolutas para alguna de las unidades metamórficas (Dr. R. L. Armstrong, comunicación personal). No obstante, en vista del reciente hallazgo de fósiles del Jurásico Superior-Cretácico Inferior en las cercanías de Ixtapan de la Sal (Campa *et al.*, 1974) en estratos metasedimentarios, según Campa y colaboradores, interestratificados con metavolcánicos, que sobreyacen discordantemente a la Rocaverde Taxco Viejo (Dr. Z. de Cserna, comunicación personal), por lo que puede deducirse que esta unidad litoestratigráfica tenga la edad inferida por Fries (1960), es decir triásica tardía o quizá jurásica temprana.

Por otra parte, la relación que guarda la Rocaverde Taxco Viejo con la Formación Ayotusco o con el Esquisto Taxco subyacentes, permite igualmente inferir que la Formación Ayotusco pudiera representar la parte superior del Paleozoico y, en ese caso, el Esquisto Taxco tendría que ser algo más antiguo, probablemente del Carbonífero.

AGRADECIMIENTOS

Se desea agradecer al Dr. Fernando Ortega G. y al Dr. Zoltan de Cserna, investigadores del Instituto de Geología, la supervisión y sugerencias que otorgaron durante el desarrollo de este trabajo. Al Ing. Juan Manuel Pérez-Ibar-

guiengoitia sus observaciones de campo y las facilidades para su realización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barth, T.E.W., 1962, *Theoretical petrology*: New York, Wiley and Sons, 416 p.
- Campa, M.F., Campos, Mario, Flores, Roberto, y Oviedo, Amador, 1974 (1975), La secuencia mesozoica volcánico-sedimentaria metamorfizada de Ixtapan de la Sal, Méx. Teloloapan, Gro.: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 35, p. 7-28.
- Cserna, Zoltan de, 1965, Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 62, 76 p.
- Cserna, Zoltan de, Fries, Carl, Jr., Rincón-Orta, César, Westley, Harold, Solorio-Munguía, José, y Schmitter-Villada, Eduardo, 1974 (1975), Edad precámbrica tardía del Esquisto Taxco, Estado de Guerrero: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 26, p. 183-193.
- Fries, Carl, Jr., 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 60, 236 p.
- Gutiérrez-González, Emilio, 1973, Estudio geológico-minero del distrito argentífero de Zacualpan, Edo. de México: México, D.F., Inst. Politéc. Nal., Esc. Sup. Ingeniería y Arquitectura, tesis profesional, 60 p., (inédita).
- Ortega y Larsen, Cristian, 1933, Generalidades sobre las zonas de Zacualpan y Tetipac, Guerrero: Revista Industrial (México), octubre, p. 491-502.
- Raisz, Erwin, 1959, *Landforms of Mexico*: Cambridge, Mass., mapa con texto, esc. 1: 3,000,000.
- Robles-Ramos, Ramiro, 1937, Generalidades sobre Zacualpan y paragénesis de la veta "La Esmeralda": Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 10, p. 26-60.
- Spray, A., 1969, *Metamorphic textures*: Oxford, Pergamon Press, 350 p.
- Turner, F.J., 1968, *Metamorphic petrology*: New York, McGraw-Hill, 403 p.
- Vecchio-Carranza, Michael del, 1978, Estudio petrográfico-metalogénico del área de Tlanilpa-Azulaques, Gro. México, D.F., Univ. Nal. Autón. México, Fac. Ingeniería, tesis profesional, 74 p., (inédita).
- Winkler, H.G.F., 1979, *Petrogenesis of metamorphic rocks*: New York, Springer, 348 p.