

## Actividad de una falla geológica superficial y registro de sus daños en edificaciones en Pabellón de Hidalgo, Aguascalientes

### Activity of a surface geologic fault and record of damage caused to buildings in Pabellon de Hidalgo, Aguascalientes

Martín Hernández Marín<sup>1\*</sup>, María de Jesús Láriz Medina<sup>2</sup>

Hernández Marín, M., Láriz Medina, M. J. Actividad de una falla geológica superficial y registro de sus daños en edificaciones en Pabellón de Hidalgo, Aguascalientes. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 66: 22-27, septiembre-diciembre 2015.

#### RESUMEN

En el valle de Aguascalientes las discontinuidades geológicas han producido muchos daños en edificaciones. En este estudio se presentan y discuten algunos de esos daños y su relación con la actividad de una falla geológica que las afecta. La zona estudiada es Pabellón de Hidalgo, municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes; donde aproximadamente 32 edificaciones presentan riesgo de colapso por efectos de una falla geológica. La metodología consistió en analizar estadísticamente daños en edificaciones y en monitorizar desplazamientos por un periodo máximo de 203 d mediante la colocación de 17 fisurómetros en las construcciones afectadas por la falla, en su mayoría viviendas. Mediante desviación estándar se encontraron frecuencias máximas de grietas en muros de 0.170 a 0.961 m de longitud, de 0.015 a 0.531 cm en abertura máxima, y de 33.75° y 45.0° en inclinaciones con respecto a la horizontal. La monitorización indica que la falla está actualmente activa, con variaciones en las deformaciones de has-

**Palabras clave:** desplazamiento vertical, discontinuidad geológica, falla geológica, fisurómetro, desplazamiento horizontal.

**Keywords:** vertical displacement, geologic discontinuity, geologic fault, fissurometer, horizontal displacement.

Recibido: 11 de marzo de 2014, aceptado: 29 de enero de 2015

<sup>1</sup> Departamento de Geotecnia e Hidráulica, Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

<sup>2</sup> Dirección de Obras Públicas, municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes, México.

\* Autor para correspondencia: mhernandez@correo.uaa.mx

ta 9.5 mm verticalmente y 10 mm horizontalmente, así como una mayor deformación en el segmento sur en el periodo medido.

#### ABSTRACT

Geologic discontinuities affecting the Aguascalientes valley have produced several cases of structural damage in buildings. In this research, damage and their relationship with the activity of a fault are presented and analyzed. The studied zone is Pabellon de Hidalgo, municipality of Rincon de Romo, Aguascalientes, in which approximately 32 buildings present risk of collapsing by the activity of a geologic fault. The methodology of this research consisted of a statistical analysis of damage to buildings and in sequentially monitoring displacements for a maximum period of 63 days through 17 fissurometers placed in the affected buildings along the fault, which were mainly homes. The statistical analysis using standard deviation showed maximum frequencies in the cracks in buildings of 0.170 to 0.961 in length; 0.015 to 0.531 cm in maximum apertures, and 33.75° to 45° in dip angles. According to monitoring, the fault is still active, with variations in displacements from 9.5 mm and 10 mm horizontally and vertically, respectively.

#### INTRODUCCIÓN

El problema de las discontinuidades superficiales (fallas y fracturas) en el valle de Aguascalientes es una situación de actualidad que ha causado daños en infraestructura y grandes pérdidas económicas. Este problema fue documentado probablemente por primera

vez en la década de los ochenta (Aranda Gómez y Aranda Gómez, 1985) y desde entonces el gobierno municipal ha estado actualizando periódicamente la información cartográfica de las discontinuidades superficiales en el valle, cuyos resultados pueden visualizarse en el plano del portal electrónico de la Secretaría de Obras Públicas de Aguascalientes (2015).

Se ha reportado que la gran mayoría de estas discontinuidades se manifestaron en la superficie a inicios de la década de los ochenta, época en la que el bombeo de agua subterránea se intensificó drásticamente (Aranda Gómez, 1989). Sin embargo, el origen preciso de algunas de ellas sigue siendo discutible, ya que se han encontrado evidencias que sugieren una edad anterior al bombeo, como se indica en los trabajos de Hernández Marín et al. (2013) y Pacheco Martínez et al. (2013).

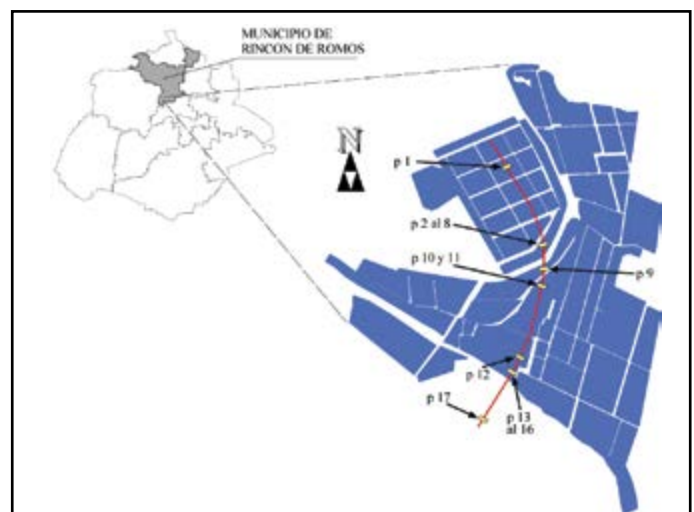
Anteriormente, Aranda Gómez y Aranda Gómez (1985) habían propuesto las primeras hipótesis sobre el origen de las discontinuidades, las cuales eran: 1) abatimiento de acuíferos, con base en la observación de que el número de discontinuidades empezó a acentuarse a partir de la década de los ochenta cuando el bombeo de agua subterránea se hizo más intensivo dentro del valle; 2) deslizamiento paulatino del suelo (*creep*), por el hecho de que gran parte de las discontinuidades —en el caso de fallas—, tienen su bloque caído hacia las partes topográficamente más bajas del valle; 3) movimientos tectónicos, porque las discontinuidades principales del valle son casi paralelas (orientación preferencial norte-sur) a las dos grandes fallas geológicas que flanquean el valle, hipótesis que se refuerza por los resultados obtenidos por Hernández Marín et al. (2013) y por Pacheco Martínez et al. (2013), en los que se sugiere una antigüedad mayor al inicio del bombeo en muchas de las discontinuidades.

Para este trabajo en particular se conceptualiza a la falla como una estructura geológica con desplazamiento horizontal diferencial en la dirección de la línea de falla (movimiento transcurrente) o con desplazamiento vertical diferencial; mientras que una fractura se define como una estructura con abertura superficial por desplazamiento horizontal o por erosión, sin claro desplazamiento vertical. Ambos conceptos se manejan indistintamente como discontinuidad. En el valle de Aguascalientes, como posiblemente en otros que presentan el problema de la deformación superficial, los daños en edificaciones derivadas de las discontinuidades geológicas son de interés socioeconómico, debido a que estas afectaciones causan pérdidas tanto al gasto público como privado, esto por las pérdidas mo-

netarias para los dueños de los inmuebles afectados por reparaciones o por pérdida total; además del riesgo que una estructura afectada representa a sus moradores por potenciales colapsos súbitos de miembros estructurales como muros o techos. Hasta el 2010 se tenían reportadas un total de 209 discontinuidades dentro del valle de Aguascalientes, con una longitud de 316,384 m y más de 2,000 inmuebles afectados en menor o mayor grado (Secretaría de Obras Públicas, 2010).

Existe dentro del valle de Aguascalientes un importante número de comunidades afectadas por fracturas y fallas, en donde se incluye la ciudad de Aguascalientes. Una de estas comunidades es Pabellón de Hidalgo, perteneciente al municipio de Rincón de Romos, a la cual para el 2013 se le estimó una población de 4006 personas que habitaban 896 viviendas (Nuestro-Mexico.com, 2013). De dichas viviendas un gran número se observan afectadas por una única falla local, a la cual hasta el año 2010 se le reportaba una longitud total de 800.7 m en su línea superficial (SOP, 2010) y actualmente presenta una orientación azimutal promedio de  $20^\circ$  en su tramo sur de longitud de 640 m a partir de su límite sur, que cambia a  $340^\circ$  en su tramo norte a partir de esos 640 m.

A diferencia de la longitud reportada por la SOP (2010), en este estudio se obtuvo una longitud de 913.3 m, lo cual implica un alargamiento efectivo de su manifestación en superficie de más de 100 m en un periodo de 4 años. Es de recalcar que la similitud entre la traza de esta falla y las curvas topográficas del lugar. La Figura 1 muestra sobre el mapa urbano de la población



**Figura 1.** Esquema de la población de Pabellón de Hidalgo dentro del estado. Se muestra además la falla que la afecta (línea en rojo) y los puntos en los que se colocaron los fisurímetros. Imagen de los autores.

de Pabellón de Hidalgo su relativa ubicación dentro del estado de Aguascalientes y la posición de la falla dentro de la mancha urbana.

Este trabajo tiene como primer objetivo presentar y discutir los desplazamientos de la falla local por medio de los datos obtenidos mediante 17 fisurómetros colocados estratégicamente en edificaciones a lo largo de su traza y posteriormente discutir los resultados estadísticos de las principales afectaciones en viviendas seleccionadas, en donde se tiene como marco de análisis una en particular que estadísticamente representa a las afectadas en esa zona en cuanto a materiales utilizados, distribución arquitectónica y técnicas constructivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología consistió en registrar la actividad de la falla mediante los desplazamientos medidos en algunos de los elementos constructivos, principalmente viviendas, en la localidad de Pabellón de Hidalgo, así como evaluar cuantitativamente los daños en edificaciones.

### Determinación de daños en construcciones

La inspección del inmueble es la parte inicial para determinar los daños de la edificación. En el caso particular de este trabajo, se verificó que la casa estuviera afectada directamente por la falla geológica, se cotejó la geoposición de la falla y la construcción. Se verificó también que estuviera construida con el mismo material y la misma técnica que la mayoría de las casas en la comunidad, aparte de contar con una distribución arquitectónica promedio; esto último se logró mediante un censo de las mismas. La información recabada sobre las afectadas por la falla, los tipos de daños y sus magnitudes, se agregaron a un registro general con la fina-

lidad de determinar las frecuencias de los datos y establecer una potencial relación entre los mismos. Existen diversos criterios para monitorizar los daños en los elementos constructivos, uno de los principales es por cambios topográficos; es decir, por determinación de los niveles de las deformaciones del piso, desplazamientos y desplomes de muros y deflexiones en la losa. En este trabajo se tomaron mediciones directas en las grietas en muros de mampostería utilizando sencillos sistemas de medición como lo son láminas de control, vernier, y flexómetros. Estos utensilios sirvieron para determinar anchos y longitudes de las grietas, mientras que para determinar los ángulos con respecto a la horizontal se utilizó simple trigonometría que nos permitió determinar valores promedio.

### Control de desplazamientos de la falla

Para medir los desplazamientos se emplearon fisurómetros, los cuales consisten en dos placas de resina acrílica parcialmente superpuestas. La placa frontal está grabada con una cruz en rojo que representa los ejes cartesianos, mientras que la posterior presenta una cuadrícula grabada en mm (Figura 2). El movimiento de la grieta se obtiene en mm o fracciones y se determina por el movimiento de la cruz en la cuadrícula milimétrica. Los fisurómetros se colocaron de manera horizontal y se pudieron registrar desplazamientos horizontales y verticales. Se fijaron un total de 17 fisurómetros en edificaciones afectadas a lo largo de la falla geológica, principalmente sobre grietas en muros y guarniciones de vías de comunicación, en lugares en los cuales el contacto humano era muy poco probable, con el fin de evitar manipulación en los desplazamientos. El periodo máximo de medición estuvo comprendido desde el 7 de febrero hasta el 29 de agosto de 2013 (203 d). La Figura 1 incluye los puntos en los que se colocaron los fisurómetros a lo largo de la falla. La Figura 2 muestra dos fisurómetros, uno colocado sobre una grieta en el muro de una vi-



**Figura 2.** Ejemplos de dos fisurómetros (p-10 (a) y p-17 (b)) y su colocación en las diferentes estructuras dentro de la población. Fotografías tomadas por los autores.

vienda afectada (a) y el otro sobre una guaración en un estacionamiento al sur de la población (b).

**RESULTADOS**

**Registro de daños en edificaciones**

Un censo de afectaciones por la falla geológica permitió identificar 32 predios, de los cuales solo dos corresponden a lotes baldíos, mientras que 24 corresponden a casas habitación, entre las cuales solo tres están actualmente deshabitadas. Los datos del censo además indican que las edificaciones afectadas están preferencialmente construidas con lo que se conoce como tabique rojo recocido con dimensiones de 7 x 14 x 28 cm, unido con mortero cemento-cal-arena, y ligados con castillos y cadenas de concreto armado (muro de tabique confinado). Los techos de estas edificaciones están basados principalmente en viguetas formadas por dos ángulos metálicos “espalda con espalda” de dimensión promedio de 1 ½” x 1 ½” x ½” y tabique rojo recocido (cuña) de dimensiones 4 x 14 x 28 cm, este sistema constructivo representa alrededor de 79% de las casas tanto de uno como de dos niveles.

Para el análisis de afectaciones se seleccionó una vivienda tipo representativa del promedio de las construcciones. Esta se encuentra en la calle Enrique Zúñiga # 108, al norte de la población de Pabellón de Hidalgo, con una superficie construida de 164.46 m<sup>2</sup>. En la misma se realizaron una serie de minuciosas mediciones de las afectaciones, cuyos resultados se presentan en las Figuras 3 y 4. Se puede apreciar que un poco más de la mitad de los muros que la componen (56.86%) están dañados. Se contabilizaron un total de 101 grietas individuales en 29 paredes dañadas, en las cuales las longitudes obtenidas son variadas aunque predominan grietas cortas, y la que predomina posee una longitud de aproximadamente 40 cm. Cabe mencionar que en los casos en los que una grieta se segmentaba, el criterio tomado fue semejante al de clasificación de corrientes hidrológicas; es decir, se tomaba la principal como una sola grieta y cada división como otra nueva. Generalmente la principal presentaba más abertura y era fácil de distinguir.

En cuanto a los anchos máximos de las grietas se estableció que hay un claro predominio de la cifra 26 mm como la más común, mientras que en cuanto al ángulo promedio con respecto a la horizontal de las mismas una cifra cercana a los 40° es la predominante (39.38°). Finalmente, se encontró que entre los muros afectados, la densidad del agrietamiento es



Figura 3. Porcentajes de muros afectados en la vivienda tipo.

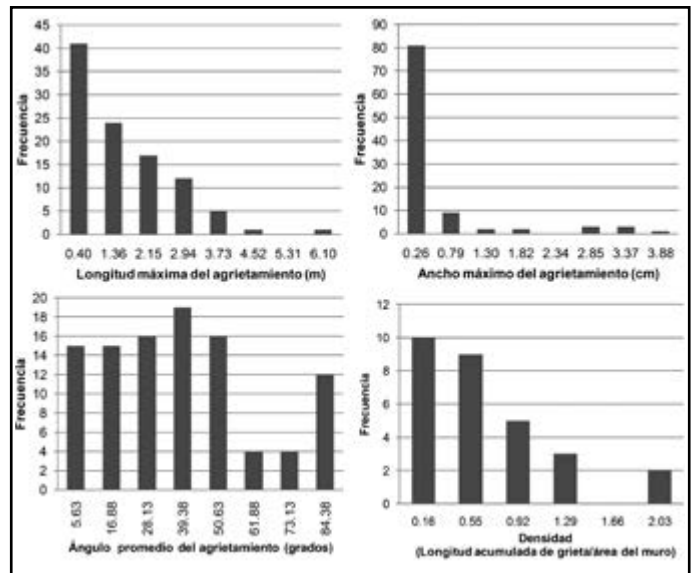
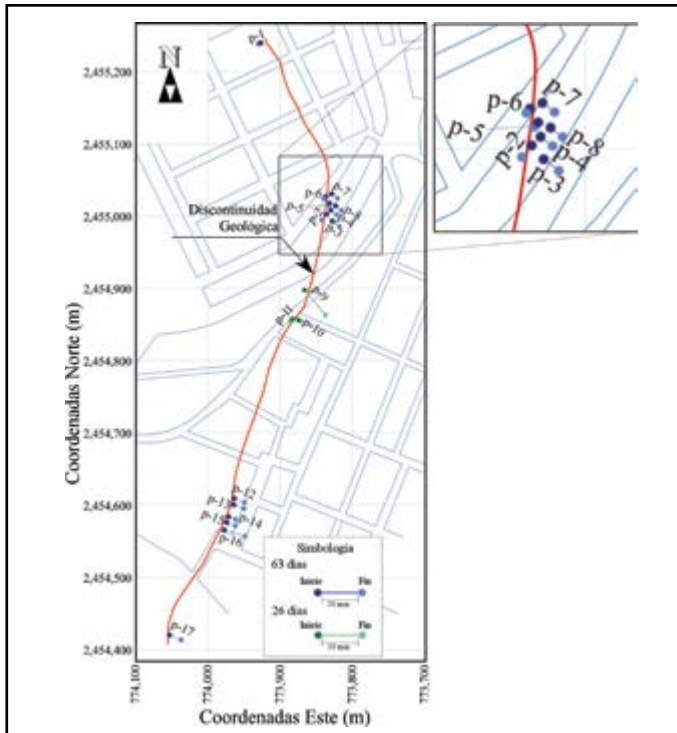


Figura 4. Gráficos de frecuencias de las principales características geométricas de las grietas en elementos constructivos en la vivienda tipo.

del orden de 0.16 m de longitud por cada metro cuadrado de muro (m/m<sup>2</sup>). Cabe mencionar que solo se consideraron a las grietas como afectaciones; no se consideraron pandeos de muros ni desnivelaciones, entre otras potenciales afectaciones.

**Desplazamientos por actividad de la falla**

Los desplazamientos registrados en los fisurómetros indican una dinámica muy heterogénea de la falla geológica a lo largo de su traza. Se observa además que la falla en su parte sur registró más actividad en el periodo de medición, ya que los desplazamientos máximos se localizan en esa porción. Estos desplazamientos relativos tanto horizontales como verticales se pueden observar en las Figuras 5 y 6.



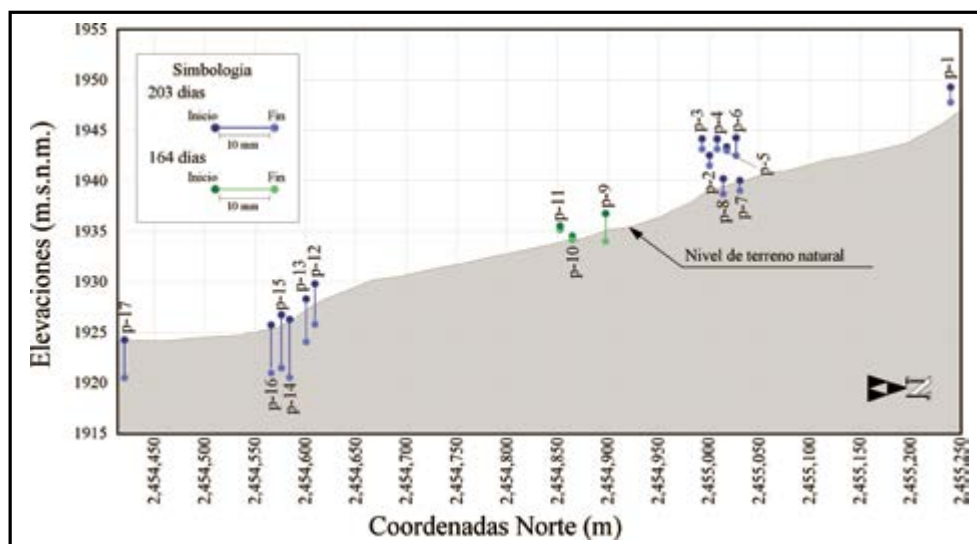
**Figura 5.** Desplazamientos horizontales registrados. La mayoría de los fisurómetros fueron colocados de modo perpendicular a la traza de la discontinuidad, pocos se colocaron en muros paralelos u oblicuos a la traza; por ejemplo, el p 2 y el p 5. Imagen de los autores.

Se puede apreciar que la magnitud de los desplazamientos en un periodo de medición máximo de 203 días alcanzó 9.5 mm en la dirección vertical y 10 mm en la horizontal. En la Figura 5, se observa

que la magnitud registrada en el fisurómetro p-9 es la que muestra el desplazamiento horizontal máximo alcanzado cercano a los 10 mm, destaca que esa magnitud se alcanzó en un periodo de 164 días, menor al periodo de medición de la mayoría de los fisurómetros. En la traza de la falla bajo estudio, como se mencionó al principio, tanto los desplazamientos horizontales como los verticales muestran valores ligeramente mayores hacia el sur de la población, lo cual es una observación muy llamativa, una explicación plausible sobre este resultado es que hacia el sur los sedimentos tienen un comportamiento mecánico más plástico porque cuentan con más material de grano fino como limo o arcilla debido a la cercanía con una corriente natural de agua superficial. Este hecho se confirmó durante las observaciones de campo, ya que en las cercanías de esta corriente existe una predominancia de suelos limoarenosos y limoarcillosos. Generalmente este tipo de suelos plásticos soportan más deformación sin presentar falla frágil ante esfuerzos impuestos, como en este caso los esfuerzos que acompañan a la aparición de una falla geológica superficial. Aunque esta última explicación es solo sugerencia, podrían necesitarse estudios más detallados para confirmarlos.

**DISCUSIÓN**

Hasta la fecha, los trabajos documentados en publicaciones científicas que incluyen un análisis cuantitativo y de tipificación de daños por discontinuidades superficiales así como de monitorización de desplazamientos por una discontinuidad son muy escasos



**Figura 6.** Magnitud de desplazamientos verticales en los fisurómetros colocados. Al igual que en la figura anterior, la escala fue adecuada para magnificar la magnitud de los desplazamientos. Imagen de los autores.

(por ejemplo, Ortiz Lozano et al., 2010). En cuanto a los daños en edificaciones, la mayoría de los trabajos científicos se enfocan en afectaciones derivadas por sismos en los que, a diferencia de una discontinuidad superficial, los esfuerzos se aplican por un lapso muy corto de tiempo, ello da como resultado desplazamientos de varios mm o cm en unos cuantos segundos, lo que ocasiona el colapso estructural de algunas viviendas.

En cambio, en este estudio por ejemplo, los elementos estructurales presentaron una tasa promedio de desplazamiento vertical de 0.046 mm/día y horizontal de 0.061 mm/día (caso particular del fisurómetro p-9), aun sin colapso de alguna vivienda. Por otro lado, es más común que los estudios de desplazamientos superficiales se apliquen a grandes áreas, por ejemplo, en un estudio elaborado en el valle del Picacho, Arizona, EE.UU. (Carpenter, 1993), y en el que se utilizaron sofisticados extensómetros se encontraron desplazamientos de 0.46 cm horizontalmente y 16.7 cm verticalmente en un periodo de 4 años de medición. Si se consideran esos valores se puede decir

que la falla de Pabellón de Hidalgo es una de las más activas, como posiblemente lo sean muchas dentro del valle de Aguascalientes.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que: a) El registro de afectaciones en edificaciones permitió establecer que la falla geológica que afecta la comunidad de Pabellón de Hidalgo está activa, con máximos desplazamientos verticales de 9.5 mm y 10 mm horizontales del periodo medido. b) Los sondeos de las principales afectaciones en una vivienda tipo en la localidad estudiada entre las que se encuentran las características geométricas de las grietas producto de los esfuerzos derivados de la falla local, arrojan longitudes de 40 cm, dominancia clara de anchos máximos de 0.26 cm, ángulo de inclinación muy variado aunque con ligera predominancia de 39.38°, y una densidad de agrietamiento de 0.16 m por m<sup>2</sup> de muro. Los datos en esta vivienda tipo indican que más de la mitad de sus muros (56.86%) presentan afectaciones mediante agrietamientos.

## LITERATURA CITADA

- ARANDA GÓMEZ, J. J. Geología preliminar del graben de Aguascalientes. *Revista del Instituto de Geología*, 8(1): 22-32, 1989.
- ARANDA GÓMEZ, J. M. y ARANDA GÓMEZ, J. J. *Análisis del agrietamiento en la ciudad de Aguascalientes. Informe anual*. Aguascalientes, México: Universidad Autónoma de Aguascalientes, 1985.
- HERNÁNDEZ MARÍN, M. et al. Condiciones para la aparición de fracturas en el valle de Aguascalientes. *Memorias de la Reunión Anual 2013 de la Unión Geofísica Mexicana*, 2013.
- ORTIZ LOZANO, J. A. et al. Assessment of the state and condition of damaged buildings and structures affected by land subsidence. *Proceedings of the Eighth International Symposium On Land Subsidence*, 449-451, 2010.
- PACHECO MARTÍNEZ, J. et al. Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology*, 164(0): 172-186, 2013.
- De páginas electrónicas
  - CARPENTER, M. C. Earth-fissure movements associated with fluctuations in ground-water levels near the Picacho Mountains, South-Central Arizona, 1980-84. *US Geological Survey Professional Paper 497-H*. US Department of the Interior. Washington, USA: United States Government Printing Office, 1993. Recuperado de <http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/pp/pp497H>
  - NUESTRO-MEXICO.COM. Pabellón de Hidalgo-Aguascalientes, 2013. Recuperado de <http://www.nuestro-mexico.com/Aguascalientes/Rincon-de-Romos/Pabellon-de-Hidalgo/>
  - SOP (SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES). *Sistema de información de fallas geológicas y grietas-SIFAGG. Introducción* [Documento pdf]. 2010. Recuperado de <http://www.aguascalientes.gob.mx/sop/sifagg/web/Documentos/Introduccion.pdf>
  - SOP (SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES). *Sistemas de fallas geológicas y grietas [Plano geológico]*. 2015. Recuperado de <http://www.aguascalientes.gob.mx/sop/sifagg/web/mapa.asp>