

Actualización del conocimiento geológico en la Cuenca del Río Chichimequillas, Estado de Querétaro, México

ANDRÉS FELIPE ARANGO GUEVARA, LUIS MIGUEL MITRE SALAZAR Y
JUVENTINO MARTÍNEZ REYES

*Centro de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, Apartado Postal 1-742, 76000, Qro.
(afarango@yahoo.com, lmitre@geociencias.unam.mx)*

Resumen: La cuenca del río Chichimequillas se localiza al nororiente de la ciudad de Querétaro (México) y en ella se destacan los volcanes Zamorano al norte y Santacruz al suroccidente. Este trabajo presenta los resultados parciales de una investigación integral enfocada a la evaluación geológico-ambiental con propósitos de Ordenamiento Territorial. La cuenca está constituida por unidades volcánicas y volcanosedimentarias con edades que van del Oligoceno al Plioceno, con composiciones variables desde riolitas hasta basaltos. Se reporta la existencia de dos nuevas fallas normales en dirección ENE que buzan al SSW y SSE, no cartografiadas previamente, y caracterizadas geomorfológicamente por fuertes escarpes subverticales sobre las rocas oligocénicas. Estas estructuras siguen un estilo de carácter regional más que local y están asociadas por su orientación, al sistema de fallas Chapala-Tula.

Palabras Clave: Chichimequillas, Querétaro, Oligoceno, Plioceno, fallas normales.

Abstract: The Chichimequillas river basin is located to the northeast of Querétaro (México). Zamorano and Santacruz volcanoes are located inside the basin to the north and southwest. This work presents the partial results of an integral investigation in this area focused to the environmental geologic evaluation with territorial ordering purposes. The Chichimequillas basin consists of volcanics and volcanosedimentaries units with ages ranging from Oligocene to Pliocene, varying in composition from rhyolites to basalts. The existence of new two normal faults with an ENE direction dipping to the SSW and SSE are reported in this work not mapped previously. Geomorphologically are characterized by strong subvertical escarpments above oligocenic rocks. These structures are considered as part of a regional tectonic setting rather than local being associated by their direction, to the Chapala-Tula faults system.

Key Words: Chichimequillas, Querétaro, Oligocene, Pliocene, normal faults.

La cuenca del río Chichimequillas se localiza al nororiente de la capital del estado de Querétaro, al centro de México (Figuras 1 y 2). Como rasgos morfológicos sobresalientes dentro de la cuenca, se destacan el volcán Zamorano, en el extremo norte; y el volcán Santacruz al suroccidente. Por su cercanía con la zona metropolitana de la ciudad de Santiago

de Querétaro, se han realizado estudios hidrogeológicos en la cuenca del río Chichimequillas y sus alrededores, orientados al conocimiento de los acuíferos existentes, basados en el reconocimiento geológico y en algunos casos apoyados por métodos de prospección geofísica (Ledesma Vega, 1973; CEA-UAQ, 2002).

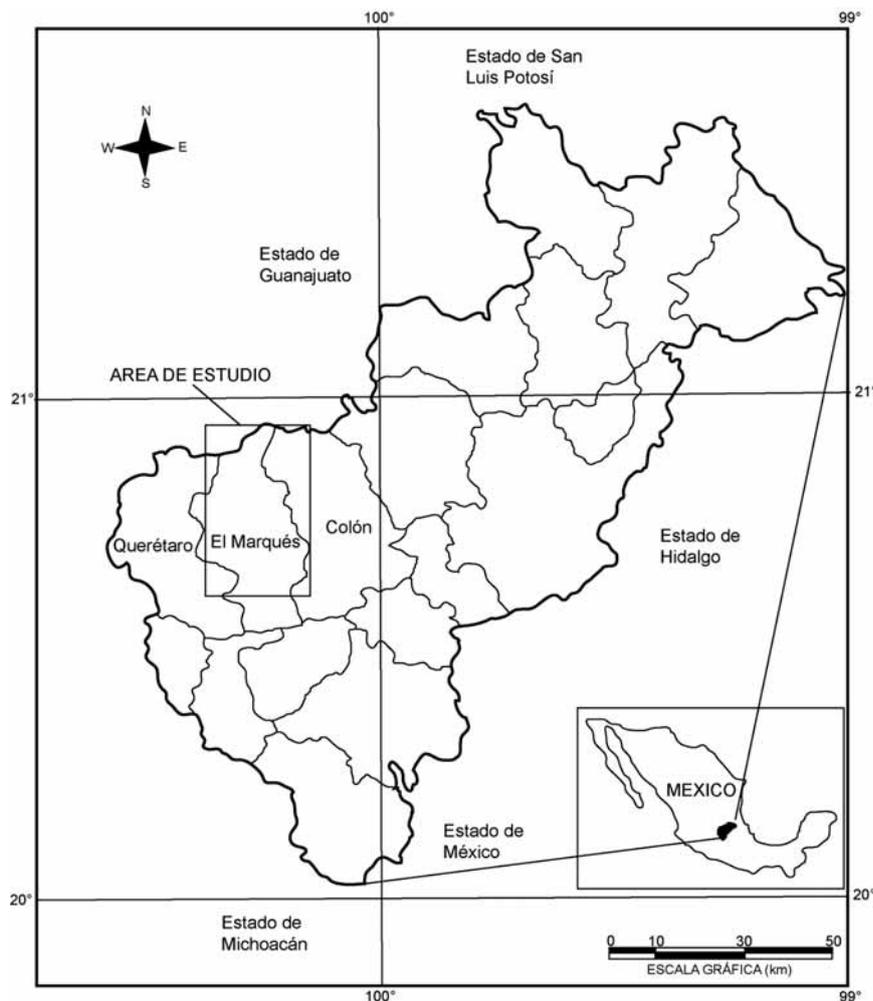


Figura 1. Localización de la zona de estudio dentro del estado de Querétaro.

La escasez de estudios geológicos detallados en el área ha dificultado un proceso de desarrollo regional apropiado y acorde con un adecuado uso del suelo. Estos trabajos se han enfocado en el estudio de dos aparatos volcánicos reconocidos en la cuenca. Para el primero de ellos, el volcán Zamorano, los estudios de Carrasco Núñez et al. (1989) y Verma y Carrasco Núñez (2003), realizados a una escala 1:200.000, determinan que este aparato se edificó sobre ignimbritas oligocénicas y que se formó en tres etapas principales, desde el Mioceno al Plioceno. El otro trabajo, realizado a una escala 1:500.000 para la caldera de Amazcala, describe una estructura volcánica localizada al NE de la ciudad de Querétaro que produjo rocas de composición riolítica, y determinó su formación entre 7,6 y 6,6 Ma. (Aguirre Díaz y López Martínez, 2001). Adicionalmente a estos trabajos, existen otros de carácter regional que han contribuido al conocimiento geológico, tectónico y geomorfológico (Demant, 1978; Johnson y Harrison, 1990; Bocco, 1984; Aguirre Díaz et al., 2000; Reyes Zaragoza, 2001; Alaniz Alvarez et al., 2001 y 2002; Aguirre Díaz et al., 2005).

El área metropolitana de Querétaro, conformada por la ciudad capital, Santiago de Querétaro, y las áreas urbanas de los municipios de El Marqués y Corregidora, al igual que en otros lugares de México, se ha desarrollado al margen del conocimiento y comprensión del marco geológico; esto ha traído como consecuencia un aprovechamiento irracional de los recursos naturales, principalmente el agua, y una incipiente vulnerabilidad ante la ocurrencia de fenómenos naturales catastróficos, tales como las inundaciones y deslizamientos locales recientes. Uno de las pocas aportaciones realizadas en esta materia ha sido la investigación de Arango Guevara (2006), enfocada a la evaluación geológico-ambiental con propósitos de ordenamiento territorial.

Ante la carencia de estudios minuciosos en la estratigrafía de la zona y considerando el amplio desarrollo que sufre la región por la creciente dinámica de la capital del estado y su área metropolitana, el presente informe tiene como objetivo revisar, actualizar y detallar la cartografía geológica sobre mapas topográficos a escala 1:25.000, retomando las deno-

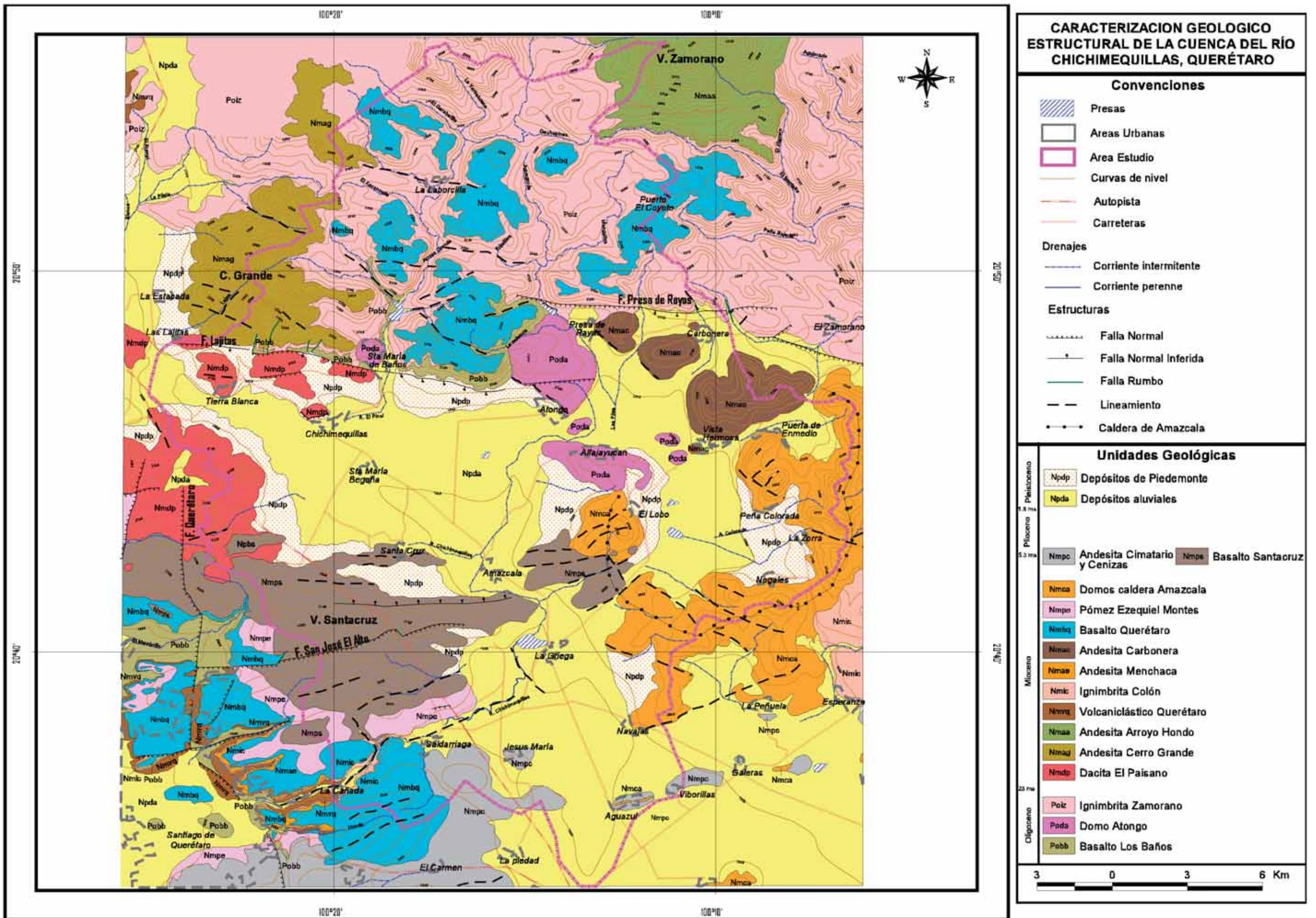


Figura 2. Mapa Geológico-Estructural de la cuenca del río Chichimequillas.

minaciones informales para algunas unidades hechas en trabajos pasados, así como incluir algunas nuevas. Asimismo, se adjunta la documentación de algunas fallas no identificadas previamente. Se pretende que la actualización llevada a cabo en el presente trabajo se pueda utilizar como base para futuras tareas de planificación regional y local, que realicen los organismos municipales y regionales.

Geología Local

De acuerdo a la clasificación preliminar de las Provincias Geológicas Mexicanas elaborada por Ortega et al. (1992), la cuenca del Río Chichimequillas está conformada al norte por rocas de la Provincia de la Sierra Madre Occidental representadas por basaltos, domos e ignimbritas riolíticas con edades oligocénicas. Recubriendo estas rocas en algunos sectores, y en el centro y sur de la misma cuenca, se distribuyen dacitas, ignimbritas riolíticas, depósitos de caída piroclástica y volcániclasticos, así como andesitas y basaltos, pertenecientes a la Provincia de la Faja Volcánica Transmexicana, con un rango de edades que oscila desde el Mioceno hasta el Pleistoceno (Figura 2).

Oligoceno

Está constituido por las el Basalto Los Baños, el Domo Atongo y la Ignimbrita Zamorado, cuyas características se resumen a continuación.

Basalto Los Baños (Pobb). Son rocas de color gris y gris azulado que se presentan en forma masiva, aunque en general aparecen diaclasadas y fracturadas lo que ha

favorecido su meteorización superficial. Se ubican principalmente en las cercanías de la población de Santa María los Baños, y al noroccidente de la localidad de Atongo. En tramos del camino que va de Presa de Rayas a la localidad de Matanzas, presentan una tonalidad rojiza debido a una intensa oxidación, y con cavidades milimétricas rellenas con cuarzo secundario. Como se observa en sección delgada, estos basaltos consisten de fenocristales de olivino subhedrales alterados a iddingsita y plagioclasas euhedrales a subhedrales; la matriz está compuesta por microcristales de plagioclasa, piroxenos y minerales opacos. Su textura varía de intergranular a subofítica, en menor proporción glomeroporfídica o hialopilitica. En el campo esta unidad se encuentra subyaciendo estratigráficamente a la Ignimbrita Zamorano. Podría correlacionarse con la Andesita El Cedro, descrita al norte de Querétaro por Alaniz Álvarez et al. (2001), como derrames de basaltos y andesitas, ya que su composición es parecida y ambas unidades están siempre yaciendo bajo domos e ignimbritas riolíticas de edad oligocénica. Cerca Martínez et al. (2000), obtuvieron edades para la andesita El Cedro de $30,5 \pm 0,5$ Ma y $30,7 \pm 0,6$ Ma mediante K-Ar, situándola por debajo de la secuencia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental.

Domo Atongo (Poda). Esta unidad consta de domos de composición riolítica localizados entre las poblaciones de Atongo y Presa de Rayas, en los alrededores de la localidad de Santa María de los Baños, y al sur de Alfajayucan. Son rocas de color blanco y rosado claro, muy vesiculadas, moderadamente fracturadas, con un bandeo debido al flujo y con fenocristales de cuarzo y plagioclasa en una matriz blanca. Al microscopio se observa como una roca



Figura 3. Aspecto de la Ignimbrita Zamorano en la cual se aprecian fragmentos líticos oscuros de andesita en una matriz blanca, al norte de la cuenca.



Figura 4. Dacita El Paisano muy fracturada, debido a la acción de la Falla Lajitas. Afloramiento situado a lo largo de la vía del tren a 2 km al este de la población de Lajitas.

inequigranular, de textura porfirítica con fenocristales de cuarzo subhedrales y pocos minerales opacos, en una matriz de cuarzo microcristalino. Aguirre Díaz y López Martínez (2001), determinaron para estos domos una edad de $31 \pm 1,0$ Ma, por medio de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en sanidina. Además, las relaciones de campo muestran que la riolita está intercalada entre el Basalto Los Baños.

Ignimbrita Zamorano (Poiz). Es una unidad conformada por un paquete de depósitos de flujos piroclásticos masivos, compactos, de composición riolítica y colores de rosado a blanco, que cubren una vasta superficie (aproximadamente 35 km²) en el costado sur del volcán Zamorano. Los flujos están intercalados con algunos niveles de ceniza originados a partir de una caída libre. En estas rocas se pueden reconocer abundantes fragmentos líticos de andesita (Figura 3), así como pómez colapsadas o fiammes. Verma y Carrasco Núñez (2003), obtuvieron edades mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que oscilan de $29,9 \pm 0,3$ hasta $28,1 \pm 0,3$ Ma. Estas edades sugieren que esta unidad representa el límite meridional del vulcanismo asociado a la Sierra Madre Occidental. De igual forma, Aguirre Díaz y López Martínez (2001) obtuvieron edades similares de 31 ± 1 y $29,3 \pm 0,3$ Ma por el mismo método.

Mioceno

Está constituido por la Dacita El Paisano, la Andesita Cerro Grande, la Andesita Arroyo Hondo, el Volcaniclastico de Querétaro, la Andesita Carbonera, el Basalto Querétaro, la Ignimbrita Colón, el Pómez Ezequiel Montes y los Domos Caldera Amazcala, cuyas características se resumen a continuación.

Dacita El Paisano (Nmdp). Esta unidad consta de rocas de color gris claro y blanco, con fenocristales visibles de plagioclasa, feldespato y algunas biotitas, que se disponen en forma de domos al occidente de la cuenca. Al oriente de la población de Lajitas las lavas se observan muy fracturadas, tomando en algunos puntos aspectos de brecha (Figura 4) debido a la acción de la falla Lajitas. En dicho sector se observaron planos de falla en sentido E-W, con estrías que indican movimientos de falla normal. En sección delgada la roca muestra textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa orientados subparalelamente debido al flujo, así como fenocristales de hornblenda y biotita, parcialmente reemplazados por minerales opacos. La matriz es afánítica con una textura pilotaxítica.

Tanto en fotografías aéreas como en el campo se observa esta unidad cubierta por la andesita Cerro Grande y por los basaltos del volcán Santacruz. Estas dacitas son correlacionables con las dacitas Cerro Colorado ubicadas al NW de Querétaro y datadas en 16 Ma por Pérez Venzor et al. (1997). En una muestra tomada en el Cerro el Paisano, localizado al N de Querétaro, Martínez Reyes y Mitre Salazar obtuvieron una edad de 14 Ma mediante K/Ar (UNAM-Centro de Geociencias, comunicación escrita, 2005).

Andesita Cerro Grande (Nmag). Son andesitas producidas por un aparato volcánico pequeño (Cerro Grande) ubicado al NW de la cuenca y que se encuentran recubriendo a la Dacita El Paisano. Esta unidad había sido agrupada por Alaniz Álvarez et al. (2001) con los derrames provenientes de volcanes localizados al occidente de

Querétaro, pero las evidencias de campo y el análisis fotogeológico muestran que las andesitas tienen su origen en el Cerro Grande. Por su posición estratigráfica y similitud con otros productos volcánicos fuera del área de estudio, su edad debe corresponder al Mioceno medio.

Andesita Arroyo Hondo (Nmaa). Son lavas andesíticas de color gris oscuro y textura afanítica a porfirítica en muestra de mano, que constituyen la estructura del volcán Zamorano y que sobreyacen a la Ignimbrita Zamorano. Se presenta tanto en forma masiva como diaclasada, en especial hacia la parte más baja de la unidad. En medio de la andesita existen algunas intercalaciones de niveles piroclásticos compuestos por líticos de andesita y escoria. La edad obtenida mediante el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en roca total es de $9,6 \pm 0,4$ Ma (Verma y Carrasco Núñez, 2003).

Volcaniclástico de Querétaro (Nmvg). Esta unidad definida por Alaniz Álvarez et al. (2001), se localiza al suroccidente de la cuenca, y corresponde a la intercalación de estratos horizontales poco consolidados de depósitos fluviales, lacustres y piroclásticos, compuestos principal-

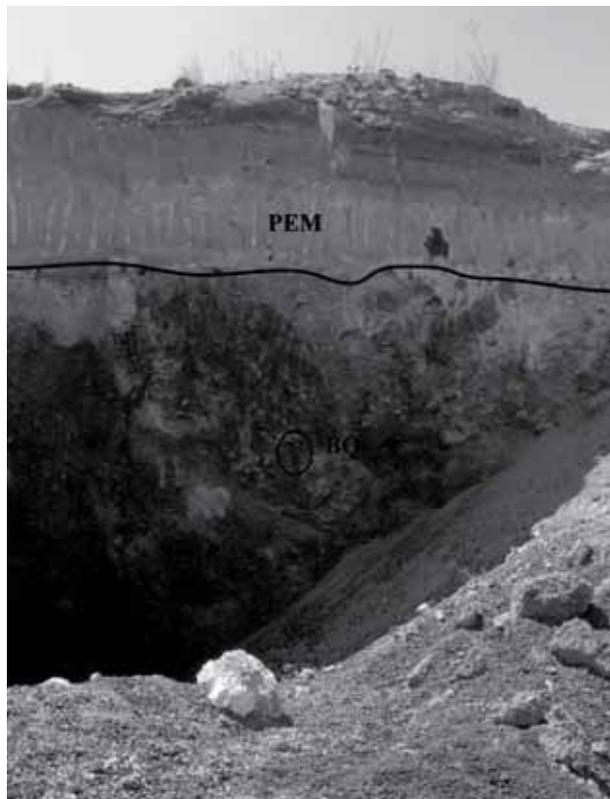


Figura 5. Pómez Ezequiel Montes (PEM), sobreyaciendo al Basalto Querétaro (BQ), al sur de la localidad de Saldarriaga. La escala (martillo) se encuentra al lado izquierdo de la sigla BQ, dentro del círculo negro.

mente por clastos de pómez que oscilan desde tamaño grava y arena hasta partículas tamaño limo, con un espesor variable. Esta unidad subyace al Basalto Querétaro, por lo tanto su edad sería inferior a la reportada para los basaltos. Su origen está relacionado con el volcanismo ocurrido entre el Mioceno medio y tardío en la región y su interacción con el agua.

Andesita Carbonera (Nmac). Esta unidad está conformada por domos de color gris con tonalidades rojizas, y alargados en dirección NE, aproximadamente E-W. Estos domos presentan una morfología de cimas aplanadas (en 3 de ellos), en tanto los otros dos presentan cimas más abruptas. Aunque sus formas llevan a pensar que algunos sufrieron una intensa erosión, y por ende son más antiguos, petrográficamente sus características son similares. En las cuatro secciones delgadas analizadas, las rocas se caracterizan, con algunas ligeras variaciones, por ser microporfiríticas, inequigranulares, con fenocristales de hornblenda euédrales a subédrales, así como de plagioclasa euédrales y anhédrales. La matriz casi siempre está marcada por las plagioclasas y las texturas típicas son hialopilitica, pilotaxítica e intersertal. No fue posible observar ningún contacto directo que permitiera establecer relaciones estratigráficas, aunque autores como Verma y Carrasco Núñez (2003), infieren que estas andesitas están estratigráficamente por encima de la Ignimbrita Zamorano, asignándoles una edad aproximada de 9 Ma.

Basalto Querétaro (Nmbq). Esta unidad fue identificada por Pasquaré et al. (1991) y corresponde a mesas basálticas localizadas al suroccidente de la cuenca, compuestas de basaltos de color gris oscuro, medianamente vesiculados. En la parte externa de la roca se observa una coloración rojiza producto de la oxidación y meteorización a través del tiempo. A nivel petrográfico la roca presenta pocos fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, así como óxidos de hierro y manganeso en una matriz de plagioclasa con textura pilotaxítica. Las rocas que aparecen en el flanco sur del volcán Zamorano, a pesar de no poseer dataciones ni relaciones estratigráficas claras, se agrupan con el Basalto Querétaro debido a que tienen una fuerte similitud en composición y forma. Su origen se atribuye a emplazamiento ocurrido a través de fisuras. Las relaciones de campo muestran que estos basaltos se encuentran por debajo de la Pómez Ezequiel Montes, tal como se observa en una cantera al sur de la población de Saldarriaga (Figura 5). Además estas rocas han sido datadas en $8,1 \pm 0,8$ Ma mediante K-Ar en roca total, por Pasquaré et al. (1991), y en $7,5 \pm 0,5$ Ma mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ por Aguirre Díaz y López Martínez (2001).



Figura 6. Contacto entre el Basalto Querétaro (BQ) y la Ignimbrita Colón (IC), en el sector sur de la población de La Cañada.

Ignimbrita Colón (Nm_{ic}). Esta unidad está constituida por ignimbritas de composición riolítica y color predominantemente blanco, con un espesor que oscila entre 3 y 10 m. En el sector de La Cañada, estas rocas muestran un grado variable de soldamiento así como un fuerte diaclasamiento columnar, que ha originado algunos desprendimientos rocosos ladera abajo. En muestra de mano se pueden observar clastos de pómez en una matriz arenosa constituida por pocos cristales. Esta unidad fue denominada por vez primera por Aguirre Díaz y López Martínez (2001), a partir de su localidad tipo en los alrededores de la población de Colón, y sugieren como probable origen las fases de colapso de la caldera de

Amazcala. Reportan además, una edad de $7,3 \pm 0,5$ Ma obtenida mediante el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en sanidina y consideran que la ignimbrita recubre a la Pómez Ezequiel Montes.

En el área de estudio, la roca presenta características similares a la Ignimbrita Colón descrita por Aguirre Díaz y López Martínez (2001); sin embargo, las observaciones de campo hechas en este trabajo muestran siempre que esta unidad se encuentra subyaciendo al Basalto Querétaro (Figura 6) y, por lo tanto, a la Pómez Ezequiel Montes. Aunque en este trabajo se conserva el nombre original para la ignimbrita, se presentan varias posibili-



Figura 7. Dique riolítico (R) cortando la Andesita Cenizas (A) en la localidad de Aguazul. La línea indica el límite entre el Dique y la Andesita.

dades para resolver este problema, a saber: i) que las rocas descritas en este trabajo no correspondan a la Ignimbrita Colón; ii) que la datación hecha por Aguirre-Díaz y López-Martínez (2001) no sea correcta, o iii) que por la posición estratigráfica observada para las ignimbritas en este trabajo, correspondan a un pulso anterior de la caldera de Amazcala.

Pómez Ezequiel Montes (Nmpe). Corresponde a una secuencia de capas de depósitos piroclásticos de caída libre, compuestos por granos de tamaño lapilli y ceniza, e intercalados con unos delgados niveles centimétricos de oleadas piroclásticas, que fue definida inicialmente por Aguirre Díaz y López Martínez (2001). Algunos de estos depósitos de caída muestran pómez semiredondeadas, evidencia de retrabajamiento originado por corrientes de agua. El color predominante de toda la secuencia es el gris claro, aunque en las capas retrabajadas, varía desde amarillo hasta café. Dentro de los niveles de caída predomina la gradación normal y, en menor medida, la gradación inversa o niveles sin ninguna gradación. Las relaciones de campo muestran que esta unidad se encuentra estratigráficamente por encima de la Ignimbrita Colón, aunque Aguirre Díaz y López Martínez (2001), le asignen una edad entre 7,5 y 7,3 Ma y la ubiquen subyaciendo a la ignimbrita.

Domos Caldera Amazcala (Nmca). Son riolitas descritas como una unidad por Aguirre Díaz y López Martínez (2001), que conforman la periferia de la caldera de Amazcala. Las rocas, algunas veces vesiculadas, son de color blanco y crema. Aunque en general en el campo muestran textura afanítica, en algunos puntos al sur de la caldera se pueden identificar cristales de cuarzo embebidos en una matriz afanítica. La presencia de obsidiana, bandeado de flujo y diaclasamiento columnar es muy común en los domos. Topográficamente no son muy altos, mostrando algunos formas elongadas en sentido N-S y NE-SW. En el centro de la caldera, se observa un domo alargado en dirección N-NE con fuertes escarpes que presenta un notable diaclasamiento columnar. Aguirre Díaz y López Martínez (2001), sugieren que este domo se pudo haber formado durante la resurgencia de la caldera y proporcionan una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en sanidina de $6,6 \pm 0,3$ Ma.

En este trabajo se agrupan en esta unidad, algunos domo riolíticos de color gris claro a rosa y fuertemente fracturados, situados al suroriente de la cuenca y fuera del área en estudio. Se observa además un dique de composición riolítica en la localidad de Aguazul, que corta la Andesita Cenizas (Figura 7), y que podría representar los últimos pulsos de vulcanismo riolítico asociado a la caldera hacia inicios del Plioceno.

Mioceno-Plioceno

Está constituido por la Andesita Cimatario y Cenizas y el Basalto Santacruz, cuyas características se resumen a continuación.

Andesita Cimatario y Cenizas (Nmpe). Son lavas andesíticas denominadas así previamente por Aguirre Díaz y López Martínez (2001). Son rocas de color gris oscuro, textura afanítica y medianamente vesiculadas, que afloran al suroccidente de la cuenca, que fueron emitidas por el volcán Cimatario, localizado inmediatamente al sur de la ciudad de Querétaro, y otros conos volcánicos más pequeños, tal como se observa en fotografías aéreas. Esta unidad sobreyace al Basalto Querétaro y la Pómez Ezequiel Montes. En lámina delgada la roca presenta algunos fenocristales de olivino parcialmente iddingsitizados, plagioclasa y algunos clinopiroxenos, con texturas glomeroporfídica marcada por cúmulos de olivino y plagioclasa. La matriz esta conformada por plagioclasa microcristalina y minerales opacos. Aguirre Díaz y López Martínez (2001) obtuvieron edades en $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $5,6 \pm 0,4$ Ma y $5,2 \pm 0,2$ Ma.

Basalto Santacruz (Nmpe). Corresponde a rocas basálticas vesiculadas de color gris oscuro expulsadas por el volcán Santacruz, localizado al nororiente de la ciudad de Querétaro. En el campo es posible apreciar niveles rojizos producto de la oxidación, que sirven para identificar el fallamiento normal que afecta esta unidad. Las muestras en sección delgada son inequigranulares y ligeramente porfíricas; los fenocristales son de plagioclasa y muy pocos de ortopiroxeno, clinopiroxeno y olivino euhedral a subhedral iddingsitizado. La matriz es afanítica y está conformada por plagioclasa, clinopiroxeno y minerales opacos con textura pilotaxítica. En fotografías aéreas se nota una dirección preferencial de alargamiento que muestran los basaltos en dirección E-W, debida al fallamiento normal que ha afectado estas rocas. Estos basaltos están recubriendo los depósitos de la Pómez Ezequiel Montes, así como las dacitas miocénicas. Aunque no se conoce su edad, por la poca disección y erosión que muestran los basaltos, se presumen son contemporáneos al vulcanismo básico del Mioceno tardío representado por la Andesita Cimatario.

Pleistoceno

Está constituido por depósitos del valle y de piedemonte, cuyas características se describen a continuación.

Depósitos del valle (Npda). Son depósitos que rellenan la parte superior del valle de Chichimequillas, en los que se alternan niveles finos de arcillas y arenas, con algunos



Figura 8. Vista de un escarpe característico de la Falla Lajitas en el tramo comprendido entre las poblaciones de Santa María de los Baños y Atongo.

conglomerados resultado de la acción de corrientes. Con frecuencia se encuentra caliche embebido dentro de estos sedimentos. Se consideran del Pleistoceno, ya que recubren a unidades del Plioceno.

Depósitos de piedemonte (Npdp). Corresponden a los depósitos más recientes del valle y son el producto de la acción combinada de la gravedad y el agua sobre las laderas de rocas preexistentes. En general, los clastos, cuya composición es muy variada y depende de la roca parental de la cual se desprenden, alcanzan hasta los 12 cm, y están embebidos en una matriz de arena y arcilla.

Estructuras

Si bien es cierto que dentro del área de estudio se encuentran unidades litoestratigráficas pertenecientes en su mayor parte a la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana, a excepción de las rocas oligocénicas, se debe tener en cuenta que los rasgos tectónicos observados obedecen a un estilo de carácter más bien regional que local. Este carácter se observa 4 km al occidente de la cuenca, donde se encuentra el graben de Querétaro, zona de intersección de los sistemas de fallas de Taxco-San Miguel de Allende (TSMa) con orientación NNW, y el de Chapala-Tula (ChT) en sentido ENE. En la cuenca se observaron únicamente fallas normales con dirección ENE, asociadas por su orientación, al sistema de fallas de Chapala-Tula. Esto sugiere que la falla de Querétaro podría corresponder al límite oriental del sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende en la región. Además, en el desarrollo del trabajo se reconocieron dos fallas normales que no se habían reportado en estudios anteriores, las Fallas Lajitas y Presa de Rayas, que se describirán a continuación.

Falla Lajitas.

Corresponde a una falla normal de 20 km de largo aproximadamente, cuyos límites están entre las localidades

de Lajitas y Atongo. Las direcciones de la falla oscilan entre N80°W y N75°E, con buzamientos al SSW y SSE. La ubicación de algunos de sus tramos se ha inferido puesto que están cubiertos por los depósitos de piedemonte. Geomorfológicamente esta falla se identifica por la presencia de fuertes escarpes subverticales alineados, de hasta 100 m de altura (Figura 8), y por la existencia de un par de facetas triangulares a lo largo de su recorrido. En campo se pueden ver planos de falla, fracturas y estrías que afectan a las rocas y que ponen en contacto al Basalto Los Baños con las Dacitas El Paisano. De acuerdo con esto, la edad mínima considerada para el movimiento de esta falla es del Mioceno medio.

Falla Presa de Rayas.

Esta falla forma un escarpe sobre la Ignimbrita Zamorano que puede alcanzar unos 90 m de altura aproximadamente. Su rumbo general durante sus 12 km de longitud es E-W con ligeras variaciones al NE y NW, y buzamientos hacia el S. La falla comienza a la altura de la presa de Los Pirules, en las cercanías de la población de Presa de Rayas y termina unos 2 km al NW de la población de El Zamorano. Una porción central de unos 3,5 km ha sido inferida puesto que dicho tramo está cubierto por los depósitos del valle. Geomorfológicamente se reconoce por sus escarpes inclinados hacia el sur, alineados en buena parte de su recorrido. En una franja de 30 m de largo, situada en los alrededores de la presa Los Pirules, la roca está triturada formando una brecha de falla (Figura 9). Igualmente se aprecian planos de falla con estrías e indicadores cinemáticos, tales como escalones, que afectan de manera exclusiva a las ignimbritas y domos del oligoceno.

Falla San José El Alto.

Esta falla, ya descrita en trabajos anteriores (tales como el de Aguirre Díaz y López Martínez, 2001), afecta los basaltos del costado sur del volcán Santacruz y se reco-



Figura 9. Roca triturada por acción de la falla Presa de Rayas en los alrededores de la presa y a 1,5 km al noroccidente de la población del mismo nombre.

noce fácilmente por el desplazamiento de los niveles rojizos en la roca. Dichas rocas muestran un alargamiento en dirección E-W, observable en fotografías aéreas y producto de la dinámica de esta falla. La longitud de esta estructura es de 13 km, con algunos escarpes que alcanzan unos 50 m de desnivel. Su rumbo varía entre N75°E y E-W, con buzamientos hacia el SSE. En los límites del graben de Querétaro, esta falla se intersecta y se corta contra la falla Querétaro, lo que indica que la Falla San José El Alto es anterior al sistema Taxco-San Miguel de Allende. En el flanco norte del volcán Santacruz se observan escarpes de hasta 30 m de altura alineados en dirección E-W, que podrían indicar la presencia de una falla, pero al no encontrarse más evidencias de campo, se describe solamente como fotointerpretada en la figura 2.

Otra falla con rumbo aproximado N75°W, ubicada por fuera de los límites de la cuenca, al sur de la localidad de El Zamorano, afecta los depósitos del valle, como se aprecia en la vía entre las localidades de El Zamorano y Puerto de Enmedio. Esto indicaría que esta falla ha tenido actividad durante el Pleistoceno, con la salvedad de que se debería precisar la edad de los depósitos de relleno del valle.

Dentro de los límites de la cuenca, no hay evidencia alguna que permita clarificar la relación de edad entre los dos sistemas de fallas que confluyen en el valle de Querétaro, puesto que las fallas presentes en la zona de estudio se asocian, por su dirección ENE, al sistema de fallas Chapala-Tula. En un contexto regional, la edad de actividad de los dos sistemas ha sido discutida por varios autores llevando a dos hipótesis; la primera afirma que las fallas del sistema Chapala-Tula cortan al sistema Taxco-San Miguel de Allende (Szykaruk et al., 2004; Alaniz Álvarez et al., 1998; Sutter et al., 1992), y la segunda expresada por Andreani et al. (2005), sugiere que los sistemas son sincrónicos, funcionando desde el Oligoceno hasta el Plioceno.

Conclusiones

En la cuenca del río Chichimequillas el vulcanismo correspondiente a la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana comenzó a mediados del Mioceno, emplazando sus productos sobre las rocas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental. La roca más antigua en la cuenca es, por sus relaciones estratigráficas el Basalto Los Baños seguido por el Domo Atongo y la Ignimbrita Zamorano. Productos básicos y ácidos originados por el vulcanismo Terciario fueron emplazados por toda la cuenca, que fue posteriormente rellenada por sedimentos y material re TRABAJADO. Aunque en general las relaciones estratigráficas del área son claras, las ubicaciones en la columna litológica de la cuenca de la Andesita Cerro Grande y el Basalto Santacruz, se ven limitadas en su techo ya que no hay una unidad diferente a las pleistocénicas que sirvan para restringir su edad. En el caso de la Andesita Carbonera, no fue posible observar ningún contacto que permita establecer su posición estratigráfica con seguridad. Por estas razones, sería recomendable en un futuro contar con edades radiométricas de estas unidades que permitan afinar con mayor detalle la columna estratigráfica.

El problema estratigráfico más notable en la cuenca se presenta en el caso de la Ignimbrita Colón, ya que aunque esta unidad presenta características similares a las descritas para dicha roca por Aguirre Díaz y López Martínez (2001), las relaciones de campo muestran que esta ignimbrita se encuentra por debajo del Basalto Querétaro y de la Pómez Ezequiel Montes, por lo que su edad sería mayor, y no respondería con los $7,3 \pm 0,5$ Ma obtenidos por dichos autores. Se proponen tres posibilidades para su solución: i) que las rocas descritas en este trabajo no se correspondan con la Ignimbrita Colón; ii) que la datación no sea correcta; y iii) que la posición estratigráfica observada en este trabajo, corresponda a niveles originados en un pulso anterior de la caldera de Amazcala.

Desde el punto de vista estructural, existen fallas normales con dirección ENE, que se asocian al sistema de fallas de Chapala-Tula, lo que confirma que la falla Querétaro representa el límite más oriental del sistema Taxco-San Miguel de Allende. Se reporta por primera vez la presencia de dos fallas (denominadas Lajitas y Presa de Rayas), con buzamientos hacia el sur, cuya expresión geomorfológica se caracteriza por fuertes escarpes subverticales en las rocas oligocénicas.

El detalle en la cartografía del área (Figura 2), permite que pueda ser utilizada como un elemento básico en el desarrollo de la planificación y el ordenamiento local del

municipio de El Marqués, así como de la zona metropolitana del municipio de Querétaro, al facilitar mejores herramientas para una evaluación futura de las áreas expuestas a amenazas naturales y de una posible explotación de sus recursos naturales.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al proyecto del PAPIIT (IN114702) denominado "Caracterización Geológico-Ambiental de las cuencas hidrográficas de Chichimequillas y San Juan del Río, Estado de Querétaro, y su aplicación al desarrollo regional".

Bibliografía

- AGUIRRE DÍAZ, G. J., ZÚNIGA DÁVILA, F. R., PACHECO ALVARADO, F. J., GUZMÁN SPEZIALE, M., Y NIETO OBREGÓN, J. (2000): El Graben de Querétaro, México, observaciones de fallamiento activo. *GEOS*, 20(1): 2-7.
- AGUIRRE DÍAZ, G. J., Y LÓPEZ MARTÍNEZ, M. (2001): The Amazcala Caldera, Querétaro, México: Geology and geochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 111: 203-218.
- AGUIRRE DÍAZ, G. J., NIETO OBREGÓN, J. Y ZÚNIGA DÁVILA, F. R. (2005): Seismogenic Basin and Range and intra arc normal faulting in the central Mexican Volcanic Belt, Querétaro, México. *Geological Journal*, 40: 215-243.
- ALANIZ ALVAREZ, S. A., NIETO SAMANIEGO, A. F. Y FERRARI, L. (1998): Effect of strain rate in distribution of monogenetic and polygenetic volcanism in the Transmexican Volcanic Belt. *Geology*, 26(7): 591-594.
- ALANIZ ALVAREZ, S. A., NIETO SAMANIEGO, A. F., REYES ZARAGOZA, M. A., OROZCO ESQUIVEL, M. T., OJEDA GARCÍA, A. C. Y VASALLO, L. F. (2001): Estratigrafía y deformación extensional en la región de San Miguel de Allende-Querétaro, México. *Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(2): 129-148.
- ALANIZ ÁLVAREZ, S. A., NIETO SAMANIEGO, A. F., OROZCO ESQUIVEL, M. T., VASALLO, L. F. Y SHUNSHAN XU (2002): El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende: Implicaciones en la deformación post-océnica del centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 55(1): 12-29.
- ANDREANI, L., MARTÍNEZ REYES, J., LE ROY, C. Y LE PICHON, X. (2005): ¿Es la Tectónica transpresiva en la parte central de México el resultado de un cizallamiento sinistral neógeno? (resumen). Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana. *GEOS*, 25: 99.
- ARANGO GUEVARA, A. F., (2006). *Caracterización geológico-ambiental de la Cuenca del río Chichimequillas, Estado de Querétaro. Querétaro, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis de Maestría, 146 p.
- BOCCO, G. (1984): Cartografía Geomorfológica de el Bajío y Porciones Adyacentes, 1:250000. Universidad Nacional Autónoma de México. *Boletín del Instituto de Geografía*, 14: 9-42.
- CARRASCO NÚÑEZ, G., MILÁN, M. Y VERMA, S. (1989): Geología del Volcán Zamorano, estado de Querétaro: Universidad Nacional Autónoma de México. *Rev. Instituto de Geología*, 8(2): 194-201.
- COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA (CEA), UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO (UAQ). (2002): *Estudio Integral del Recurso agua en los acuíferos del estado de Querétaro: Querétaro, México*. Reporte Técnico, 553 p.
- CERCA MARTÍNEZ, L. M., AGUIRRE DÍAZ, G. J. Y LÓPEZ MARTÍNEZ, M. (2000): The Geologic Evolution of the Southern Sierra de Guanajuato, México: A documented example of the Transition from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *International Geology Review*, 42: 131-151.
- DEMANT, A. (1978): Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de Interpretación: Universidad Nacional Autónoma de México. *Rev. Instituto de Geología*, 2(2): 172-187.
- JOHNSON, C. A. Y HARRISON, C. G. (1990): Neotectonics in central México. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 64: 187-210.
- LEDESMA VEGA, S. (1973): *Estudio preliminar del comportamiento de los Acuíferos en los Valles de Querétaro, San Juan del Río y Tequisquiapan en el estado de Querétaro. México DF, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis de licenciatura, 82 p.
- ORTEGA, F., MITRE, L. M., ROLDÁN, J., ARANDA, J. J., MORÁN, D., ALANIZ, S. A. Y NIETO, A. F. (1992): *Carta Geológica de la República Mexicana 1:2.000.000*. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, Instituto de Geología y Secretaría de Energía, Minas e Industria. 1 Mapa con texto explicativo, 74 p.
- PASQUARÉ, G., FERRARI, L., GARDUÑO, V. H., TIBALDI, A. Y VEZZOLI, L. (1991): Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, México: México DF, México. *Geological Society of America, Map and Chart Series*, MCHo72, 20 p.
- PÉREZ VENZOR, J. A., ARANDA GÓMEZ, J. J., MCDOWELL, F. W. Y SOLORIO MUNGUÍA, J. G. (1997): Geología del Volcán Palo Huérfano, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(2): 174-183.
- REYES ZARAGOZA, M.A. (2001): *Estudio Geológico-Estructural de los sistemas de fallas de Querétaro, Querétaro. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de licenciatura, 85 p.
- SUTTER, M., QUINTERO LEGORRETA, O. Y JOHNSON, C. A. (1992): Active faults and state of stress in the central part of the Trans Mexican Volcanic Belt, México. *Journal of Geophysical Research*, 97: 11983-11993.
- SZYNKARUK, E., GARDUÑO MONROY, V. H. Y BOCCO, G. (2004): Active fault systems and tectono topographic configuration of the central TransMexican Volcanic Belt. *Geomorphology*, 61: 111-126.
- VERMA, S. Y CARRASCO NÚÑEZ, G. (2003): Reappraisal of the Geology and Geochemistry of Volcán Zamorano, Central Mexico: Implications for discriminating the Sierra Madre Occidental and Mexican Volcanic Belt. *International Geology Review*, 45: 724-752.