

GEOLÓGIA Y DEFORMACIÓN FRÁGIL DE LOS CERROS LA SOTOLERA Y LA CRUCITA AL ORIENTE DE PACHUCA

J. C. Escamilla Casas, E. Meneses-Meneses, E. M. Uribe Alcántara, E. Ortiz Hernández, S. Montiel Raima, A. O. Ortega Reyes

Áreas Académicas de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5, Colonia Carreteras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184

\*Autor de correspondencia: jcescas@uah.edu.mx

RESUMEN

La determinación de la sucesión cronológica relativa de las etapas de deformación frágil en la Sierra de Pachuca, es un elemento fundamental para entender los procesos de la captación pluvial en la región y la mineralización en el distrito minero Pachuca-Rosal del Monte. A partir de la cartografía geológica, se han identificado 4 etapas de deformación frágil que afectan a rocas de composición predominantemente félsica del Plioceno-Cuaternario. Siguiendo el orden cronológico relativo, la primera etapa de deformación frágil (F1) se caracteriza por fallas normales NW-SE, con el bloque del techo hacia el NE y se asocia con el empujamiento de bloques félsicos. La segunda etapa (F2) está constituida por fallas normales predominantemente E-W y con el bloque del techo hacia el S. La tercera etapa (F3) constituye fallas de trans-rección con desplazamiento lateral derecho y componente normal con el bloque del techo hacia el S, ocurriendo a lo largo de planos subparalelos a F1. La etapa F4 es la más reciente ya que afecta a depósitos epiclasticos y se caracteriza por fallas inversas NW-SE con el bloque del techo hacia el SW.

TÓPICO II: CIENCIAS DE LA TIERRA

Palabras Clave: Geología, Sierra de Pachuca, Deformación Frágil, Sucesión Cronológica, Captación Pluvial

1. INTRODUCCIÓN

La observación y estudio de la deformación frágil se limita a la parte superior de la corteza terrestre, esto debido a que la deformación provocada por mecanismos cristalino-plásticos no es visible en las zonas expuestas en superficie. Por otro lado, las fallas en los orógenos modernos proporcionan información crítica acerca de los mecanismos responsables de la deformación frágil [1]. La Sierra de Pachuca (SP) constituye parte de un orógeno relativamente joven, constituido por rocas volcánicas del terciario subyacentes por rocas sedimentarias del mesozoico superior y terciario inferior, las cuales han estado sujetas a episodios tectónicos de deformación

## GEOLOGÍA Y DEFORMACIÓN FRÁGIL DE LOS CERROS LA SOTOLERA Y LA CRUCITA, AL ORIENTE DE PACHUCA

J. C. Escamilla Casas,<sup>1,\*</sup>, E. Meneses-Meneses<sup>2</sup>, E. M. Uribe Alcántara<sup>1</sup>, E. Ortiz Hernández<sup>1</sup>, S. Montiel Palma<sup>3</sup>, A. O. Ortega Reyes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184

<sup>3</sup>Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184

\*Autor de correspondencia: [jocesca@uaeh.edu.mx](mailto:jocesca@uaeh.edu.mx)

### RESUMEN

La determinación de la sucesión cronológica relativa de las etapas de deformación frágil en la Sierra de Pachuca, es un elemento fundamental para entender los procesos de la captación pluvial en la región y la mineralización en el distrito minero Pachuca-Real del Monte.

A partir de la cartografía a semidetalle en los cerros La Sotolera y La Crucita, al oriente de Pachuca, se han identificado 4 etapas de deformación frágil que afectan a rocas de composición predominantemente félsica del Plioceno-Cuaternario. Siguiendo el orden cronológico relativo, la primera etapa de deformación frágil (F<sub>1</sub>) se caracteriza por fallas normales NW-SE, con el bloque del techo hacia el NE y se asocia con el emplazamiento de diques félsicos. La segunda etapa (F<sub>2</sub>) está constituida por fallas normales predominantemente E-W y con el bloque del techo hacia el S. La tercera etapa (F<sub>3</sub>) la constituyen fallas de trans-tensión con desplazamiento lateral derecho y componente normal con el bloque del techo hacia el S, ocurriendo a lo largo de planos subparalelos a F<sub>1</sub>. La etapa F<sub>4</sub> es la más reciente ya que afecta a depósitos epiclásticos y se caracteriza por fallas inversas NW-SE con el bloque del techo hacia el SW.

Por lo anterior, se sustenta la hipótesis de que la deformación frágil en la región constituye un continuo pulsante y que, muy probablemente, tenga actividad en el presente.

**Palabras Clave:** Geología, Sierra de Pachuca, Deformación Frágil, Sucesión Cronológica, Captación Pluvial

### 1. INTRODUCCIÓN

La observación y estudio de la deformación frágil se limita a la parte superior de la corteza terrestre, esto debido a que la deformación provocada por mecanismos cristalino-plásticos no actúa en las zonas expuestas en superficie. Por otro lado, las fallas en los orógenos modernos, proporcionan información crítica acerca de los mecanismos responsables de la deformación frágil [1].

La Sierra de Pachuca (SP) constituye parte de un orógeno relativamente joven, constituido por rocas volcánicas del terciario subyacidas por rocas sedimentarias del mesozoico superior y terciario inferior, las cuales han estado sujetas a episodios subsecuentes de deformación

[2]. La importancia del estudio de la deformación frágil en la SP, se originó con los trabajos encaminados al entendimiento los procesos responsables de la mineralización en el Distrito Minero Pachuca – Real del Monte, la cual se caracteriza por el emplazamiento de los fluidos mineralizantes conformando vetas asociadas a fallas [3]. Por otro lado, de acuerdo a los resultados e interpretaciones recientemente presentadas por Escamilla-Casas et al., 2017 [4], indican que la densidad de fracturas coincide con las zonas de recarga fluvial. El objetivo del presente estudio, es establecer el orden cronológico de las etapas de la deformación frágil en el oriente de la Sierra de Pachuca, mediante la cartografía geológica a detalle, análisis cinemático de fallas menores y el establecimiento de las relaciones de corte. Como resultado, se observa que la etapa de deformación más antigua se asocia con el emplazamiento de diques y que la etapa más joven se caracteriza por un régimen de acortamiento de la corteza, el cual es responsable de la formación de fallas inversas. Los cerros La Sotolera y La Crucita se localizan entre las coordenadas UTM 2221000-2222000 m N y 53200-533000 m E, con una elevación máxima de 2685 msnm. Estos positivos topográficos son parte de la Sierra de Pachuca y dominan la porción norte del municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo (Figura 1).

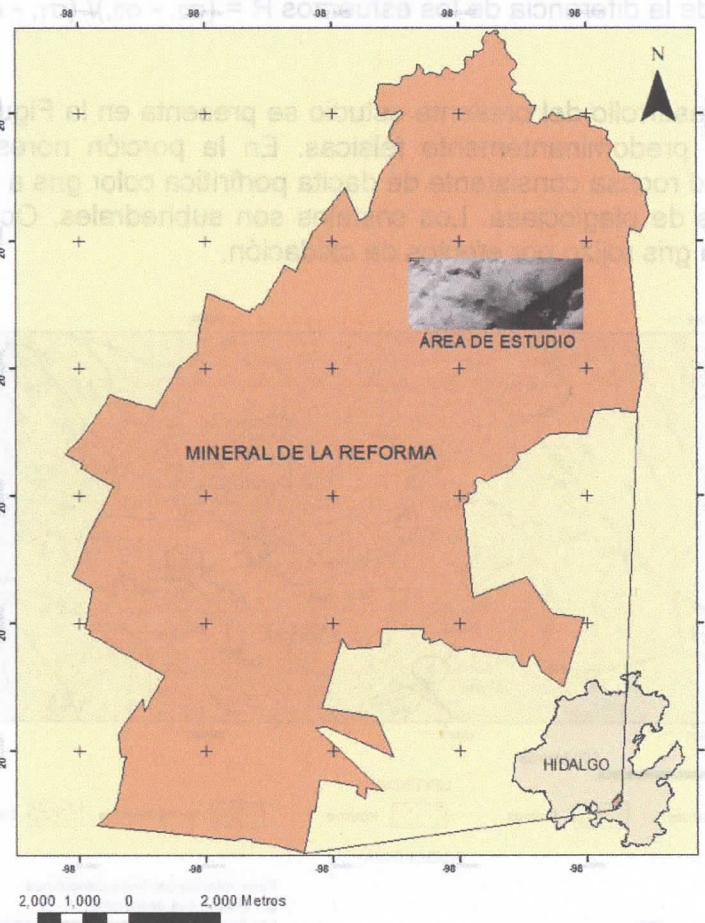


Figura 1. Mapa de localización del área estudiada (rectángulo con relieve), dentro del área que representa al Municipio de Mineral de la Reforma. En la esquina inferior derecha, se muestra la localización del municipio de Mineral de la Reforma con respecto al estado de Hidalgo.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Para la elaboración del mapa geológico a detalle se utilizó el programa computacional ArcMap 10. Así mismo, se utilizó la misma versión de ArcMap para manipular y referir geográficamente los datos estructurales y litológicos. El programa FaultKin [5] se utilizó para proyectar los planos de falla, las estructuras lineales correspondientes a las estrías de falla y la cinemática de estas. La base topográfica utilizada corresponde a la hoja INEGI F14D81; proyectadas en sistema de coordenadas UTM, elipsoide WGS84, zona14 norte y densidad de curvas de nivel a cada 10 m. Los datos geológico-estructurales se refirieron geográficamente mediante una unidad portátil de navegación GPS, Mobil Global Mapper 20. Para obtener los datos estructurales en el campo, se utilizaron brújulas tipo Brunton. La determinación de la cinemática de las fallas se hizo a partir de los criterios descritos por Petit, 1987 [6] para identificar estructuras Riedel, estructuras escalonadas, pliegues de arrastre, surcos, etc.

La actitud geológica del plano de falla, las estrías de falla y los sentidos de desplazamiento se utilizaron para computar los 4 parámetros del tensor de paleoesfuerzos: el eje de los esfuerzos principales  $\sigma_1$  (compresión máxima),  $\sigma_2$  (compresión intermedia y  $\sigma_3$  (compresión mínima) y la proporción de la diferencia de los esfuerzos  $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$  [5].

## 3. RESULTADOS

El mapa resultante del desarrollo del presente estudio se presenta en la Figura 2. En el área estudiada afloran rocas predominantemente félsicas. En la porción noreste del área de estudio, aflora una unidad rocosa consistente de dacita porfírica color gris a gris oscuro, con abundantes fenocristales de plagioclasa. Los cristales son subhedrales. Ocasionalmente el color de la roca cambia a gris rojizo por efectos de oxidación.

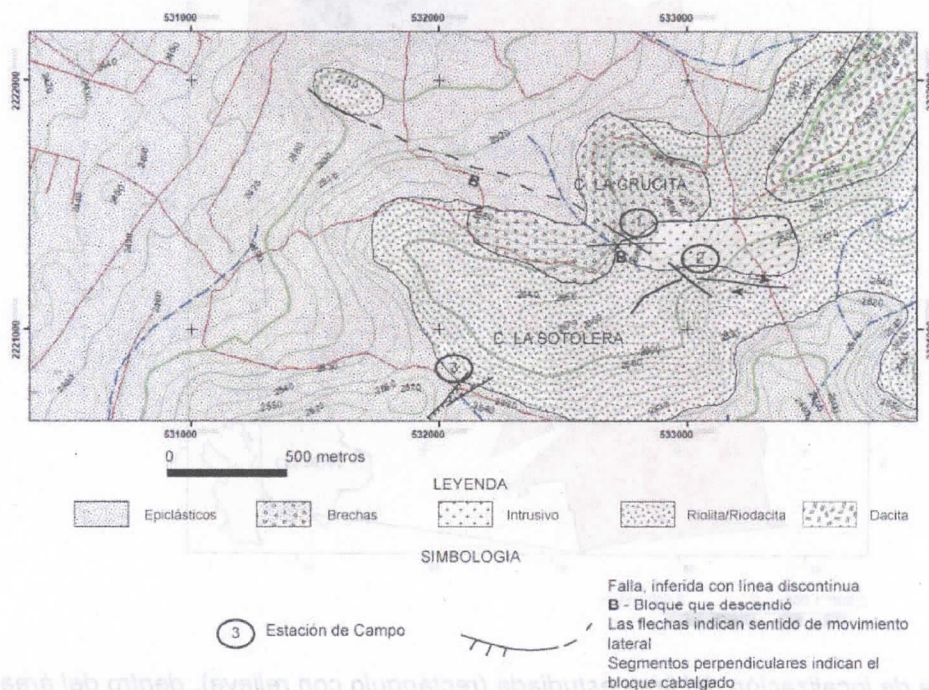


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio. La información estructural de las fallas en cada una de las estaciones de campo se resume en la Tabla 1.

A la unidad anterior, le sobreyace discordantemente una unidad litológica compuesta por riolitas a riolacitas, se caracteriza por tener abundantes estructuras fluidales, pliegues y planos de flujo subparalelos entre sí. El espesor estimado de la unidad riolita a riolacita, a partir de su dominio topográfico, es de aproximadamente 550 m. Esta unidad aloja a un intrusivo de pórfido cuarcítico, gris claro y en ocasiones blanco, con una orientación preferencial E-W. El pórfido cuarcítico presenta abundantes cristales de cuarzo subhedrales a anhedrales, de color gris claro a gris, embebidos en una matriz de cuarzo y feldespato hipohialina a hipocristalina. El cuerpo intrusivo ocasionalmente presenta oxidación en los planos de fractura.

Hacia la porción noreste del Cerro La Sotolera y la cima del Cerro la Crucita, aflora una brecha volcánica constituida por fragmentos del pórfido, embebidos en una matriz predominantemente riolítica. Sin embargo, estas brechas no afloran en la porción sur del Cerro La Sotolera.

Los depósitos epiclásticos predominan en las áreas topográficamente bajas y están constituidos por material derivado de la erosión del material volcánico circundante. Así mismo, dentro de esta unidad se observan, depósitos piroclásticos de caída y de flujo de cenizas discordantemente intercalados. Los depósitos epiclásticos presentan abundantes capas subparalelas de caliche. Finalmente, en la regolita se pueden observar fragmentos de obsidiana negra a verde oscuro de 1 a 3 cm.

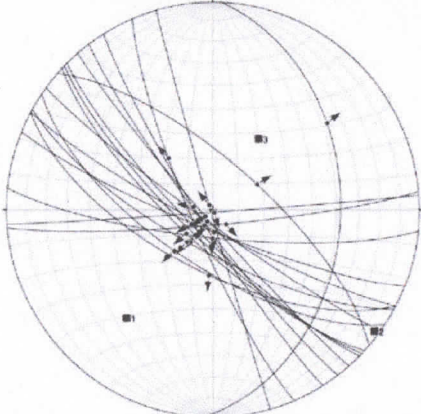
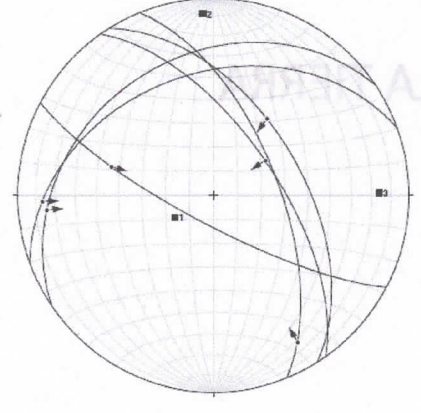
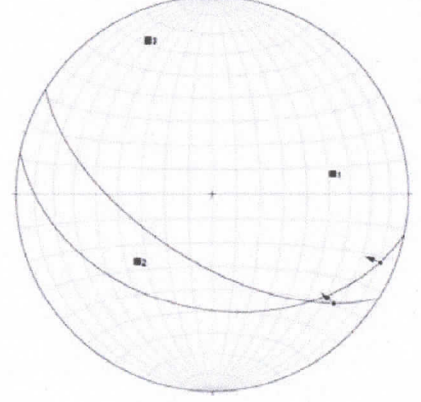
Los resultados de las observaciones realizadas en los planos de falla, se resumen en la Tabla 1. En la estación uno, se observa la ocurrencia de todas las generaciones de fallamiento que afectan la región, aquí denominadas  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  y  $F_4$ . La etapa  $F_1$  se considera más antigua, misma que por las subsecuentes etapas de fallamiento ha sido obliterada y se dificulta la observación y determinación de la cinemática a partir de estructuras menores. La orientación preferencial de los planos de falla de esta etapa es NW-SE. La etapa  $F_2$  es muy característica y está constituida por fallamiento normal, con el bloque del techo hacia el sur.

La etapa  $F_3$  es la que, a consideración de los autores, corresponde a una reactivación a lo largo de los planos de fallamiento correspondientes a la etapa  $F_1$ . Se caracteriza por un movimiento lateral derecho, generando ondulaciones en los planos de falla  $F_1$  y generando estrías subhorizontales. Los planos de falla correspondientes a esta etapa, cortan a los planos considerados como propios de la etapa  $F_2$ . Finalmente, las fallas que se consideran como la etapa  $F_4$ , son inversas y afectan a los depósitos epiclásticos.

#### 4. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permite concluir que la deformación frágil en la Sierra de Pachuca está activa y que bien se puede considerar como un continuo pulsante. A partir de los planos de falla observados, se pueden identificar 4 etapas de fallamiento,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , y  $F_4$ . El establecimiento del orden de las etapas de fallamiento se basa, principalmente, en las relaciones de corte entre los planos de falla, las estructuras de reactivación y la afectación de los depósitos más jóvenes, en este caso, los epiclásticos. El fracturamiento de la roca a lo largo de planos preferenciales conocidos, permitirá la identificación de zonas de recarga y de captación pluvial. Por otro lado, la determinación de los eventos de deformación proporcionará más información para el estudio del comportamiento de la mineralización en el distrito Pachuca-Real del Monte. Finalmente, se concluye que, a pesar de existir trabajos de estudio geológico en la Sierra de Pachuca, es necesario reinterpretar la cartografía mediante una escala a detalle o semidetalle.

Tabla 1. Resultados de la orientación de planos, estrías y cinemática de los bloques de falla. Para ubicación de las estaciones, referirse a la Figura 2

Estereograma	Descripción	Estación
	<p>Número de planos de falla analizados: 19</p> <p>Dirección/inclinación en grados de los esfuerzos principales:  <math>\sigma_1</math> 218.8/33.3; <math>\sigma_2</math> 127/2.8;  <math>\sigma_3</math> 32.8/56.6</p>	Uno
	<p>Número de planos de falla analizados: 6</p> <p>Dirección/inclinación en grados de los esfuerzos principales:  <math>\sigma_1</math> 241.2/71.5; <math>\sigma_2</math> 356.6/8.2; <math>\sigma_3</math> 89.1/16.5</p>	Dos
	<p>Número de planos de falla analizados: 2</p> <p>Dirección/inclinación en grados de los esfuerzos principales:  <math>\sigma_1</math> 80.4/37.8; <math>\sigma_2</math> 228.5/47.6; <math>\sigma_3</math> 337.3/16.4</p>	Tres

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido realizado como parte de los siguientes proyectos de investigación: “Caracterización en un Espacio Bidimensional de Fallas y Fracturas en la Sierra de Pachuca” y “Desarrollo de una metodología para la creación de mapas de riesgo estatales por procesos de Remoción de Masa con base en Sistemas de Información Geográfica”.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] R. Marrett, R. W. Allmendinger. *Journal of Structural Geology*. 13-6 (1991) 735-738.
- [2] E. Fitz-Díaz, T. F. Lawton, E. Juárez-Arriaga, G. Chávez-Cabello. *Earth-Science Reviews* (2017) 34-39.
- [3] A.R. Geyne, C. Fries Jr., K. Segerstrom, R.F. Black, I.F. Wilson, *Geology and Mineral Deposits of the Pachuca-Real del Monte District, State of Hidalgo, Mexico, Publication 5E, Consejo de Recursos Naturales no Renovables, México, D. F. (1963) 200-213.*
- [4] J.C. Escamilla Casas, E. Meneses Meneses, E. Ortiz Hernández, E.M Uribe Alcántara, E. Cruz Chávez. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*. 4 (2017) 85-91.
- [5] R. W. Allmendinger, N. C. Cardozo, D. Fisher. *Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors*, Cambridge University Press, Cambridge, England, (2012) 289.
- [6] J. P. Petit. *Journal of Structural Geology*. 9, 5/6 (1991) 597- 608.