

PROPUESTA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA PARA LA CUENCA DE MÉXICO

Salvador Enciso-De la Vega*

RESUMEN

En su constitución geológica, la cuenca de México comprende una amplia variedad de rocas, del Mioceno al Cuaternario, de origen volcánico, volcanoclástico y clástico, como derrames de lava, toba, ceniza volcánica, lahar, lapilli, y depósitos lacustres, aluviales y piroclásticos. En general, la composición de estos materiales es principalmente basáltica, andesítico-basáltica, andesítica, dacítica y traquiandesítica.

Las circunstancias anteriores, además de las complicaciones tectónicas y diacrónicas, no han permitido establecer apropiadamente la columna estratigráfica con la formalidad requerida para la cuenca. Actualmente, se utiliza a más de treinta unidades formales e informales, locales o regionales, algunas de uso restringido o indiscriminado como la Formación Becerra. Ocasionalmente, las mismas rocas reciben diferente denominación según el autor que las describa. Estos factores, lejos de uniformar la terminología estratigráfica de la cuenca, han creado confusión.

El propósito del presente estudio consiste en establecer las primeras bases para facilitar que las futuras cartografías geológicas de esta área puedan ser referidas y ensambladas cronoestratigráfica y diacrónicamente.

Con base en el Código Estratigráfico Norteamericano, se propone formalmente cambiar el rango del Grupo Pachuca al de Supergrupo Pachuca. Asimismo, se propone como nuevas unidades estratigráficas a los Grupos Anáhuac, Taranguense y Popocatépetl, así como al Alogrupo Tenochtitlan.

Palabras clave: estratigrafía, cuenca de México.

ABSTRACT

The Cenozoic stratigraphic record of the Basin of Mexico consists of a wide variety of rock types, ranging in age from Miocene to Quaternary. Most of them are volcanic, volcanoclastic and clastic rocks, such as lava flows, tuff, volcanic ash, lahar, lapilli deposits, lacustrine sediments, alluvium and pyroclastic rocks. The composition of these materials is mainly basaltic, andesitic, basaltic-andesitic, dacitic and trachandesitic.

Tectonic and diachronous complications have not permitted to establish properly the formal stratigraphic section for the basin. At the present time more than 30 formal and informal local or regional units are known and used in restricted or indiscriminate sense, such as the Becerra Formation. Occasionally the same unit has received a different name according to the author's criteria. This situation, instead of allowing a uniform stratigraphic terminology, has led to greater confusion.

The purpose of the present article is a proposal to establish the main stratigraphic procedures for future denominations and references of specific units for future geologic cartography of this area.

According to the North American Stratigraphic Code, it is formally proposed a range change of the Pachuca Group to Pachuca Supergroup. In addition, the following stratigraphic units are introduced: Anáhuac, Taranguense and Popocatépetl Groups, and Tenochtitlan Allogroup.

Key words: stratigraphy, Basin of Mexico.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de la Ciudad de México se han agudizado en los últimos años: sismos, contaminación, escasez de agua, además de los ya conocidos como el hundimiento del subsuelo, las antiguas zonas minadas y el crecimiento demográfico. Aunque después de los sismos de 1985 se ha establecido los estudios geotécnicos, éstos han sido en investigaciones geofísicas hidrológicas y tectónicas. Sin embargo, la cartografía geológica detallada que requiere el área de la cuenca de México no ha sido realizada.

Las complicaciones geológico-estructurales de la cuenca están ubicadas y relacionadas dentro de la zona de influencia de los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl, poco estudiados hasta el presente. Por otra parte, también es evidente la falta de una

nomenclatura estratigráfica adecuada, propia y concordante con la de los lugares adyacentes mejor estudiados geológicamente: las áreas de Pachuca, en el Estado de Hidalgo, y Cuernavaca, en el de Morelos (Fries, 1960, 1962, 1966).

Aun cuando los esfuerzos realizados posteriormente a 1985 han aportado nuevos conocimientos, éstos no han sido suficientes. Todavía son elaborados mapas geológicos diferentes para las mismas áreas, los cuales ocasionan cierta confusión, especialmente cuando son utilizados para construcción de obras civiles. Los paleontólogos de invertebrados encuentran dificultad para ubicar estratigráficamente sus hallazgos. También es cierto que una gran parte de la información geológica obtenida de las obras civiles del Metro de la ciudad y del drenaje profundo no ha sido difundida e interpretada cronológicamente. Dado que el crecimiento urbano de la ciudad continúa, es necesario extraer la información geológica de zanjas, excavaciones y sondeos antes de que estas áreas queden cubiertas por asfalto. En el futuro, el

*Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 D.F.

área urbana de la Ciudad de México afrontará problemas más agudos de contaminación de acuíferos, hundimiento y agrietamiento. A corto plazo, la ciudad deberá contar con áreas propias para la acumulación de desechos y la regeneración de aguas negras.

El objetivo principal del estudio presente es proponer una nomenclatura estratigráfica nueva para la cuenca de México, basada en los eventos geológicos que han ocurrido en esta región en apego a las recomendaciones del Código Estratigráfico Norteamericano y siguiendo las reglas del sentido común de usos y costumbres. Con la nomenclatura aquí propuesta, será más fácil ubicar, nombrar, definir y ensamblar las diferentes unidades litoestratigráficas, cronoestratigráficas, aloestratigráficas y diacrónicas que conforman la cuenca de México.

ESTUDIOS PREVIOS

En general, la bibliografía de la cuenca de México es numerosa. Además de la histórica, abarca una amplia temática en el área de antropología y arqueología. En contraste, la bibliografía geológica y estratigráfica hasta la fecha es menos extensa. Cronológicamente, la literatura relacionada con la cuenca ha sido publicada en tres etapas: la primera durante la época prehispánica, en varios de los códices indígenas; la segunda durante la época colonial; y la tercera en el México independiente. Algunos de los problemas hidrológicos de la época precolonial fueron relatados en el Códice Mendocino, y también Francisco Javier Clavijero compiló datos de las inundaciones del Valle de México, sucedidas antes y durante la Colonia (Álvarez, 1978, t. 2-7). Parece ser que una de las primeras exploraciones "geológicas", en 1548, fue la de Diego de Ordaz, soldado de Cortés que exploró el Popocatepetl en busca de azufre (Álvarez, 1978).

Históricamente, es bien conocido el hecho de que Humboldt (1808), en 1803-1804, visitó la Ciudad de México y sus alrededores, incluyendo Nochistongo. También Duport (1843), de su viaje a México, hizo una descripción geológica regional breve del Valle de México. Del Castillo (1879) refirió algunos datos geológicos y paleontológicos de la cuenca de México. Es muy probable que el primer mapa geológico-petrográfico de la cuenca haya sido el preparado por del Castillo y Ordóñez (1893). Ordóñez (1895) estudió las rocas volcánicas del sudoeste de la cuenca. Importantes temas hidrológicos y descripciones geográficas y de las obras hidráulicas del desagüe de la cuenca de México fueron referidos por Marín y Zamacona (1937), estudio que abunda en información técnica poco difundida.

En los tiempos modernos, se tiene el croquis geológico-petrográfico hecho por De la O-Carreño (1954). La actividad volcánica del Popocatepetl fue estudiada por Cantagrel y colaboradores (1984). Negendank (1972) estudió la petrografía de las rocas volcánicas de la cuenca de México. Geomorfológicamente, las partes meridional y occidental de la cuenca fueron estudiadas por Lugo-Hubp (1984) y Galindo y Morales (1987), quienes aportaron nuevos e interesantes datos fisiográficos y urbanos. Recientemente, apareció el volumen 28 de Geofísica Internacional, que contiene en su totalidad trabajos de geología, geofísica y geohidrología realizados en la cuenca de México. El estudio geológico mejor documentado es el de de Cserna y colaboradores (1987), que junto con el de Schlaepfer (1968) son fuentes obligadas de información geológico-estratigráfica de la cuenca, incluyendo también las aportaciones de Mooser (1956a, 1956b, 1956c, 1961, 1967, 1968, 1972, 1975, 1988); Mooser, Nairn y Negendank (1974); y Mooser y colaboradores (1986).

Ha sido un desacierto que las investigaciones geológicas relacionadas con la cuenca no hagan referencia a autores como Duport (1843), quien hizo una de las primeras descripciones de algunas rocas clásticas del Valle de México. También han sido ignorados Aguilera y Ordóñez (1895), que en su expedición científica al Popocatepetl reconocieron y estudiaron petrográficamente tres períodos de diferenciación magmática a los que denominaron "lávico, brechógeno y cinerógeno". De la misma forma ha sido omitido García-Cubas (1906), no obstante que definió en detalle los límites geográficos del Valle de México y el Distrito Federal. Díaz-Lozano (1917) ha sido ignorado en sus investigaciones sobre diatomeas fósiles del subsuelo del lago de Texcoco y del cerro de Saltepec en sedimentos postpliocénicos (?). En otras publicaciones, Díaz-Lozano consignó la presencia de ostrácodos y oolitas en sedimentos lacustres del Valle de México. Poco conocido es el estudio de Salazar-Salinas (1922) que incluye en su estudio un perfil geológico entre la Ciudad de México y las grutas de Cacahuamilpa, preparado por Teodoro Flores. Un estudio que se ha omitido generalmente es el de Sánchez (1935), que trata sobre la geografía del Eje Neovolcánico. En las publicaciones más difundidas sobre la estratigrafía de la cuenca no se incluye los estudios de Arellano (1946, 1948, 1951, 1953) que menciona la correlación de la Formación Becerra en lugares tan distantes del Valle de México como Oaxaca. Otra investigación escasamente referida es la de De la O-Carreño (1954). La bibliografía compilada por Ojeda-Rivera (1986) contiene importantes citas referentes a los volcanes que bordean la región de la cuenca de México. Parece ser que hasta la fecha, la bibliografía de la cuenca de México de Manzanilla (1987) es la mejor fuente documental.

MARCO GEOGRÁFICO

En el presente estudio se considera a la cuenca de México (Figura 1) como una estructura geomorfológica de origen tectónico, originalmente cerrada (endorreica) pero artificialmente abierta por el tajo de Nochistongo y las obras civiles del desagüe profundo de la Ciudad de México. Fisiográficamente, consta de dos elementos geomórficos principales: (a) las partes altas, cerros, laderas y lomeríos que bordean el Valle de México y (b) las partes planas o de poca inclinación que morfológicamente corresponden a un valle o altiplanicie, el cual consta de varias depresiones lacustres en proceso de desecación y pequeñas elevaciones topográficas aisladas, como los cerros del Peñón y de Chapultepec. La mayor parte del valle así como algunas laderas y cerros son ahora zonas urbanizadas. Hidrológicamente, se ha reconocido hasta once subcuencas (De la O-Carreño, 1954; Rodríguez y Ochoa, 1989): Xochimilco, Cuautitlán, Texcoco, Techac, Churubusco, Pachuca, Chalco, Tecomulco, Ciudad de México, Teotihuacán y Apan. Desde la época de la Colonia, varios autores han contribuido a la descripción geográfica y geomorfológica del Valle de México, citados en su mayor parte por Lugo-Hubp (1984).

Probablemente, entre las mejores descripciones geográficas de los límites del Valle de México se puede contar a las de García-Cubas (1906) y De la O-Carreño (1954), lamentablemente omitidas en la literatura geológica reciente. En general, la cuenca de México está limitada al sur por el campo volcánico Chichinautzin y la sierra del Ajusco, al sudoccidente y occidente por las estribaciones de la sierra de Las Cruces. El límite al norte lo forman las sierras de Pachuca y Tepetzotlán y los cerros de Xalpa y Sincoque. Por el oriente delimitan la cuenca de México las estribaciones de la Sierra Nevada, de la que forman parte los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. Fisiográficamente, De la

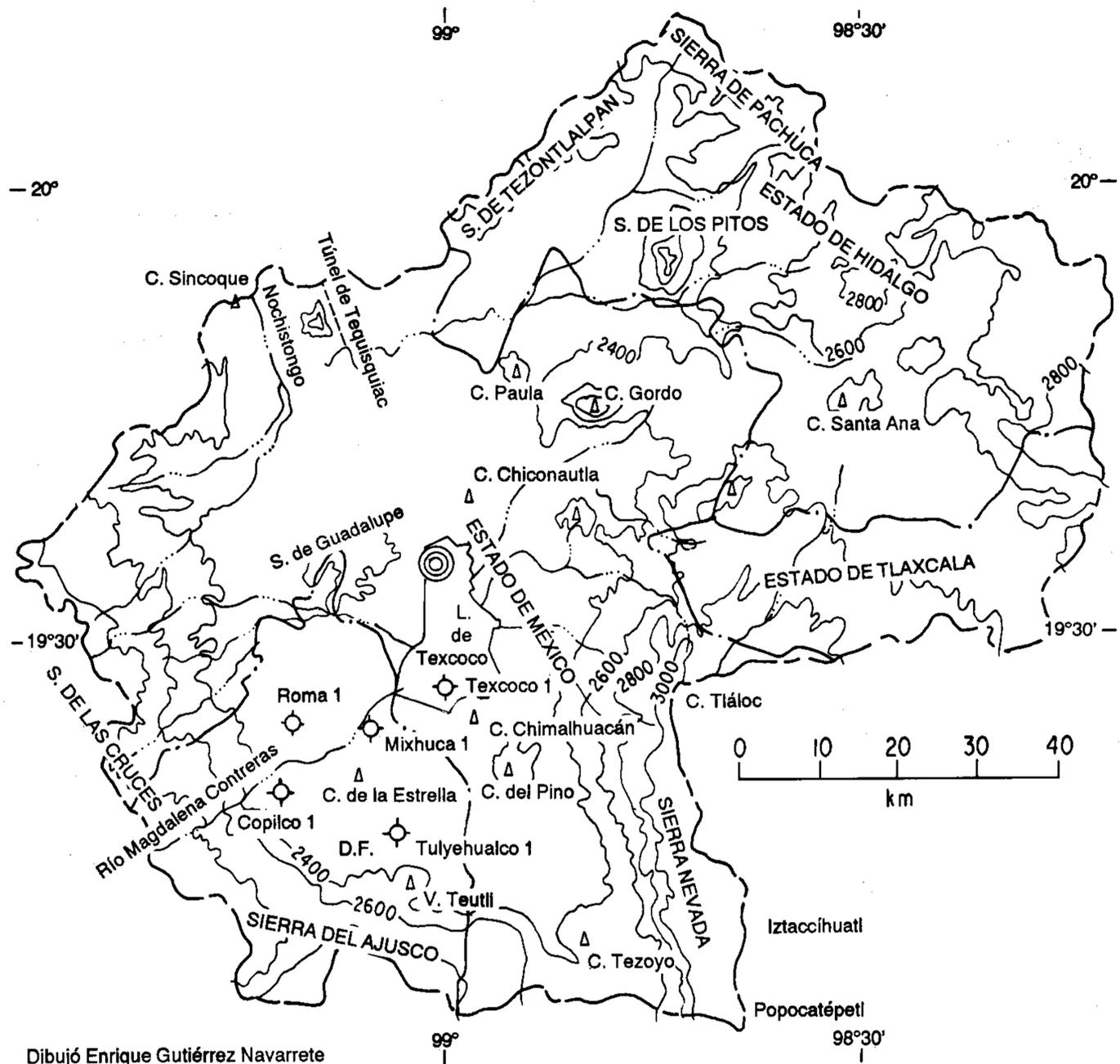


Figura 1.- Mapa fisiográfico del área de estudio en el que se indica los límites de la cuenca de México.

O-Carreño (1954) definió las subprovincias de Apan, Pachuca, Zumpango, Texcoco y Xochimilco-Chalco.

MARCO ESTRATIGRÁFICO

Regionalmente, la cuenca de México pertenece a la provincia geomórfica que Humboldt llamó Eje Volcánico y al que, posteriormente, en la literatura geológica diferentes autores han denominado de diversas maneras, con términos que en esencia significan lo mismo: Zona Eruptiva (Ordóñez, 1895), Sistema Orográfico Tarasco-Nahua (Mondragón *in* Galindo y Morales, 1930), Eje Volcánico (Sánchez, 1935), Sierra de los Volcanes (Garfias y Chapin, 1949), Faja Volcánica Transmexicana (Mooser y Maldonado-Koerdell, 1967), Cinturón Volcánico Mexicano (Mooser, 1968), Plateau Neovolcánico (Raisz, 1969), Eje Neovolcánico (López-Ramos, 1979), Eje Neovolcánico Transmexicano (Demant, 1978), Arco Volcánico Transmexicano (Damon *et al.*, 1981). Se conoce, también, otras designaciones como: Sistema Volcánico Transversal, Provincia Neovolcánica Mexicana y Zona Neovolcánica Transmexicana. Geológicamente, la cuenca en sus partes topográficamente altas está conformada por una amplia variedad de rocas volcánicas y de emplazamientos lávicos de tipo fisural. En sus partes bajas y planicie, está constituida principalmente por depósitos clásticos, volcanoclásticos y lacustres. Conviene mencionar que la historia geológica del dominio de la

cuenca comprende eventos tectónicos, emplazamientos lávicos y actividad volcánica que probablemente se iniciaron con el depósito de molasas continentales durante el Paleoceno-Eoceno. Se ha reconocido actividad volcánica del Oligoceno al Mioceno temprano, así como depositación de piroclásticos y derrames lávicos del Mioceno medio-tardío al Plioceno-Cuaternario (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Los principales eventos pliocénico-cuaternarios comprenden volcanes prominentes y sus productos; los eventos cuaternarios incluyen, principalmente, depósitos lacustres y actividad volcánica de composición andesítico-basáltica, así como la actividad neotectónica del presente. Las rocas más antiguas que se ha reconocido en la cuenca yacen sepultadas a más de 2,000 m de profundidad y han sido consideradas como del Albiano-Cenomaniano (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Se sabe de la existencia de rocas anteriores al Mesozoico que afloran geográficamente fuera y que podrían tener influencia en los eventos tectónicos de la región. Estas rocas han sido descritas al norte y sur de la cuenca por Fries (1962, 1966).

A la fecha, se tiene todavía poca información geológica del sector occidental de la cuenca, incluyendo el valle de Toluca, así como de la parte oriental que forman el valle de Tlaxcala y los complejos volcánicos de estas sierras, incluyendo los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl (Nixon, 1982, 1989). La Figura 2 representa un bloque diagramático que muestra parte de los

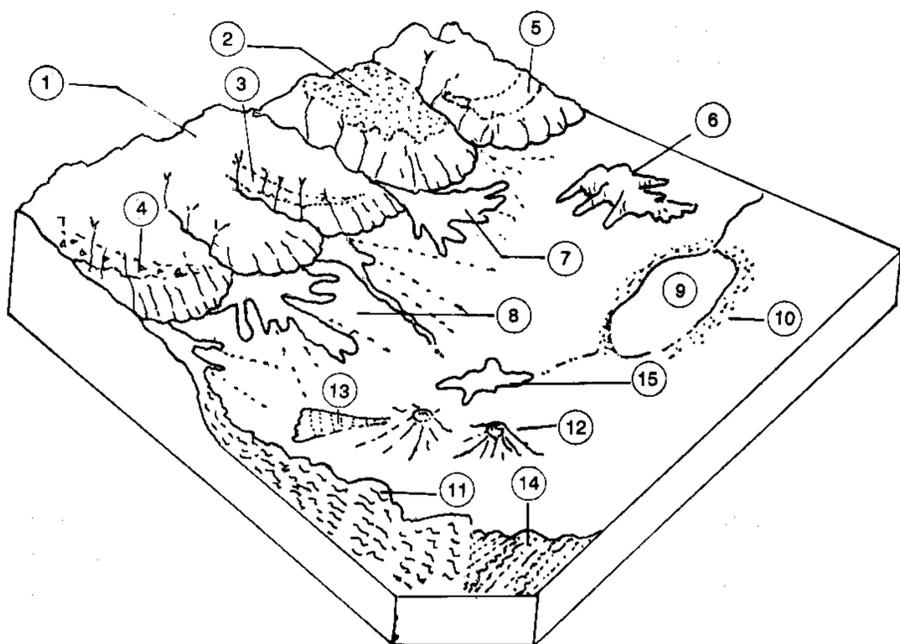


Figura 2.- Bloque diagramático hipotético que muestra los tipos litológicos principales y sus relaciones fisiográficas desde una vista hacia el noroeste. 1, sierras y lomas accidentales; 2, toba pumítica y lapilli; 3, derrames de lava principalmente andesíticos; 4, brecha y aglomerado volcánico; 5, lahar y derrames de ceniza; 6, remanentes de derrames de lava miocénicos; 7, flujos de lodo; 8, abanicos aluviales coalescentes; 9, depósitos lacustres; 10, depósitos de playa; 11, derrames de lava basálticos; 12, conos piroclásticos; 13, derrames de lava basáltica con estructura cordada y túmulos; 14, lavas dacíticas y material piroclástico y clástico; 15, depósitos palustres: turba-diatomita.

principales procesos geológicos que han afectado a la cuenca, así como la complejidad de las rocas que la componen; en esta figura se ilustra hipotéticamente los eventos que han sido reconocidos en la cuenca. En general, en la cuenca de México, las descripciones litológicas que se conoce comprenden una amplia variedad de productos volcánicos, como aglomerados, derrames, lahares, *surges*, lapillis, brechas, ceniza volcánica, etc. La composición de estos materiales varía de riolítica, dacítica, andesítica, basáltica a combinaciones de estas familias de rocas. En el Valle de México, han sido descritas sucesiones monótonas de arcillas, limos y horizontes arenosos en paquetes de más de 1,000 m de espesor. Se sabe también de la existencia de horizontes de diatomita, turba y caliche asociados a depósitos lacustres. Aparentemente, la zona menos complicada litológicamente corresponde a la porción meridional de la cuenca formada por el campo volcánico-basáltico de la sierra de Chichinautzin. Tal vez, uno de los primeros intentos serios de establecer una secuencia estratigráfica formal para el Cuaternario o "Pleistoceno Extendido" haya sido Arellano (1953), quien separó unas seis unidades en su tabla estratigráfica. Por otra parte, con base en datos de varios autores, Ángel Silva-Bárceñas y Ernesto López-Ramos (*in* López-Ramos, 1979, tabla 4-17, p. 382) elaboraron una división estratigráfica del Cuaternario que comprende ocho unidades. Por su parte, De la O-Carreño (1954), en su croquis geológico de la cuenca de México (escala 1:184,210), incluye trece unidades y en una de ellas agrupa tobas y suelos. La cartografía de ese autor está basada principalmente en informes petrográficos que describen rocas extrusivas desde riolita hasta basalto. Otro intento de separar estratigráficamente las rocas de la cuenca fue llevado a cabo por Schlaepfer (1968), quien en su tabla de correlación incluyó quince unidades y dieciséis en su mapa geológico, considerando en las secciones a las Formaciones Cuautla y Mexcala. Esta autora presentó también un cuadro estratigráfico del Cuaternario que contiene cinco unidades litológicas que no fueron cartografiadas. Más recientemente, de Cserna y colaboradores (1987) condensaron la más importante información estratigráfica

de la cuenca de México. Estos autores, en su mapa geológico-tectónico, abarcan de norte a sur desde Pachuca, en el Estado de Hidalgo, hasta los alrededores de Cuautla, en el Estado de Morelos; cartografiaron ocho unidades separadas en cinco categorías: (a) depósitos mesozoicos; (b) depósitos clásticos continentales del Terciario; (c) rocas volcánicas terciarias; (d) depósitos pliocénico-cuaternarios; y (e) depósitos cuaternarios. Finalmente, Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), en un intento más por esclarecer la estratigrafía de la cuenca, separaron en su mapa geológico veinticinco unidades litoestratigráficas y veintisiete en su tabla de correlación estratigráfica. También recientemente, Mooser (1988) ensambló la sucesión estratigráfica de la cuenca de México en más de treinta unidades, algunas de ellas combinadas.

MARCO CRONOESTRATIGRÁFICO

A la fecha, se conoce los resultados de más de cuarenta determinaciones radiométricas de edad en rocas procedentes de la cuenca de México o de áreas fuera de la cuenca pero con probable influencia en la estratigrafía de ésta. De aproximadamente cuarenta determinaciones registradas en la literatura geológica del área, solamente una fue realizada por el método de Pb-alfa. Unas dieciocho muestras fueron determinadas por el método de ^{14}C , y el resto, o sea unas veinticinco, por K-Ar (*cf.* Cantagrel y Robin, 1979; Nixon *et al.*, 1987). Doce de estas determinaciones pertenecen a muestras localizadas en la planicie del Valle de México; de éstas, unas diez fechas isotópicas son de rocas del subsuelo recuperadas de las perforaciones profundas realizadas por Petróleos Mexicanos en 1988 (pozos Texcoco 1, Mixhuca 1, Roma 1, Copilco 1 y Tulyehualco 1). La edad isotópica más antigua consignada es de 31 Ma; corresponde a un basalto perforado a unos 1,400 m de profundidad en el pozo Texcoco 1 (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1969). Aparentemente, el fechamiento más joven (450 años) corresponde a una sucesión de pómez del flanco oriental del Popocatepetl (Heide y Heide-Weise, 1973). De este mismo volcán han sido obtenidas unas siete edades radiométricas por ^{14}C (Robin y Boudal, 1987; Cantagrel *et al.*, 1984); el más antiguo de estos fechamientos corresponde a un paleosuelo de la falda meridional del Popocatepetl. Del total de muestras datadas, tres han sido petrográficamente clasificadas como de composición dacítica (Nixon y Pierce, 1984; Nixon, 1989); pertenecen a rocas de la Sierra Nevada; todas corresponden al Cuaternario, pero a diferentes fases de vulcanismo. La primera, de 0.9 Ma, es de una muestra recolectada en el volcán Llano Grande; la segunda, de 0.41 Ma, de los pies del Iztaccíhuatl; y la tercera, de 0.08 Ma, del cerro Teyotl. De las andesitas de la sierra de Las Cruces, se ha hecho la determinación de cuatro edades que pueden corresponder a cuando menos cuatro diferentes derrames de lava del Plioceno tardío (Mora-Álvarez *et al.*, 1987) cuyas edades isotópicas abarcan desde 2.87 Ma, en Peñas Cuatas, hasta 1.79 Ma, en El Zarco. Una andesita de las cañadas de Contreras fue datada en 1.92 Ma y otra de Huixquilucan en 2.7 Ma. También de la sierra de Las Cruces, en el cerro Cuatepec, se conoce una determinación de edad isotópica por el método de K-Ar de 20.5 Ma (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1969). Otras rocas, también de composición andesítica, de la sierra de Guadalupe, han sido fechadas: las del cerro de Santa Isabel, en 16.0 Ma (Mooser, 1975); las de Barrientos, en 15.0 Ma; y las de Cuatepec, en 14.2 Ma (Lozano-Barraza, 1968). Al noroeste de la cuenca, en el cerro Humaredas (Mooser, 1975), otras lavas andesíticas fueron identificadas como de 17 Ma de antigüedad, es decir, miocénicas. También otros derrames de lava andesíticos del subsuelo de la cuenca han sido conocidos

por las perforaciones realizadas por Petróleos Mexicanos. Tal vez el más antiguo de ellos, 29.0 Ma, sea el reconocido en el pozo Mixhuca 1, a 1,281 m de profundidad y la andesita del pozo Texcoco 1, de 24.1 Ma, a 950 m de profundidad.

El pozo Tulyehualco 1, en el intervalo de 1,122 a 1,897 m, cortó una andesita miocénica, de 15.0 Ma, datada por K-Ar. También en el pozo Roma 1, a los 1,704 m, se cortó una andesita que fue datada en 8.7 Ma.

La actividad volcánica de tipo basáltico ha sido ampliamente reconocida en el subsuelo de la cuenca de México y algunas determinaciones geocronológicas fueron realizadas como parte del proyecto de perforación de Petróleos Mexicanos, en 1988. Los basaltos más antiguos fueron registrados en los pozos Roma 1 (25.0 Ma) a más de 2,200 m de profundidad. En el pozo Copilco 1, a una profundidad similar, de 2,254 m, el basalto perforado fue isotópicamente determinado como de 23.3 Ma. El basalto más joven de estos tres pozos fue datado por el método de K-Ar en 21.7 Ma y procede de la profundidad de 1,125 m del pozo Mixhuca 1. Aparentemente, estos basaltos yacen estratigráficamente bajo otros flujos basálticos que fueron reconocidos a profundidades más someras en otras tres perforaciones; como en el pozo Texcoco 1, a los 837 m (15.8 Ma); en el pozo Tulyehualco 1 (11.8 Ma); y en el pozo Copilco 1, a los 1,700 m (12.3 Ma). Estos flujos basálticos podrían pertenecer al Mioceno superior, a diferencia de los cortados en los pozos Roma 1, Copilco 1 y Mixhuca 1, que corresponden al Oligoceno-Mioceno. Fuera de la cuenca, también han sido datadas isotópicamente algunas rocas de probable influencia en la historia geológica de la cuenca, como la Riolita Tilzapotla, de Amacuzac, Morelos. En relación con la Riolita Tilzapotla—incluida por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989) en su secuencia de rocas volcánicas del Oligoceno tardío-Mioceno temprano—Nelson (comunicación oral, 1990) considera que dado el carácter félsico de esta unidad, bien podría representar eventos magmáticos más antiguos, probablemente correlacionables con las unidades riolíticas expuestas en el Estado de Guerrero: Agua de Obispo, Alquitrán y Papagayo (de Cserna, 1965).

ESTRATIGRAFÍA PROPUESTA

Con el propósito de ordenar y adecuar una nomenclatura estratigráfica que pueda ser utilizada en futuras cartografías geológicas en la cuenca de México, a continuación se discute y propone una nueva ordenación basada, entre otros conocimientos, en la aplicación del Código Estratigráfico Norteamericano 1983 (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984).

Regionalmente, no existen limitaciones para denominar basamento a un grupo determinado de rocas. En México, especialmente los geólogos petroleros, denominan así a las rocas más antiguas en una región (complejos metamórficos o graníticos) identificadas en el subsuelo por medio de perforaciones profundas. En la cuenca de México, las rocas basales más antiguas registradas en las perforaciones de Petróleos Mexicanos corresponden a rocas mesozoicas de las Formaciones Morelos, Cuautla y Mexcala. Estas unidades fueron originalmente descritas fuera del área por Fries (1960) y corresponden a depósitos marinos. Dichas formaciones han sido consignadas por Petróleos Mexicanos como presentes en el subsuelo de la cuenca.

FORMACIÓN MORELOS

Definida por Fries (1960), esta unidad estratigráfica ha sido supuestamente reconocida en los pozos Mixhuca 1 y Tulyehualco 1. La identificación estuvo basada en la presencia de *Nummolo-*

culina heimi y *Dicyclina schlumbergeri*. En estos pozos se registró espesores hasta de 600 m de la Formación Morelos a profundidades mayores que 2,000 m. Con base en estos datos de Petróleos Mexicanos, se considera que ésta es la unidad más antigua (Albiano medio-Cenomaniano temprano) hasta ahora registrada en el basamento de la cuenca de México. Se sabe también de la existencia de un miembro evaporítico—yeso y/o anhidrita—a la fecha no estudiado ampliamente (Fries, 1960; de Cserna *et al.*, 1987).

FORMACIÓN CUAUTLA

Definida por Fries (1960), esta unidad del Cenomaniano tardío-Turoniano tardío ha sido reconocida al sur de la sierra de Tepoztlán y al norte de Zumpango (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). En los sondeos de Petróleos Mexicanos, la Formación Cuautla fue reconocida a 1,575 m en el pozo Mixhuca 1 y a 2,100 m de profundidad en el pozo Tulyehualco 1. Parece ser que el criterio para diferenciar en el subsuelo a esta unidad consistió en la identificación de especies de *Dicyclina* y *Valvulina*.

Litológicamente, consta de caliza gris en estratos medianos y gruesos con desarrollo local de rudistas y caliza arrecifal. Probablemente estudios detallados de microfacies puedan diferenciar a las Formaciones Cuautla y El Doctor, esta última no registrada en el subsuelo de la cuenca, pero supuestamente inferida como coexistente con sedimentos marinos mesozoicos en el basamento.

FORMACIÓN MEXCALA

Como las anteriores, la Formación Mexcala (Fries, 1960) también ha sido originalmente descrita fuera del área de la cuenca de México. Su carácter rítmico (*flysch*) así como su contenido faunístico la hacen distinguible del resto de la sucesión mesozoica. En el sondeo del pozo Mixhuca 1, Petróleos Mexicanos reconoció los foraminíferos *Marginotruncana* sp. y *Archeoglobigerina* sp., en el intervalo de profundidad entre 1,720 y 1,850 m. Estos microfósiles han sido considerados como del Turoniano-Maastrichtiano. La Formación Mexcala representa a las rocas mesozoicas más jóvenes del basamento de la cuenca y el espesor máximo de esta unidad fuera de ella es de unos 1,000 m. Es posible que los cuerpos de la Mexcala registrados en el subsuelo representen testigos de erosión de distribución restringida.

GRUPO BALSAS

Propuesto por Fries (1960), este grupo de rocas clásticas abarca una amplia variedad de tipos litológicos. Como indicó Fries (*op. cit.*), éste puede ser dividido en varias decenas de formaciones distintas; sin embargo, a la fecha, el Grupo Balsas continúa sin ser cartografiado en detalle. En el área de la cuenca de México no se conoce afloramientos de este grupo; en el subsuelo se ha reconocido conglomerado calizo en el pozo Texcoco 1, donde es anterior a 31.0 Ma, edad radiométrica de los basaltos que yacen encima. En general, es difícil establecer su posición estructural y no contiene fósiles. En algunas áreas, se conoce interestratos asociados de rocas volcánicas y el espesor varía, ya que sus contactos son discordantes.

GRUPO PACHUCA

Segerstrom (1961) y Geyne y colaboradores (1963) describieron este grupo de rocas volcánicas, el cual consta de ocho formaciones. Por otra parte, Simons y Mapes (1956) definieron la Formación Espinas, la cual es equivalente en posición estratigrá-

fica al Grupo Pachuca. En general, este conjunto de rocas, así como sus similares regionales, han sido ampliamente discutidos por de Cserna y colaboradores (1987), considerando algunas rocas de la sierra de Guadalupe como pertenecientes a este grupo. Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), en el área de la cuenca de México, cartografiaron rocas volcánicas terciarias, como Tomv, Tmv y Tpv, equivalentes al Grupo Pachuca. Por su parte, otros autores, como Schlaepfer (1968) y Mooser (1988), también cartografiaron rocas volcánicas con afinidades de composición, origen y posición estratigráfica muy similares a este grupo. Algunas de estas rocas innominadas fueron descritas simplemente como volcánicas terciarias o volcánicas no diferenciadas. Estas sucesiones lávicas podrían estar debidamente establecidas y nombradas de acuerdo con el rango estratigráfico correspondiente, para facilitar esta ordenación cartográfica con objeto de que futuros investigadores puedan reconocer de manera inequívoca estas rocas.

En el presente estudio, se propone cambiar de rango al Grupo Pachuca, de acuerdo con el Código de Nomenclatura Estratigráfica, que en su Artículo 19, inciso b, señala que para cambiar el rango de una unidad estratigráfica o de tiempo no hace falta redefinir sus límites ni cambiar la parte geográfica del nombre. Esta propuesta simplificaría la inclusión de unidades formales, como formaciones, miembros, capas o derrames, en este nuevo rango estratigráfico que sería denominado "Supergrupo Pachuca".

SUPERGRUPO PACHUCA

El término "Supergrupo Pachuca" se propone aquí para elevar de rango al Grupo Pachuca, con objeto de designar a todas las rocas volcánicas y volcanoclásticas que yacen concordante o discordantemente sobre depósitos clásticos continentales del Terciario inferior o discordantemente sobre rocas más antiguas, y están cubiertas por rocas pliocénicas—volcánicas y clásticas—continentales. Sus límites y espesores corresponden a los descritos para el Grupo Pachuca por Segerstrom (1961) y Geyne y colaboradores (1963). Comprende las siguientes formaciones de la más antigua a la más joven: Santiago, Corteza, Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudis, Vizcaína, Cerezo y Tezuantla.

En el presente estudio se recomienda incluir en el Supergrupo Pachuca a la Formación Las Espinas, de Simons y Mapes (1956), así como a la sucesión de rocas que Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989) cartografiaron en la cuenca de México como Tomv (rocas volcánicas del Oligoceno tardío-Mioceno temprano), Tmv (rocas extrusivas del Mioceno medio y tardío), incluyendo las rocas designadas como Tomp, las cuales asignaron al Grupo Pachuca.

También se recomienda queden dentro de este nuevo supergrupo las rocas volcánicas no diferenciadas de las series de Mooser (1988), las que están ilustradas en la columna correspondiente de la tabla estratigráfica (Figura 3) y corresponden a los números 22 (derrames de lavas de andesita, dacita y latita de las sierras de Guadalupe, Tepetzotlán, Tepozán); 23 (vulcanitas no diferenciadas del Mioceno); 27 (andesitas porfídicas del cañón de Contreras, Yoloxóchitl y Venacho); 28 (Formación Xochitepec; series volcánicas andesíticas y riódacíticas: Mirador, Pulpito del Diablo, Sierra de Xochitepec y 5a. de Apan); 24 (Serie Santa Isabel); 25 (Serie Humaredas); y 26 (Lahares del Tepozteco). La designación de la mayor parte de estas unidades deberá considerarse como informal, ya que éstas no han sido técnicamente descritas de acuerdo con las normas del código estratigráfico vigente, que entre otros conceptos establece, en su Artículo 73, que serie es una unidad cronoestratigráfica convencional, de rango inferior a sistema, y es siempre una división de un sistema,

por lo que en el futuro la designación de "serie" para rocas de la cuenca de México deberá abandonarse. Estas unidades, hasta ahora informalmente descritas, tendrán que ser apropiadamente cartografiadas y definidas para ser debidamente integradas al Supergrupo Pachuca.

Aparentemente, la única limitación técnica para el cambio de rango de Grupo a Supergrupo sería la revisión que señala el Artículo 19, inciso f: el no poder aplicar el mismo nombre geográfico a la unidad como un todo y a una parte de la misma; es decir, que el Supergrupo Pachuca no debería contener a la Formación Pachuca. Sin embargo, el autor considera que sería más confuso cambiarle de nombre a la formación, ya que el grupo fue definido de esa manera y es de uso local en el distrito minero de Pachuca. Los afloramientos de la Formación Pachuca están restringidos al flanco sudoccidental de la sierra de Pachuca, presentándose esta formación más extensamente en los laborios subterráneos, por lo que se considera conveniente restringir el uso de la misma al distrito minero de Pachuca, además de que no se ha establecido ninguna correlación de esta unidad fuera de las áreas mencionadas, incluyendo la cuenca de México. La intención al proponer este cambio de rango estratigráfico es proporcionar las bases técnicas para definir nuevas unidades e incorporarlas debidamente a este supergrupo. En general, se considera que la edad del Supergrupo Pachuca abarca del Oligoceno tardío al Plioceno temprano.

GRUPO ANÁHUAC

Con el nuevo nombre de "Grupo Anáhuac" se propone agrupar a todas las rocas lávicas y piroclásticas que estratigráficamente yacen sobre las rocas del Supergrupo Pachuca y que sean cronológicamente anteriores al Grupo Taranguense. Esta propuesta tiene como finalidad clasificar y facilitar la futura terminología para designar a estas rocas.

El Grupo Anáhuac, aquí propuesto, agruparía a las Formaciones Las Cruces, Ajusco y Zempoala, nombradas por Schlaepfer (1968). También quedarían incorporadas dentro de éste las siguientes unidades descritas y cartografiadas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989): (Tpv) depósitos volcánicos del Plioceno temprano, (Tpo) Formación Otomí y (Tpb) rocas máficas del Plioceno tardío. De las unidades utilizadas por Mooser (1988), quedarían englobadas en este grupo las rocas informalmente llamadas "grupo de las Sierras Mayores" que consta de derrames de lava de andesita y dacita porfídicas de las sierras Nevada y Río Frío, en el oriente, y de las sierras de Las Cruces y Zempoala, en el poniente de la cuenca. Estas rocas están representadas por los números 15, 19, 20 y 21 en la columna 3 de la tabla estratigráfica (Figura 3). En la literatura geológica de la cuenca, frecuentemente se hace referencia a unidades volcánicas que, aunque distantes, puedan tener implicaciones o similitudes con sus similares de la cuenca de México. En la presente propuesta conviene reflexionar sobre la posible inclusión de las porciones estratigráficas que litológica y cronológicamente podrían quedar integradas en el grupo, que sería el caso de la Riolita Navajas y la Formación San Cristóbal (Segerstrom, 1961; Geyne *et al.*, 1963). En general, la edad del Grupo Anáhuac, aquí definido, sería del Plioceno.

GRUPO TARANGUENSE

El nombre de "Grupo Taranguense" se propone y utiliza aquí para designar a todas las rocas posteriores en edad al Grupo Anáhuac y anteriores a los Grupos Popocatépetl y Chichinautzin y al Alogrupo Tenochtitlan.

ERA-TEMA	SISTEMA	SERIE	PISO	Ma	VÁZQUEZ-SÁNCHEZ Y JAIMES-PALOMERA (1989) (1)	SCHLAEPFER, J. C. (1968) (2)			
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		0.1	LACUS TRE, F. CHICHINAUTZIN, F. POPOCATEPETL, F. IZTACCIHUATL, FORMACIÓN TLÁLOC, FORMACIÓN EL PINO, FORMACIÓN LLANO GRANDE	ALUVION C. LACUS TRE, FORMACIÓN CHICHINAUTZIN, RIODACITA POPOCATEPETL, FORMACIÓN TARANGO, ROCAS VOLCÁNICAS			
		PLEISTOCENO	CALABRIANO						
		Terciario	NEÓGENO	PLIOCENO	PIACENZIANO	2.5	ROCAS VOLCÁNICAS MÁFICAS, RIOLITA NAVAJAS, F. LAS CRUCES, F. ZEMPOALA, FORMACIÓN OTOMÍ, DEPOSITOS VOLCÁNICOS	FORMACIÓN LAS CRUCES, F. AJUSCO, FORMACIÓN ZEMPOALA, FORMACIÓN IZTACCIHUATL, F. TLÁLOC	
					ZANCLEANIANO				
					MIOCENO	MESSINIANO	7.0	ROCAS EXTRUSIVAS, FORMACIÓN TEPOZTLÁN	ROCAS VOLCÁNICAS, FORMACIÓN TEPOZTLÁN
						TORTONIANO			
						SERRAVALLIANO			
			LANGHIANO						
			PALEÓGENO	OLIGOCENO	CHATTIANO	26	ROCAS VOLCÁNICAS, RIOLITA TILZAPOTLA	ROCAS VOLCÁNICAS, FORMACIÓN TEPOZTLÁN	
					RUPELIANO				
	PRIABONIANO				38	GRUPO BALSAS	FORMACIÓN BALSAS		
	EOCENO				BARTONIANO				
		LUTETIANO							
	PALEOCENO	PALEOCENO	YPRESIANO	54	GRANITO COLOTEPEC				
			THANETIANO						
			SIN NOMBRE						
			DANIANO	65					
			MAASTRICHTIANO						
	MESOZOICO	CRETÁCICO				FORMACIÓN MEXCALA			
						FORMACIÓN CUAUTLA			
					F. MORELOS, F. EL DOCTOR				
					FORMACIÓN XOCHICALCO				

Figura 3.- Tabla estratigráfica que muestra las diferentes terminologías usadas para las rocas de la cuenca de México. (1) El granito Colotepec y la Formación Xochicalco (Fries, 1960) no afloran en el área considerada en el estudio presente. (2) Las líneas en zigzag indican interdigitación; incluye tres unidades de rocas volcánicas sin denominar. La Formación Tepoztlán no aflora en la cuenca de México. (3) 1, depósitos aluviales; 2, depósitos lacustres; 3, abanicos de las bases del Popocatepetl y el Ajusco; 4, derrames y tobas de la sierra de Río Frio; 5, serie Tayotl y andesita y dacita del Iztaccíhuatl; 6, riodacita del Popocatepetl; 7, Grupo Chichinautzin; 8, derrames de lava recientes; 9, lava y toba del norte de la cuenca; 10, (?); 11, lava y toba pliocénico-cuaternarias del norte; 12, lavas antiguas del Iztaccíhuatl antiguo; 13, Grupo Chichinautzin anterior a 700,000 años; 14, conos volcánicos mayores del Plioceno superior-Cuaternario inferior; 15, 19 y 20, grupo de las Sierras Mayores; 16 y 17, Formación Tarango; 18, Series Nochistongo y

Uno de los propósitos de la creación del Grupo Taranguense es evitar la proliferación de nombres para designar a las mismas unidades. Se propone incluir en este grupo a las formaciones Llano Grande y El Pino, de Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), y a las formaciones Tláloc e Iztaccíhuatl, de Schlaepfer (1968), así como a la riodacita y a la Formación Tarango, de Bryan (1948). Esta última unidad estratigráfica ha sido ampliamente utilizada por investigadores como Arellano (1953), Segerstrom (1961), Schlaepfer (1968), Mooser, Nairn y Negendank (1974) y de Cserna y colaboradores (1987). Casi todos los investigadores que han trabajado en áreas adyacentes a la cuenca de México han correlacionado o descrito rocas como

pertenecientes o asociadas a la Formación Tarango, que tiene una amplia distribución geográfica. De las designaciones informales de Mooser (1988), se recomienda incluir en el Grupo Taranguense las siguientes rocas: las lavas del Iztaccíhuatl antiguo, los abanicos volcánicos correspondientes a las Sierras Mayores (lahares, ignimbritas, pómez, cenizas y algunos depósitos fluviales), así como a las lavas basálticas y las tobas anteriores al Grupo Chichinautzin y los conos volcánicos mayores del Plioceno superior. También puede incluirse en este grupo los suelos tobáceos y pumíticos derivados de lluvias de ceniza en la región de Tequiquiac, Nochistongo y Tula, así como las tobas lacustres y bentoníticas de las series informales Nochistongo y Requena.

ordenación apropiada de la amplia variedad de rocas y depósitos volcánicos que edifican el Popocatepetl. Las relaciones estratigráficas sugieren una edad del Pleistoceno tardío-Holoceno para este grupo.

GRUPO CHICHINAUTZIN

Fries (1960) utilizó el nombre de Grupo Chichinautzin para las corrientes lávicas y los estratos de toba y brecha, así como de materiales clásticos interestratificados depositados por agua, que sobreyacen en discordancia a depósitos clásticos y volcánicos del Terciario y del Plioceno-Cuaternario. Las rocas de este grupo se interdigitan con rocas del Grupo Popocatepetl y del Alogrupo Tenochtitlan. Su cima es, generalmente, una superficie de erosión que forma un campo volcánico probablemente monogenético; constituye más de cien conos volcánicos, depósitos cineríticos y derrames de lava en un área de varias decenas de kilómetros cuadrados. Lugo-Hubp (1984), en su mapa geomorfológico del sur de la cuenca, separa cuando menos cinco unidades geomórficas diferentes en edad, las que si se cartografiasen geológicamente equivaldrían a diferentes unidades litoestratigráficas. La composición petrográfica de este grupo consta de andesitas basálticas, basaltos y dacitas. El espesor máximo reconocido hasta la fecha es de 1,800 m, estimado por Fries (1969).

En el presente estudio se considera conveniente seguir utilizando la designación de Fries (1960) como Grupo Chichinautzin, la cual, además de ser correcta, facilita la inclusión en éste de lavas provenientes de relictos de volcanes antiguos, así como de las lavas del Pedregal de San Angel (Badilla, 1977; Enciso-de la Vega, 1979) y otros depósitos piroclásticos y tefra asociados.

Las determinaciones isotópicas obtenidas para las rocas del Grupo Chichinautzin son: 690,000 años (Mooser, Nairn y Negendank, 1974); 38,500 años (Bloomfield, 1975); 2,400 años (Arnold y Libby, 1951); y 2,260 años (S. Valastro, comunicación escrita, 13/3/1980). Éstas sugieren un intervalo de tiempo de emplazamiento volcánico amplio. En la presente propuesta, el autor considera la conveniencia de referirse al Grupo Chichinautzin como un campo volcánico basáltico compuesto por domos, conos volcánicos y apilamientos subhorizontales de derrames de lava emplazados entre los 38,500 y 2,260 años.

Es interesante investigar cuál fue el proceso geológico capaz de cubrir en tiempo una extensión de más de 1,200 km², como es el caso de este campo volcánico. Una explicación simple sería la hipótesis de una intensa actividad magmática, desarrollada en corto tiempo por un aparato volcánico, seguida por un período de inactividad; la reactivación volcánica sería continuada en nuevos conos o aparatos volcánicos, hasta formar más de 150 de estas estructuras, que constituyen el actual relieve volcánico de este campo.

ALOGRUPO TENOCHTITLAN

Con la nueva designación, aquí propuesta, de "Alogrupo Tenochtitlan", se agrupa formalmente a todas las unidades cuaternarias posteriores al Grupo Taranguense, que formal o informalmente han sido nombradas y utilizadas para reconstruir la estratigrafía de la planicie y los bordes de la cuenca de México. Estas unidades sobreyacen concordante o discordantemente a rocas pertenecientes al Grupo Taranguense. Las partes superiores de este alogrupo solamente están expuestas en zonas aún no urbanizadas.

En la literatura geológica del área, son conocidas las aportaciones de Aguilera (1906), así como las primeras definiciones estratigráficas de Arellano (1946, 1948, 1951, 1953); Bryan (1946, 1948); De Terra (1947, 1948a, 1948b). Recientemente, otros

autores han contribuido al conocimiento estratigráfico de estas rocas, incluyendo depósitos lacustres y materiales aluviales de la cuenca de México: Marsal (1975); Limbrey (1986); y Lambert (1986); así como Hibbard (1955); Marsal y Mazari (1959, 1987); de Cserna y colaboradores (1987); y Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989). El propósito principal al establecer esta nueva división estratigráfica de la cuenca es facilitar la ordenación estratigráfica, que hasta la fecha no ha sido posible.

Esta designación de Alogrupo Tenochtitlan se apega a las definiciones y recomendaciones contenidas en los Artículos 58 y 59, incluyendo la figura 7 del Código Estratigráfico Norteamericano (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984).

Por otra parte, la Figura 2 del presente estudio completa e ilustra los diferentes procesos de depositación y medio ambiente, así como las relaciones estructurales de lenticularidad y acuñamiento de los materiales pleistocénicos y cuaternarios de la cuenca.

Con base en lo anterior, se recomienda incluir en el Alogrupo Tenochtitlan a las unidades que en el pasado han sido alguna vez utilizadas para designar horizontes estratigráficos específicos de este lapso, los cuales en futuros estudios podrían realizarse o abandonarse, según convenga.

Estas unidades, en orden cronológico de antiguo a moderno, comprenden a la Formación Tacubaya y la Formación Gran Canal, los caliches Morales y Lomas, la Formación Tequiquiac, la Formación Becerra, con sus dos miembros incluyendo el horizonte de caliche denominado Caliche Barrilaco, el Horizonte Armenta, la Formación Totolcingo, los aluviones Remedios y Río Hondo y la Formación Nochebuena, así como las facies lacustres aluviales y eólicas, algunas de ellas incluidas en la Formación Becerra. De las partes adyacentes a las depresiones lacustres, pueden ser parte del alogrupo las zonas lacustres y de transición, así como los depósitos de inundación y abanicos de deyección. Conviene mencionar que el intervalo estratigráfico que abarca el Alogrupo Tenochtitlan comprende una amplia variedad de tipos litológicos consignados pero no ubicados cronológicamente, como algunos horizontes diatomáceos, de turba y arcillas; también se ha descrito brechas de pómez, arenas, limos y arcillas bentónicas, además de las sales y evaporitas en los antiguos vasos del lago de Texcoco. En la presente propuesta se excluye los suelos y horizontes arqueológicos del Período Formativo Niederberger (1976).

En general, la edad del Alogrupo Tenochtitlan comprende del Pleistoceno superior al Holoceno.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS DIACRÓNICAS

Algunas de las principales complicaciones estratigráficas, sin mencionar las estructurales, que conforman las rocas volcánicas, clásticas y volcanoclásticas de la cuenca de México, comprenden: acuñamientos, interdigitaciones, cambios de facies, gradaciones, así como la no continuidad lateral de algunas capas y sedimentos y asociaciones litológicas de materiales reabajados. Estas complicaciones pueden ser consideradas como episodios, fases, intervalos y digitaciones. Por ejemplo, el Grupo Popocatepetl cubre discordantemente la porción meridional de la Formación Iztaccihuatl y se interdigita con el Grupo Chichinautzin. Este mismo Grupo Chichinautzin cubre discordantemente a la Formación El Pino y se interdigita con depósitos lacustres y aluviones. En la Formación Tarango se ha registrado depósitos de material lahárico reabajado así como facies lacustres y abanicos aluviales coalescentes. Otro ejemplo de relaciones diacrónicas es el que presentan las rocas de la Formación Otomí, en la cual han sido reconocidas varias secuencias volcánicas, así como en la Formación Las Cruces, que contiene derrames de lava

y piroclásticos, así como lahares. Estas relaciones estratigráficas diacrónicas, en el futuro, deberán tratarse siguiendo los lineamientos señalados en el Código de Nomenclatura Estratigráfica (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984) en sus Artículos 91-95, figs. 10 y 11.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los doctores Fernando Ortega-Gutiérrez, Steve Nelson, Ismael Ferrusquía-Villafranca y Ana Lillian Martin-del Pozzo, por la atinada revisión crítica al manuscrito original, que contribuyó substancialmente a mejorarlo. Asimismo, se reconoce la revisión editorial de Arturo Gómez-Caballero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J.G., 1906, Les volcans du Mexique dans leurs relations avec le relief et la tectonique general du pays: Congreso Geológico Internacional, 10, México, Comptes rendus, p. 1155-1168.
- Aguilera, J.G., y Ordóñez, Ezequiel, 1895, Expedición científica al Popocatepetl: México, Comisión Geológica Mexicana, 48 p.
- Álvarez, J.R., 1978, Enciclopedia de México: México, D.F., Enciclopedia de México, S.A., 12 tomos.
- Arellano, A.R.V., 1946, Datos geológicos sobre la antigüedad del hombre en la cuenca de México: Congreso Científico Mexicano de Ciencias Sociales, 2, México, D.F., Memoria, v. 5, p. 213-219.
- , 1948, La composición de las rocas volcánicas en la parte sur de la cuenca de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 13, p. 82.
- , 1951, The Becerra Formation (latest Pleistocene) of central Mexico: Congreso Geológico Internacional, 18, Londres, Memoria, parte 11, p. 55-62.
- , 1953, Estratigrafía de la cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Congreso Científico Mexicano, México, D.F., 1951, Memorias, v. 3, p. 172-186.
- Arnold, J.R., y Libby, W.F., 1951, Radiocarbon dates: Science, v. 113, núm. 2927, p. 111-120.
- Badilla-Cruz, Ramón, 1977, Estudio petrológico de la lava de la parte noreste del Pedregal de San Ángel: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 38, p. 40-57.
- Bloomfield, Keith, 1975, A late Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico: Geologische Rundschau, v. 64, p. 476-497.
- Bryan, Kirk, 1946, Comentario e intento de correlación con lo cronología glacial: Congreso Científico Mexicano de Ciencias Sociales, 2, México, D.F., Memoria, v. 5, p. 220-225.
- , 1948, Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 13, p. 1-20.
- Cantagrel, J.M., Gourgaud, A., y Robin, Claude, 1984, Repetitive mixing events and Holocene pyroclastic activity at Pico de Orizaba and Popocatepetl (Mexico): Bulletin of Volcanology, v. 47, p. 735-748.
- Cantagrel, J.M., y Robin, Claude, 1979, K-Ar dating on eastern Mexican volcanic rocks—relations between the andesitic and the alkaline provinces: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 5, p. 99-114.
- Carrasco-Núñez, Gerardo, 1985, Estudio geológico del volcán Popocatepetl: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis profesional, 41 p. (inérita).
- Castillo, Antonio del, 1879, Adelantos en la geología y paleontología del Valle de México: Boletín Minero Mexicano, v. 6, 3 p.
- Castillo, Antonio del, y Ordóñez, Ezequiel, 1893, Plano geológico y petrográfico de la cuenca de México, región SW: México, Comisión Geológica, escala 1:200,000.
- Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984, Código estratigráfico norteamericano 1983: México, D.F., Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Sociedad Geológica Mexicana, y Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 87 p.
- Cserna, Zoltan de; De la Fuente-Duch, Mauricio; Palacios-Nieto, Miguel; Triay, Leonardo; Mitre-Salazar, L.M.; y Mota-Palomino, Reynaldo, 1987 (1988), Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.
- De la O-Carreño, Alfonso, 1954, Las provincias geohidrológicas de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 56, parte 2, 166 p.
- Díaz-Lozano, Enrique, 1917, Diatomeas fósiles mexicanas: Instituto Geológico de México, Anales, t. 1, núm. 1, 27 p.
- Duport, Clair, 1843, De la production des métaux précieux au Mexique: París, Chez Firmin Didot Librairies, 426 p.
- Enciso-De la Vega, Salvador, 1979, Las lavas del pedregal: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciencia y Desarrollo (México), núm. 25, p. 89-93.
- Fries, Carl, Jr., 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 60, 236 p.
- , 1962, Hoja Pachuca 14Q-e(11), con Resumen de la geología de la hoja Pachuca, Estados de Hidalgo y México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Serie de 1:100,000, mapa con texto explicativo en el reverso.
- , 1966, Hoja Cuernavaca 14Q-h(8), con Resumen de la geología de la hoja Cuernavaca, estados de Morelos, México, Guerrero y Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Serie de 1:100,000, mapa con texto explicativo en el reverso.
- Galindo, Graciela, y Morales, Jaime, 1987, El relieve y los asentamientos humanos en la Ciudad de México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciencia y Desarrollo (México), núm. 76, p. 67-80.
- García-Cubas, Antonio, 1906, Curso elemental de geografía universal: México, Antigua Imprenta de Murguía, 432 p.
- Geyne, A.R.; Fries, Carl, Jr.; Segerstrom, Kenneth; Black, R.F.; y Wilson, I.F., 1963, Geología y yacimientos minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo: Consejo de Recursos Naturales no Renovables (México), Publicación 5E, 222 p.
- Heide, Klaus, y Heide-Weise, Helga, 1973, Jungquartäre Forderfolgen des Malinche Vulkans und des Popocatepetl (Sierra Nevada, Mexiko) und ihre Bedeutung für die Glazialgeologie, Paläoklimatologie und Archäologie: Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, v. 31, p. 303-322.
- Hibbard, C.W., 1955, Pleistocene vertebrates from the upper Becerra (Becerra superior) Formation, Valley of Tequixquiac, Mexico, with notes on other Pleistocene forms: University of Michigan, Contributions from the Museum of Paleontology, v. 12, núm. 5, p. 47-96.
- Humboldt, Alexandre de, 1808, Essai politique sur le Royaume de la Nouvelle Espagne: París, F. Schoell, 904 p.
- Lambert, P.W., 1986, Descripción preliminar de los estratos de tefra de Tlapacoya, in Lorenzo, J.L., y Mirambell, L., eds., 35,000 años de historia del lago de Chalco: México, D.F., Secretaría de Educación Pública, Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia, p. 167-172.
- Limbrey, S., 1986, Análisis de suelos y sedimentos, in Lorenzo, J.L., y Mirambell, L., eds., 35,000 años de historia del lago de Chalco: México, D.F., Secretaría de Educación Pública, Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 40 p.
- López-Ramos, Ernesto, 1979, Geología de México: México, D.F., edición privada, t. 3, 445 p.
- Lozano-Barraza, Luis, 1968, Geología de la sierra de Guadalupe: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, tesis profesional, 118 p. (inérita).
- Lugo-Hubp, José, 1984, Geomorfología del sur de la cuenca de México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Serie Varia, t. 1, núm. 8, 95 p.
- Manzanilla, Linda, 1987, Bibliografía de la cuenca de México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, 136 p.
- Marín, Tomás, y Zamacona, Renato, 1937, Problemas hidrológicos del Valle de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Revista de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas, v. 11, p. 465-472.

- Marsal, R.J., 1975, The lacustrine clays of the Valley of Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, International Clay Conference, México, D.F., Publicación E16, 14 p.
- Marsal, R.J., y Mazari, Marcos, 1959 (1969), El subsuelo de la Ciudad de México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 377 p.
- 1987, El subsuelo de la Ciudad de México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, parte D, núm. 505, 23 p.
- Mooser, Federico, 1956a (1957), Los ciclos del vulcanismo que formaron la cuenca de México: Congreso Geológico Internacional, 20, México, D.F., Simposio sobre vulcanología del Cenozoico, v. 2, p. 337-348.
- 1956b (1962), Bosquejo geológico del extremo sur de la cuenca de México: Congreso Geológico Internacional, 20, México, D.F., Libroguía de la excursión C-9, p. 9-16.
- 1956c (1962), Descripciones detalladas de algunas paradas de la excursión C-9: Congreso Geológico Internacional, 20, México, D.F., Libroguía de la excursión C-9, p. 135-153.
- 1961, Informe sobre la geología de la cuenca del Valle de México: México, D.F., Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, informe, 99 p.
- 1967, Tefracronología de la cuenca de México para los últimos 30,000 años: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Boletín 30.
- 1968, Fossil Equidae from the middle Pliocene of the Central Plateau of Mexico: *Southwestern Naturalist*, v. 13, p. 1-12.
- 1972, The Mexican Volcanic Belt; structure and tectonics: *Geofísica Internacional (México)*, v. 12, núm. 2, p. 55-70.
- 1975, Historia geológica de la cuenca de México, in *Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, t. 1, p. 7-38 y mapa geológico.
- 1988, Geología, in *Atlas de la Ciudad de México*, Fascículo 2, Características físico-geográficas y primeros pobladores de la cuenca de México: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, El Colegio de México, Editorial Plaza y Valdés, capítulo 1, p. 23-26.
- Mooser, Federico, y Maldonado-Koerdell, Manuel, 1967, Mexican national report on volcanology, International Union of Geodesy and Geophysics, General assembly, 14: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, *Anales*, v. 12, p. 99-106.
- Mooser, Federico; Nairn, A.E.M.; y Negendank, J.F.W., 1974, Palaeomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks; part 8, A palaeomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico: *Geologische Rundschau*, v. 63, p. 451-483.
- Mooser, Federico; Tamez, Enrique; Santoyo, Enrique; Holguín, Ernesto; y Gutiérrez, C. E., 1986, Características geológicas y geotécnicas del Valle de México: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, 32 p.
- Mora-Álvarez, Gabriela; Caballero-Miranda, Cecilia; Urrutia-Fucugauchi, Jaime; Silva-Romo, Gilberto; Alarcón-Parra, S.; y Vichiumi, Sh., 1987, Edades K-Ar y paleomagnetismo de las rocas volcánicas de la sierra de Las Cruces: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Cincuentenario de la carrera de Ingeniería Geológica, México, D.F., Memoria.
- Negendank, J.F.W., 1972, Volcanics of the Valley of Mexico; part 1, Petrography of the volcanics: *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 116, p. 308-320.
- Niederberger, Cristine, 1976, Zohapilco—cinco milenios de ocupación humana en un sitio lacustre de la cuenca de México: México, D.F., Instituto Nacional de Antropología e Historia, Serie Científica, núm. 30, 24 p.
- Nixon, G.T., 1982, The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere, in Gastil, Gordon, and Phillips, R.P., Symposium on subduction of oceanic plates: *Geological Society of America Bulletin*, v. 93, p. 514-523.
- 1989, The geology of Ixtaccíhuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico: *Geological Society of America Special Paper* 219, 58 p.
- Nixon, G.T.; Demant, Alan; Armstrong, R.L.; y Harakal, J.E., 1987, K-Ar and geologic data bearing on the age and evolution of the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Geofísica Internacional (México)*, special volume on Mexican Volcanic Belt, part 3A, v. 26, p. 109-158.
- Nixon, G.T., y Pierce, T.H., 1984, Plagioclase zoning in lavas from Iztaccíhuatl volcano, Mexico—laser and microprobe data: *American Geophysical Union, Eos, Transactions*, v. 65 (45), p. 1123.
- Ojeda-Rivera, Jesús, 1986, Bibliografía de los volcanes mexicanos: Sociedad Mexicana de Mineralogía, Publicación Especial 2-E, 95 p.
- Ordóñez, Ezequiel, 1895, Las rocas eruptivas del suroeste de la cuenca de México: Instituto Geológico de México, *Boletín* 2, 46 p.
- Petróleos Mexicanos, 1988, Cortes litológicos y registros geofísicos de los pozos profundos exploratorios Roma-1, Mixhuca-1, Tulyehualco-1 y Copilco-1: México, D.F., Petróleos Mexicanos, informe, 210 p. (inédito).
- Robin, Claude, y Boudal, Christian, 1987, A gigantic Bezymianny-type event at the beginning of modern Volcán Popocatepetl: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 31, p. 115-130.
- Rodríguez-C., Rodolfo, y Ochoa-Cony, Alfonso, 1989, Estudio geoelectrico del sistema acuífero de la cuenca de México: *Geofísica Internacional (México)*, v. 28, p. 191.
- Salazar-Salinas, Leopoldo, 1922, A la caverna de Cacahuamilpa en automóvil: México, Instituto Geológico de México, 16 p.
- Sánchez, P.C., 1935, Importancia geográfica del Eje Volcánico: Instituto Panamericano de Geografía e Historia (México), Publicación 11, 13 p.
- Schlaepfer, Carmen, 1968, Hoja México 14Q-h(5), con Resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y estados de México y Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Serie de 1:100,000, mapa con texto explicativo en el reverso.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1969, Proyecto Texcoco—Memoria de los trabajos realizados y conclusiones: México, D.F., Nacional Financiera, S.A., 215 p.
- Segerstrom, Kenneth, 1961, Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y del noreste del Estado de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v. 13, p. 147-168.
- Serra-Puche, M.C., 1988, Los recursos lacustres de la cuenca de México durante el Formativo: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Colección Posgrado, 272 p.
- Simons, F.S., y Mapes-Vázquez, Eduardo, 1956, Geology and ore deposits of the Zimapán mining district, State of Hidalgo, Mexico: U.S. Geological Survey Professional Paper 284, 128 p.
- Terra, Helmut de, 1947, Teoría de la cronología para el Valle de México: *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, v. 9, p. 11-26.
- 1948a, Chronological significance of the Zacatenco beach in the Valley of Mexico: *Sociedad Mexicana de Antropología, El Occidente de México*, v. 4, p. 123-124.
- 1948b, Historia del Valle de México en las postrimerías del Cuaternario en relación con el hombre prehistórico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 13, p. 77-79.
- Vázquez-Sánchez, Eliseo, y Jaimes-Palamera, L.R., 1989, Geología de la cuenca de México: *Geofísica Internacional (México)*, v. 28, p. 133-190.

Manuscrito presentado: 3 de enero de 1990.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 20 de junio de 1991.

Manuscrito aceptado: 27 de septiembre de 1991.