

Capítulo VIII

VIII. Rocas Volcánicas y Volcanosedimentarias

Estos grupos de rocas son, tal vez, los más importantes del país por su extensión y riqueza mineral. En la carta fueron separados en 21 unidades estratigráficas distribuidas en cinco del Cuaternario, nueve del Terciario, seis del Mesozoico y una del Paleozoico. De ellas, nueve son volcanosedimentarias (tres continentales y seis marinas) y las 12 restantes son de origen volcánico y ambiente continental.

Es importante señalar que la totalidad de las unidades mencionadas debe su origen, desde el Paleozoico hasta el presente, a la convergencia de las placas oceánicas del Pacífico contra la margen occidental del continente americano incluyendo, desde luego, a México, aunque en este caso algunos de los terrenos que las contienen fueron primeramente emplazados en otros sitios antes de su acreción tectónica al territorio nacional.

VIII.1. Fanerozoico Volcano Sedimentario Marino

Esta clase de rocas tiene un significado tectónico específico, ya que consiste en lo que antiguamente se denominaba secuencia "eugeosinclinal", que hoy corresponde a los depósitos típicos de arco insular y cuenca oceánica marginal. En la carta fueron separadas seis de estas unidades: cinco en el Mesozoico (Kivs, KJsvs, Jivs, Mvs y Mivs) y una en el Paleozoico (Psvs).

La primera (Kivs) está expuesta en la región occidental del Estado de Baja California, donde toma el nombre de Formación Alisitos, la cual es una secuencia de tabas, pórfidos, aglomerados y derrames de lava de composición andesítica dominante, así como lutitas, areniscas y calizas intercaladas, estas últimas con fósiles abundantes de edad del Aptiano-Albiano (Allison, 1955). En el Estado de Sinaloa existen rocas semejantes agrupadas bajo el nombre de Formación Vuelta del Cerro (Bonneau, 1969) y, por otra parte, las que forman el recientemente descubierto complejo ofiolítico de Bacurato (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1979; Servais *et al.*, 1982).

La unidad KJsvs es muy semejante a la anterior, pero abarca también al Jurásico Superior y comprende rocas deformadas, localmente metamorfoseadas, expuestas principalmente en los estados de Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y México, donde se les ha asignado el nombre genérico de Complejo Tierra Caliente (Ortega-Gutiérrez, 1981) (Figura 9) o terreno Guerrero (Campa y Caney, 1983). En Baja California, en las regiones de Vizcaíno e Isla de Cedros, la Formación Eugenia (Figura 10) tiene las mismas características que la anterior.



La unidad Mvs comprende algunos afloramientos, en el Estado de Sonora, de rocas volcánicas y sedimentarias marinas expuestas en las regiones de El Antimonio, Sierra de López, Sierra de Santa Ana, Quitovac y San Luisito.

Las unidades Mivs y Mvs comprenden secuencias que abarcan indistintamente a los sistemas Triásico (parte superior) y Jurásico (partes inferior y media) para el primer caso (Mivs), alcanzando probablemente hasta el Cretácico en el segundo (Mvs). Algunas regiones peculiares, registradas como unidad Mivs, están presentes en el Cinturón Orogénico Cedros-Margarita, donde se les ha asignado múltiples nombres litoestratigráficos, entre los que la Formación San Hipólito (Figura 10), del Triásico Superior-Jurásico Inferior, es un ejemplo típico. Su característica más importante es la de contener los mejores ejemplos mexicanos de complejos ofiolíticos de clara afinidad oceánica.



Figura 10.- Formación San Hipólito (Triásico Superior-Jurásico Inferior), sobre la que yace en discordancia angular la Formación Eugenia (Jurásico Superior-Cretácico Inferior). Provincia del Cinturón orogénico Cedros-Margarita, península de Vizcaíno. Baja California Sur (Fotografía proporcionada gentilmente por Víctor Manuel Dávila-Alcocer).

La unidad Mvs se empleó para registrar algunas regiones del centro y sur (Figura 11) de México, como Guanajuato y la región ístmica de! Estado de Chiapas, donde si bien existen efectos de metamorfismo en las rocas mesozoicas, éste tiende a ser local y limitado a las zonas de intenso cizalleo tectónico desarrollado en las múltiples cabalgaduras que separan a los paquetes tectonoestratigráficos, tanto del Cretácico como del Triásico o del Jurásico (Monod *et al.*, 1990; Carfantan, 1983).

La única formación volcanosedimentaria marina del Paleozoico definitivamente identificada en México, a la que se asignó el símbolo Psvs, fue estudiada y fechada recientemente en la región de Juchatengo. Estado de Oaxaca (Grajales-Nishimura, 1988). Esta secuencia está ligeramente metamorfoseada; comprende, esencialmente, grauvacas, pizarras, brechas y rocas verdes presentes como diques y derrames de lava almohadillados; está cortada por rocas granítico-dioríticas de edad isotópica K-Ar del Pensilvánico-Triásico (289 a 219 Ma), con un promedio de 252 Ma (Pérmico Tardío). Su posición entre los terrenos Mixteco, Zapoteco y Chatino, del sur de México, convierte a estas rocas en una pieza importante para la reconstrucción continental de la parte centrooccidental de pangea durante el Triásico.



Figura 11.. Basaltos almohadillados de la secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Inferior. Provincia Cuicateca, área de Tehuacán, Puebla (Fotografía tomada por Fernando Orlega.Gutiérrez).

VIII.2. Mesozoico Volcánico

La única unidad de origen netamente volcánico del Mesozoico (Jvc) corresponde a una formación andesítica continental (Andesita Pueblo Viejo), que subyace a la Formación Todos Santos, del Jurásico Medio y Superior, en las regiones de Pueblo Viejo-Cintalapa y la Zacatera, estados de Chiapas y Oaxaca, respectivamente. Su espesor aproximado es de unos 100 m. Ha sido fechada, por métodos radiométricos, en diversos sitios dispersos en el Batolito de Chiapas (no separados en la carta) con edades de 140 a 160 Ma (Castro-Mora *et al.*, 1975). Esta formación, a su vez, reposa discordantemente sobre las rocas graníticas del Pérmico-Triásico (?) del Batolito de Chiapas. Por lo anterior, la edad asignada a la andesita fue simplemente del Jurásico.

Otra localidad con rocas volcánicas continentales de edad jurásica se ha descrito (McKee *et al.*, 1990) en la Sierra del Diablo, en el límite entre los estados de Chihuahua y Coahuila. La secuencia reposa discordante mente bajo calizas cretácicas de la Formación Aurora (?) y consiste en tabas ignimbríticas fechadas por Petróleos Mexicanos (in McKee *et al.*, 1990) como del Jurásico Inferior.



Figura 12.- Xenolito de Iherzolita en basanita del Cuaternario. Provincia Zacatecana, volcán La Breña. Durango (Fotografía tomada por Fernando Ortega-Gutiérrez).

VIII.3. Cenozoico Volcánico y Volcano Sedimentario Continental

La estrechez continental relativa de México, su interacción convergente con las placas del Pacífico establecidas durante el Cenozoico (Farallón, Cocos y Rivera), los ángulos de subducción y las velocidades variables de las placas mencionadas ocasionaron que México modificara su estructura y composición litosférica de manera compleja durante el Cenozoico. Así surgieron las grandes provincias volcánicas de la Faja Volcánica Transmexicana, la Faja Ignimbrítica Mexicana (Sierra Madre Occidental), la Faja Volcánica de La Giganta, así como una gran cantidad de secuencias volcánicas y volcanosedimentarias depositadas en cuencas tensionales y transtensionales asociadas con la formación del Golfo de California y la migración hacia el sur del fracturamiento basin and range. Esta complejidad volcánica, para ser resaltada en la carta, requirió del uso de 14 unidades estratigráficas: cinco de edad cuaternaria (Oba, Ot, Ob, Ofb y OTpv) y nueve del Terciario (Nfb, Nv, Tmvsc, Tot, Tv, Pgvsc, Pgv, Tvsc y PgKsv), tres de las cuajes son de carácter volcanosedimentario. Estas secuencias, por la escasez o ausencia total de fósiles y estudios detallados de su estratigrafía, tienen edades en general determinadas con poca precisión, a pesar de las numerosas edades isotópicas obtenidas en los últimos años; fue por ello que se tuvo que usar en la carta unidades de amplio alcance cronostratigráfico, tales como Terciario, Neógeno y Paleógeno.

VIII.3.a. Unidades Volcanosedimentarias

Las tres unidades volcanosedimentarias cenozoicas que fueron diferenciadas en la carta pertenecen todas al Terciario; están distribuidas, principalmente, en los sectores geográficos del NW y S de México. La composición petrográfica de las rocas volcánicas abarca la serie calcialcalina de basalto a riolita, mientras que sus componentes sedimentarios son generalmente de arenisca y conglomerado con intervalos lacustres localmente abundantes. Ejemplos típicos de estas secuencias son la Formación Balsas, del sector del sur de México (Pgvsc); la Formación Báucarit, en el Estado de Sonora; y la Formación Comondú, en Baja California Sur (Tmvsc), del sector del NW.

VIII.3.B. Unidades Volcánicas

Las unidades volcánicas del Cenozoico diferenciadas en la carta son las 11 mencionadas por sus símbolos anteriormente. Todas ellas son de origen continental y comprenden algunas de las unidades estratigráficas de México más ampliamente distribuidas, como son las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (Tal) y las secuencias pliocénico-cuaternarias de la Faja Volcánica Transmexicana (QTpv).

Las unidades volcánicas exclusivas del Cuaternario continental de México (Qba, Qb, Qfb Y Of) comprenden genéticamente a un grupo muy peculiar de la geología mexicana, pues abarcan centros volcánicos íntimamente ligados con sistemas tensionales en el interior de la placa continental y su composición es alcalina o toleítica y de carácter basáltico y/o félsico. Los centros basálticos alcalinos más importantes de México (Oba) se localizan en las regiones de San Quintín, Baja California; El Pinacate, Sonora; Moctezuma, Sonora; y Los Tuxtlas, en el Estado de Veracruz, mientras que los de composición félsica (Or) están en la región de La Primavera, Jalisco, y Calpulalpan, Estado de Tlaxcala. En la región centroseptentrional de México fue registrado un gran número de los abundantes, aunque pequeños, centros eruptivos conocidos como maeres o xalapascos, caracterizados por su contenido frecuente de xenolitos, tanto del manto (Figura 12) como de la corteza inferior subyacentes. Con frecuencia, campos extensos de basalto basanítico están asociados a ellos. Otros centros volcánicos del Cuaternario continental o insular de México (Qfb) tienen una composición bimodal basáltico-félsica, como en las regiones de la caldera de Los Humeros, Estado de Puebla; La Reforma, Estado de Baja California Sur; e Isla Socorro, en el Archipiélago de las Islas Revillagigedo, Estado de Colima. La unidad Ob se utilizó para distinguir al único volcán de basalto toleítico de carácter oceánico y edad cuaternaria expuesto en el territorio nacional, que forma la Isla Tortuga, en el Golfo de California (Batiza, 1978).

Indiscutiblemente, la unidad predominantemente volcánica más importante de México es la que está ubicada en la provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana. En consideración a que no parece existir discontinuidad significativa alguna en la edad del volcanismo entre el Cuaternario y el Plioceno de dicha provincia, fue que se escogió el símbolo QTpv (Cuaternario-Terciario Plioceno volcánico). Asimismo, con el propósito de no obscurecer el carácter eminentemente volcánico de esta unidad, se omitió, de manera deliberada, su clasificación, quizá más precisa, como volcanosedimentaria, pues es claro que los procesos sedimentarios, a ella asociados, fueron desarrollados simultáneamente en

sus cuencas, tanto fluviales como lacustres, muchas veces como consecuencia del propio volcanismo, generando así interdigitaciones complejas que fue imposible separar a la escala de la carta.

La nomenclatura estratigráfica, tanto formal como informal, correspondiente a la unidad QTpv es abundante pero caótica, razón por la cual no se puede entrar en un análisis de ella; sin embargo, a manera de ejemplo típico, se puede mencionar al Grupo Chichinautzin (Fries, 1960), que es probablemente el que caracteriza mejor esa unidad, que fue seleccionada para resaltar en la carta esta provincia geológica tan importante, ya que la Faja Volcánica Transmexicana sirve de base a los centros urbanos y económicos más importantes del país y, por su carácter tectónica y volcánicamente activo (Figura 13), representa para la sociedad riesgos que se debe estudiar para poder prevenirlos.



Figura 13.- El Volcán de Colima durante su actividad de 1976. Provincia de la Faja Volcánica iransmexicana (Fotografía tomada por Fernando Ortega-Gutiérrez).

Otro grupo de unidades volcánicas relativamente jóvenes que fueron distinguidas en la carta, está constituido por las que llevan los símbolos Nb, Nfb Y Nv, empleados para caracterizar unidades volcánicas poco estudiadas del Neógeno, cuyo carácter petrográfico comprende, respectivamente, al unimodal basáltico-andesítico, al bimodal basáltico-fé!sico y al calcialcalino. Su distribución es muy amplia en los sectores del NW, NE y centro. La unidad Nb abarca regiones importantes de los estados de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Baja California Sur y Sonora. La unidad Nv está localizada en las Islas Marías y algunas zonas costeras del N E del país. La unidad Nfb está expuesta básicamente en el Estado de Sonora.

Las unidades volcánicas anteriores al Neógeno comprenden cuatro grupos, incluido uno cuyo depósito ocurrió tanto en la parte superior del Cretácico como en el Paleógeno (PgKsv). Entre ellas, sin duda alguna, la secuencia volcánica más extensa y espectacular de México comprende a las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (Figura 14). La notación usada para esas rocas (Tof- Terciario Oligoceno télsico) excluyó deliberadamente al Mioceno y al Eoceno, no obstante que existen unidades fechadas de esas edades en la secuencia, en particular miocénicas, en la región meridional de la Sierra Madre Occidental, estados de Nayarit y Jalisco. Tal decisión se tomó para destacar el hecho de que la inmensa mayoría de los volúmenes ignimbríticos de esta provincia volcánica mexicana fue emitida en el corto intervalo de unos cuatro millones de años (32 a 28 Ma), alcanzando una suma cercana a los 400,000 km³, distribuidos en un espacio de 1,600 km de longitud, 250 km de anchura promedio y un espesor de entre 1,000 Y 2,000 m, Este fenómeno volcánico, por su composición y magnitud, no tiene paralelo en ninguna otra parte de la Tierra, ni en las regiones exploradas de los otros planetas del Sistema Solar, Es probable que las rocas más jóvenes de la región de Jalisco-Nayarit sean el producto de un evento geológico independiente relacionado con la apertura del Protogolfo de California y no con la colisión y consumo de la placa Farallón bajo el continente americano, que se señala como la causa principal de la génesis de esta unidad volcánica, la más extensa de México.



Figura 14.- Derrames piroclásticos de la Sierra Madre Occidental. Provincia de la Faja Ignimbrítica Mexicana, región al oriente de Culiacán, Sinaloa (Fotografía tomada por Jaime Roldán-Quintana).

En fechas recientes, las ignimbritas expuestas en la región centromeridional del Estado de Jalisco, consideradas generalmente como continuación de las unidades volcánicas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental, fueron fechadas (Lange y Carmichael, 1991)

del Cretácico Tardío; sin embargo, se optó por sostener su denominación Tot en esta edición de la carta, pero previendo su cambio a/ sistema Cretácico en ediciones posteriores, si dicha edad se confirmase.

A la última secuencia volcánica de edad terciaria reconocida en la carta se dio el símbolo IV para distinguir ciertas formaciones cuya edad precisa no se conoce y que afloran en varios sectores del territorio nacional. Algunas de estas secuencias afloran abundantemente en el Estado de Sonora, incluyendo la Isla Tiburón, y comprenden, además, las formaciones volcánicas de la región de Mil Cumbres y valle del río Cutzamala, a las que, aunque con escasas o nulas edades absolutas (14-18 Ma), se encuentra casi siempre discordantes bajo secuencias volcánicas y volcanosedimentarias anteriores al Plioceno.

La unidad Pgksv incluye, en particular, derrames de lava y material piroclástico de composición predominantemente andesítica con variación hasta riolítica, que discordantemente reposan bajo las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental a lo largo de casi toda su extensión, aflorando también, en forma aislada, en varias zonas del sector del NW. Esta unidad sufre la intrusión de rocas graníticas del Terciario inferior o medio. De manera consistente, las edades isotópicas de esta unidad son laramídicas, es decir, de 80 a 40 Ma. La unidad, en general, es el equivalente extrusivo de la Pksgr (Paleógeno-Cretácico Superior granítico), que comprende rocas graníticas ampliamente distribuidas en los estados de Sonora y Sinaloa. De hecho, la íntima relación cronológica y geográfica de la unidad extrusiva y su equivalente intrusivo se refleja en el carácter frecuentemente metamórfico por contacto y la intensa alteración hidrotermal y mineralización que presenta la unidad volcánica, lo que implica, en algunos casos, relaciones intrusivas entre ambas. El carácter volcánico asignado a la unidad Pgksv no excluye la presencia de sedimentos clásticos intercalados, tanto de origen continental como probablemente marino, en algunos sitios. Como ejemplo litoestratigráfico característico de este grupo de rocas se puede mencionar a la Formación San Blas, en el Estado de Sinaloa (de Cserna y Kent, 1961), y secuencias equivalentes reportadas en ese estado por Rodríguez-Torres y Córdoba (1978, p. 54-60). Su espesor es considerable, variando de 300 a un máximo de 2,000 m. Este grupo de rocas volcánicas mexicanas es muy importante por contener varios yacimientos importantes de metales preciosos y base, generalmente en forma de vetas asociadas con actividad hidrotermal.