



Las discontinuidades superficiales activas, su rol en la recarga de acuíferos y en la calidad del agua subterránea

Active surface discontinuities, their role in aquifer recharge and groundwater quality

Martín Hernández Marín ¹ ✉, Norma González Cervantes ¹, Ángel Adrián Delgado Franco ²

¹ Universidad Autónoma de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Civil.

² Universidad Autónoma de Aguascalientes, Maestría en Ingeniería Civil.

Resumen

El presente trabajo se enfoca en discutir el rol que están jugando las discontinuidades superficiales en la recarga y contaminación de aguas subterráneas. Se analiza el valle de Aguascalientes, que presenta discontinuidades asociadas a subsidencia, y las cuales presentan un incremento en su permeabilidad en el suelo que afectan. Mediante la utilización de métodos que incluyen permeámetro de campo, geofísicos, y análisis geoespacial, se discuten casos de estudio. Los resultados han permitido evaluar parámetros hidráulicos en la zona de la discontinuidad, observar los canales preferenciales de flujo subsuperficial en presencia de discontinuidades y evaluar potenciales escenarios de contaminación, aunque se siguen evaluando más variables y procesos. El incremento en la permeabilidad del suelo afectado por las discontinuidades superficiales ha causado un peligro de contaminación del agua subterránea, mismo que sigue incrementándose conforme aumenta el número de discontinuidades y su actividad.

Palabras clave: Valle de Aguascalientes, discontinuidades superficiales, permeámetro de campo, infiltración, métodos geofísicos.

Introducción

El valle de Aguascalientes (VA), como varios otros en México (principalmente en el centro del país) y el mundo, experimenta el fenómeno de fallamiento y fracturamiento (ambas dentro del concepto de discontinuidades superficiales) asociados a la subsidencia, procesos que están siendo detonados por la extracción excesiva de agua subterránea. Un suelo mecánicamente frágil, un volumen de extracción de agua subterránea en exceso del de recarga, un clima árido o semiárido, la ocurrencia de fallas preexistentes y el incremento de peso en la superficie por actividades antropogénicas como las construcciones, son algunas de las condiciones que favorecen la aparición del fenómeno de subsidencia y discontinuidades.

A la fecha, son más de 367 kilómetros acumulados de

Abstract

This paper focuses on discussing the role that surface discontinuities are playing in groundwater recharge and contamination. The valley of Aguascalientes, which presents discontinuities associated with subsidence, and which present an increase in permeability in the soil they affect, is analyzed. Using methods that include field permeameter, geophysical, and geospatial analysis, case studies are discussed. The results have allowed evaluating hydraulic parameters in the discontinuity zone, observing the preferential subsurface flow channels in the presence of discontinuities and evaluating potential contamination scenarios, although more variables and processes are still being evaluated. The increase in permeability of the soil affected by surface discontinuities has caused a risk of groundwater contamination, which continues to increase as the number of discontinuities and their activity increases.

Keywords: Aguascalientes valley, surface discontinuities, field permeameter, infiltration, geophysical methods.

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Martín Hernández Marín

martin.hernandez@edu.uaa.mx

Como citar

Hernández-Marín M, González-Cervantes N, Delgado-Franco AA (2026). Las discontinuidades superficiales activas, su rol en la recarga de acuíferos y en la calidad del agua subterránea. *Ciencia Nicolaita* 97:140-147. doi:[10.35830/cn.vi97.946](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.946)

alineaciones de discontinuidades presentadas en la superficie del estado de Aguascalientes (SIFAGG, 2024), afectando a una gran cantidad de construcciones en las principales zonas urbanas. Estas discontinuidades se distribuyen en casi todo el valle, resaltando dos grandes estructuras que son las que limitan el graben tectónico sobre el que se

localiza el VA: las denominadas falla Oriente y falla Poniente, que por su edad y dimensiones podrían profundizar hasta el basamento, y por lo tanto hasta el acuífero local. La **Figura 1** muestra una visión general de las discontinuidades sobre el VA, así como algunas fotografías de su presentación en campo.

Por otro lado, las discontinuidades superficiales presentan un comportamiento hidráulico complejo ante el flujo de agua, lo que mantiene un interés técnico y científico constante sobre ellas. Actualmente, en la literatura se pueden encontrar una gran variedad de ejemplos de la relación discontinuidad-flujo-acuífero, por mencionar algunos es-

tán los trabajos de Martin *et al.*, (2023) y Reyes-Cedeño *et al.*, (2024), quienes utilizaron métodos geofísicos y datos de nivel de pozos de bombeo y monitorización para investigar la relación agua superficial-subterránea en presencia de fallas geológicas, o el de Stoessell y Prochaska, (2005), quienes utilizaron datos geoquímicos para evidenciar la migración ascendente de fluidos profundos a través de una falla regional. Quizás la razón principal de ese complejo comportamiento hidráulico de las discontinuidades es que responden como un canal o una barrera hidráulica ante el flujo de agua subterránea (Bense *et al.*, 2008; Bense y Person, 2006; Bredehoeft *et al.*, 1992). Aunque

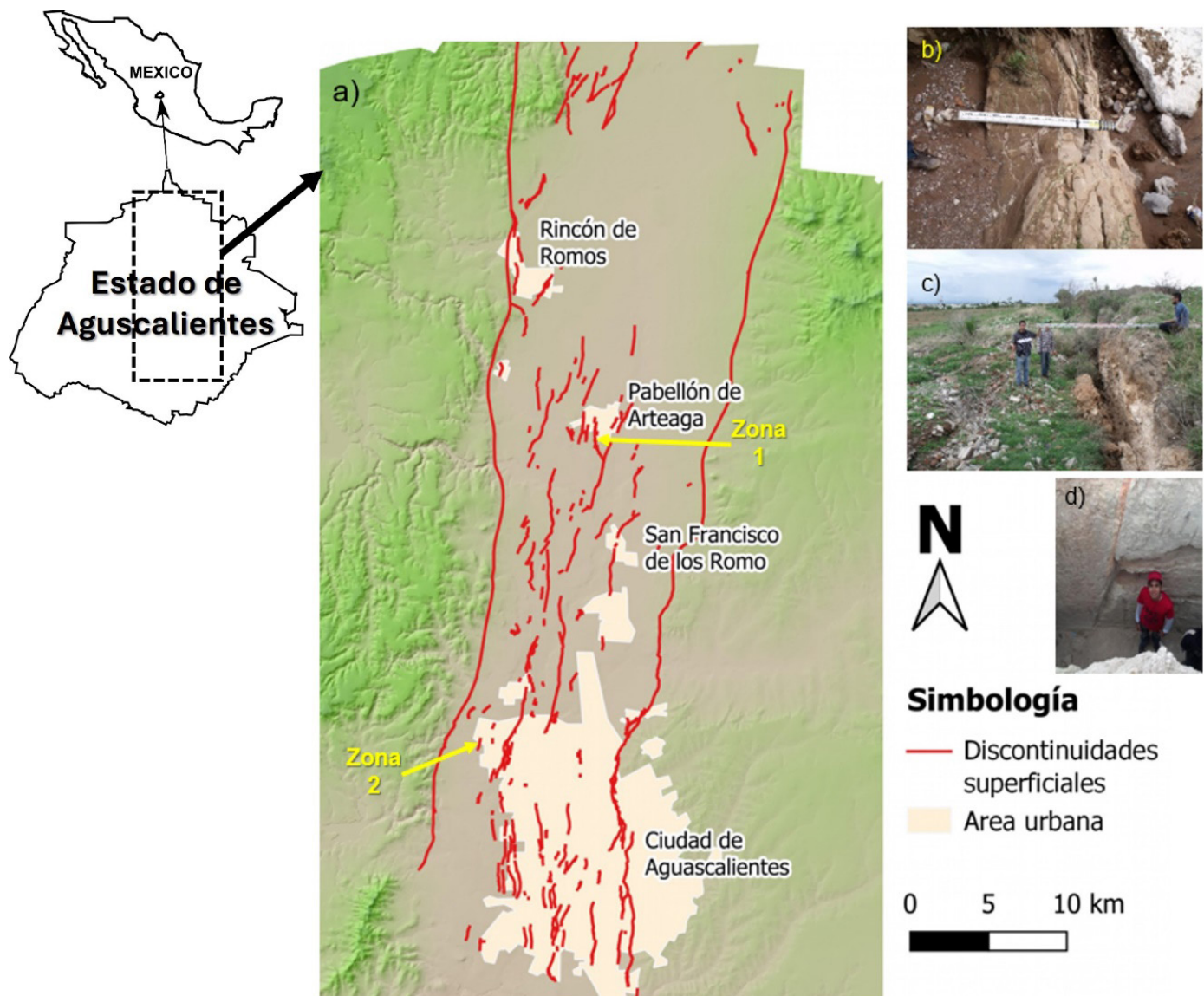


Figura 1. Ilustraciones que muestran las discontinuidades a lo largo del VA. **a)** Mapa con la distribución de las discontinuidades en el VA y localización de este último en México. Se indican dos zonas en las que se han realizado estudios sobre las propiedades hidráulicas de las zonas aledañas a discontinuidades. **b), c)** y **d)** Algunas fotografías de las discontinuidades observadas en el campo a lo largo de la falla que se localiza más al oriente del VA.

cabría considerar que factores como el tipo de esfuerzo imperante en la discontinuidad, tipo de discontinuidad y el grado de actividad pueden tener una influencia crítica en el comportamiento hidráulico de una discontinuidad (Hernández-Marín *et al.*, 2025).

El objetivo principal de este trabajo es discutir y analizar la relevancia de las discontinuidades superficiales activas en procesos hidrogeológicos, mismos que pueden estar asociados a la recarga de acuíferos y contaminación de los mismos.

Métodos utilizados

La metodología utilizada en este trabajo comprende una integración de algunos estudios realizados a la fecha en el valle de Aguascalientes, en los que se indaga sobre el potencial de agua que se puede infiltrar a través de discontinuidades, así como la calidad con la que se puede infiltrar. Por ejemplo, estudios de permeabilidad, hidrológicos de microcuencas, geospaciales para geoposicionar los alineamientos de corrientes fluviales y discontinuidades superficiales, entre otros. Nos enfocamos en este trabajo en aquellos que han buscado evaluar el proceso de infiltración y potencial recarga a través de zonas influenciadas por discontinuidades y aquellos en los que se evalúa la calidad del agua que podría infiltrarse.

Estudios de infiltración y potencial recarga a través de discontinuidades

A nivel global, los estudios realizados a la fecha sobre las propiedades hidráulicas de las discontinuidades superficiales se aplican principalmente en fallas inactivas antiguas, mismas que afectan principalmente material ya litificado, siendo muchas de ellas de escala regional, es decir, de varios kilómetros de longitud (Hernández-Marín, 2025). Las discontinuidades que se observan sobre el VA, por otro lado, son en su mayoría estructuras locales que superficialmente se muestran de solo algunos metros de longitud, además de que están mecánicamente activas, ya sea por reactivación o por reciente generación debido al proceso de subsidencia, mismo que se observó inicialmente a finales de los años 1980s (Aranda-Gómez, 1989). Estas discontinuidades se presentan en el VA principalmente sobre el material sedimentario no consolidado (Pacheco-Martínez *et al.*, 2013).

Los estudios sobre las características hidráulicas de las discontinuidades del VA están incluyendo dos actividades principales: la determinación de su permeabilidad mediante un permeámetro de campo, así como la aplicación de métodos geofísicos, principalmente el de resisti-

vidad eléctrica. La primera se desarrolla para realizar una comparativa de permeabilidad superficial entre la zona mecánicamente afectada por la discontinuidad y la zona no afectada, mientras que la segunda se utiliza entre otras cosas para capturar en imágenes el flujo subsuperficial, así como detectar potenciales estratos de alojamiento del agua infiltrada, además de localizar el nivel freático. Se utilizan herramientas como permeámetros de campo, como el tipo Pask (**Figura 2**), el cual, mediante algunas ecuaciones semiempíricas, permite determinar la conductividad hidráulica saturada del suelo, utilizando la técnica de carga constante. Para entender la hidráulica del funcionamiento de este dispositivo se pueden revisar los trabajos de Elrick y Reynolds, (1986); y Reynolds, (1993). Por su parte para aplicar técnicas como tomografía eléctrica resistiva (TER) (**Figura 3**), en particular, se utiliza el método dipolo-dipolo (Gannon *et al.*, 2012; Hernández-Marín *et al.*, 2017; 2025) para obtener capturas de la migración del agua a través del subsuelo y poder visualizar la influencia de la discontinuidad en el flujo subsuperficial. Para esto último se realizan varias mediciones de la resistividad del subsuelo, antes, durante y después del vertido de agua, mismo que se realiza mediante el permeámetro (Hernández-Marín *et al.*, 2025) o mediante otros métodos que impliquen un mayor caudal, como utilizar directamente un camión cisterna (Hernández-Marín *et al.*, 2017).

Estudios de calidad de agua y su potencial infiltración al subsuelo

A pesar de que aún falta investigación sustantiva que permita establecer algunos aspectos importantes del proceso

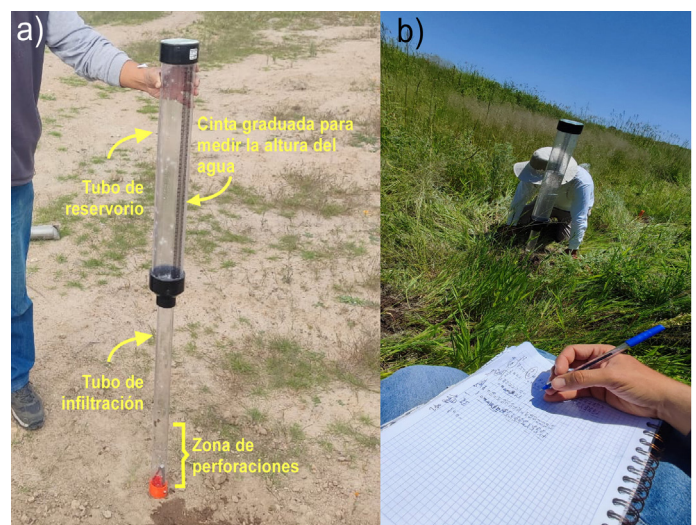


Figura 2. Fotografías de **a)** las características del permeámetro tipo Pask (modificada de Hernández-Marín *et al.*, 2025), y **b)** ejemplo de su aplicación en campo, en este caso durante una prueba de permeabilidad en la zona 2 del mapa de la figura 1.

en general, por ejemplo, el grado de contaminación del agua que se está infiltrando, la profundidad que esta agua filtrada está alcanzando y la calidad del agua después de atravesar una parte de la zona vadosa. Al respecto, se han hecho avances importantes para establecer la potencial relación agua superficial y subterránea, y con ello el potencial de contaminación del agua subterránea a partir de fuentes superficiales (Reyes-Cedeño *et al.*, 2024). El VA presenta actualmente una cantidad considerable de corrientes superficiales, aunque todas ellas efímeras o estacionales, es decir que transportan agua solo como parte de los escurrimientos superficiales después del temporal de lluvias y/o posterior a un evento particular de lluvia. Sin embargo, varias de estas corrientes están siendo utilizadas como conductoras de aguas residuales, muchas de ellas vertidas de forma clandestina. Por ejemplo, el río San Pedro, hidrológicamente el más importante del estado, presenta una gran cantidad de sustancias químicas y orgánicas producto de descargas residuales. Este aspecto se vuelve crítico al observar que varias de estas corrientes son intersecadas por discontinuidades superficiales.

Resultados

Evaluación de propiedades hidráulicas en zonas aledañas a discontinuidades

La metodología aplicada a algunos de los tramos de discontinuidades estudiadas ha arrojado una visión más particular del comportamiento hidráulico de estas estructuras. En particular, la aplicación de permeámetro de campo ha corroborado parte de los resultados esperados, esto es que las zonas afectadas por discontinuidades presentan una permeabilidad mayor a la del material adyacente aparentemente no afectado por la actividad mecánica de la discontinuidad. En este aspecto, el gráfico de la **Figura 4** muestra un perfil de permeabilidad y tasa de infiltración, en donde además de esa falla, se pudo observar en campo una fractura aproximadamente a 7 metros hacia el oeste.

Como puede observarse sobre esa gráfica, los valores tanto de permeabilidad como de tasa de infiltración resultan mayores en las cercanías de ambas discontinuidades por al menos un orden de magnitud, sugiriendo que la actividad mecánica que mantiene activas a ambas discontinuidades se vea reflejada en un incremento de ambas propiedades hidráulicas.

Otro ejemplo de ese comportamiento se muestra en la **Figura 5**, mismo que se realizó sobre el sistema de discontinuidades falla-fractura localizado en la zona 2. Este caso en particular se muestra más contraste entre los valores máximos y mínimos, por esta razón los valores de per-

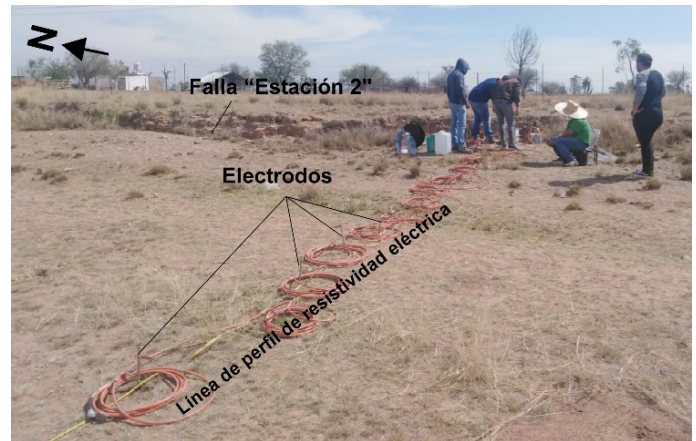


Figura 3. Ejemplo de la aplicación de la tomografía eléctrica resistiva (TER) de manera perpendicular al trazo de una discontinuidad superficial, en este caso la denominada Falla Estación 2. Este trabajo se realizó sobre la zona 1 del mapa de la figura 1. Dicha discontinuidad presenta una orientación norte-sur. Modificada de Hernández-Marín *et al.*, (2025).

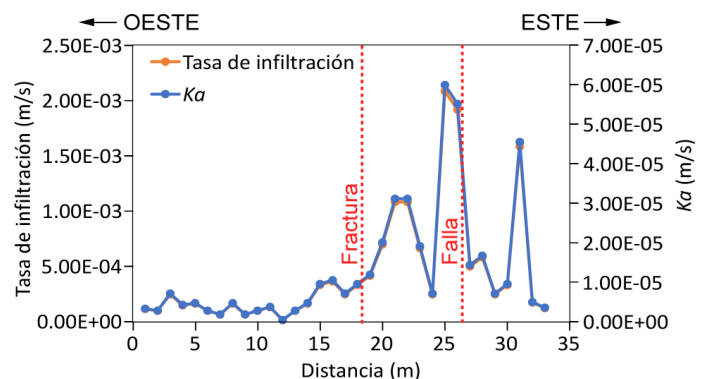


Figura 4. Resultado de características hidráulica sobre dos discontinuidades separadas unos 7 metros en el VA, una falla y una fractura. Cada punto en el gráfico representa un punto de medición individual en campo, realizándose estas mediciones a cada metro sobre una línea en la superficie. Este perfil se realizó en la zona 2 de la figura 1. Modificada de Hernández-Marín *et al.*, (2005).

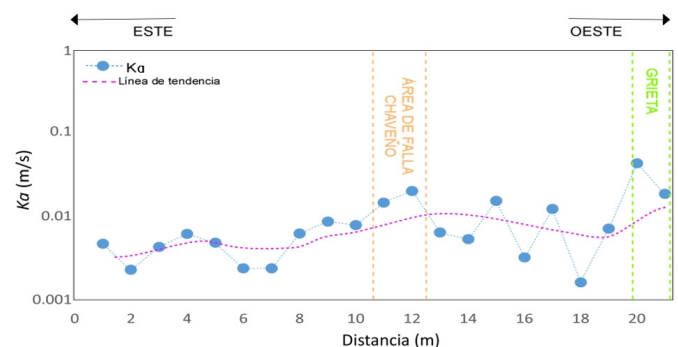


Figura 5. Resultados de permeabilidad en un perfil superficial perpendicular a dos discontinuidades superficiales en una zona 2 del mapa de la figura 1, dentro de la zona urbana de Aguascalientes. En esta figura, cada punto en el gráfico representa un punto de medición individual realizado a cada metro.

meabilidad (K_a) (eje y) se graficaron utilizando una escala logarítmica.

Como puede observarse, las propiedades hidráulicas lucen mayores en las zonas aledañas a las discontinuidades que probablemente están afectadas por el comportamiento mecánico de las mismas. Ese aumento en el gráfico luce menos pronunciado, aunque esto puede deberse al efecto de la escala adoptada en el eje y , como se explicó anteriormente.

Influencia de discontinuidades en la trayectoria del agua filtrante

Como se mencionó, el método TER ha permitido obtener buenos resultados que permite la captura de la trayectoria del agua que se infiltra. Si bien se necesitan aplicar otros métodos alternativos para confirmar los resultados, la tendencia observada en los TER aplicados sugieren una tendencia del flujo subsuperficial de migrar hacia el plano de las discontinuidades, y de ahí fluir de manera más vertical hacia los estratos inferiores. Aun no se conoce la profundidad que puede alcanzar el agua que se infiltra preferencialmente a través de discontinuidades desde la superficie, aunque se trabaja en otros métodos geofísicos como los sondeos eléctricos verticales, mismos que pueden penetrar hasta más de 100 metros, lo cual es relevante para valles como el VA, en donde el nivel freático alcanza esa profundidad en algunos puntos (Reyes-Cedeño *et al.*, 2024).

Un ejemplo para la captura de flujo subsuperficial mediante la aplicación de pruebas de TER se muestra en la **Figura 6**. En ese ejemplo, se analizaron perfiles secuenciales de 14.25 m longitud y ~3 m de profundidad. Para el procesamiento de datos se utilizó el software ResIPy v. 3.4.5, el cual permite filtrar datos basándose en errores recíprocos, además permite ajustar modelos de error, crear mallas 2D o 3D y realizar inversiones con parámetros que el usuario puede personalizar. Se aplicaron 4 pruebas de permeabilidad mediante el permeámetro de campo, e inmediatamente posterior a dichas pruebas se realizó una medición TER. Complementando a esas 4 mediciones, se realizó una adicional previa, esto es cuando aún no se agregaba agua al suelo mediante el permeámetro, indicada en esa **Figura 6** como “suelo seco”. Como puede observarse, las zonas con tonos azules comienzan a incrementarse debajo del punto de entrada de agua a medida que se incrementa el número de la prueba. Esto sugiere un flujo vertical que podría verse influenciado por la zona afectada por la discontinuidad. Es importante indicar que los tonos azules en la **Figura 6** corresponden a zonas de baja resistencia eléctrica (o alta conductividad eléctrica), los cuales pueden asociarse entre otras cosas con una alta humedad.

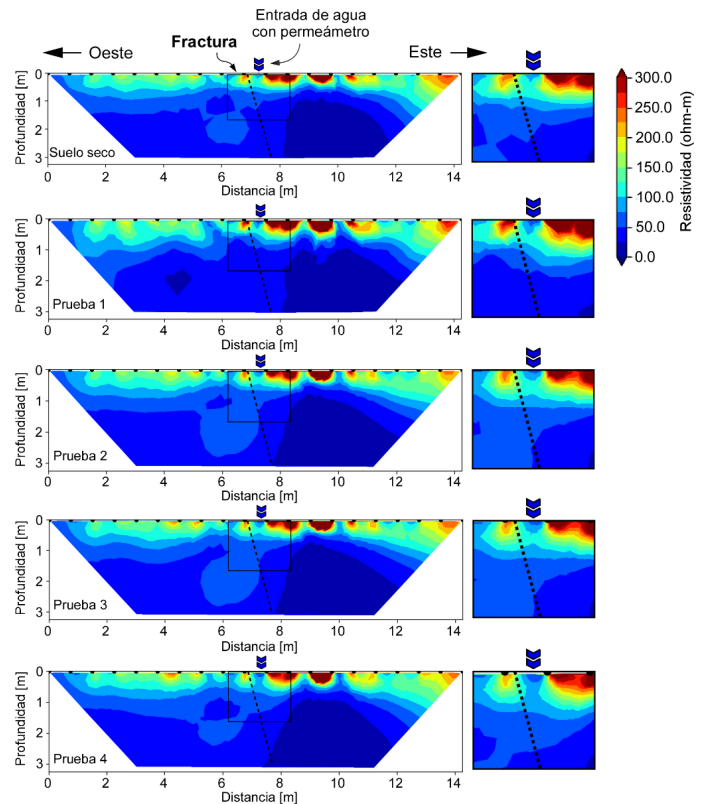


Figura 6. Secuencia de perfiles TER aplicados en la zona 1, en la que utilizaron 18 electrodos de un metro de espaciamiento. Todos los perfiles se ajustaron a la escala mostrada en la barra de color para un mejor análisis comparativo. Modificada de Hernández-Marín *et al.*, (2025).

Condiciones para la contaminación del agua subterránea

El riesgo de contaminación de aguas subterráneas puede considerarse como crítico en el VA debido a la gran cantidad de agua residual que se vierte (clandestinamente) a las corrientes principales, aunado a la gran cantidad de discontinuidades superficiales que se pueden encontrar en el valle y que cruzan dichas corrientes, tomando en cuenta lo que se ha estado obteniendo en los estudios, que las zonas afectadas mecánicamente por estas estructuras presentan alta permeabilidad en comparación con el suelo adyacente no afectado. La situación se torna más crítica si se considera que existe una cantidad importante de “cruces” entre los alineamientos de discontinuidades y corrientes fluviales que acarrear contaminantes. En este contexto y como resultado de un análisis geoespacial, la **Figura 7** muestra algunos de los cruces antes mencionados, así como el área de irrigación asociada a estos cruces, ya que el agua potencialmente infiltrable a través de las discontinuidades en esos puntos no solo es la que transporta la corriente, sino la que escurre superficialmente de toda la superficie de la microcuenca, lo que agudiza un poco más el potencial de contaminación. Cabe mencionar que para la delimitación de las cuencas se utilizó el programa libre Qgis-Grass, así

como modelos digitales de elevación (MDE) de resolución 30 x 30 m y un acondicionamiento hidrológico que incluyó la reparación de errores y relleno de espacios vacíos. En ese mismo análisis geoespacial, se utilizaron como puntos de salida a los cruces antes explicados, mientras que para la delimitación de las microcuencas se utilizó un umbral de iniciación de cauce de 1100 píxeles.

Debido a que no se conoce el volumen infiltrado en esos cruces de fallas y fracturas con corrientes superficiales, se realizó el ejercicio numérico de la **Tabla 1** con fines puramente demostrativos y comparativos, en la que se utilizaron diferentes porcentajes arbitrarios de 5%, 10% y 15% de infiltración, considerando una precipitación de 500 mm y un valor aproximado de coeficiente de escurrimiento según el portal SIATL (https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/). Del análisis geoespacial mostrado en la **Figura 7**, se obtuvo que las superficies de las microcuencas varían desde menos de 1 km² (punto 4) hasta cerca de 2,300 km² (punto 3). Por su parte, los potenciales volúmenes infiltrados son variables, dependiendo principalmente del área de la cuenca como se muestra en esa **Figura 1**.

Limitaciones de los estudios a la fecha

El estudio del rol de las discontinuidades superficiales como fallas y fracturas en procesos hidrogeológicos es un tema en el que aún se necesita profundizar más. Desde la geología estructural, para aspectos como generación y propagación de discontinuidades en valles sedimentarios, su relación con la subsidencia, las condiciones en las que se forma una franja de afectación, entre otros aspectos relevantes. Para la aplicación de algunas herramientas como la resistividad eléctrica, existen la limitante espacial, ya que las discontinuidades suelen tener longitudes de hasta decenas de kilómetros y grandes profundidades de afectación, mientras que los perfiles eléctrico-resistivos mediante la técnica TER pueden abarcar solo unas cuantas centenas de metros de longitud y unas cuantas decenas de metros de profundidad como máximo. Más crítico es aún la aplicación del método de sondeo eléctrico vertical (SEV), que aunque permiten profundizar más que un TER en la exploración, en superficie, los datos arrojados son puntuales.

Para conocer el alcance real del agua contaminada que se infiltra a través de discontinuidades superficiales también requiere de mucho esfuerzo. Hay que poder establecer una correlación de la calidad del agua filtrante a través de la discontinuidad con la que se extrae en algún pozo, para ello hay que tener bien definida la dirección de flujo subterráneo, aunque para ello primero habría que establecer si

Tabla 1. Los datos de la tabla se estimaron con base en un promedio anual de precipitación de 500 mm, mientras que el coeficiente de escurrimiento se obtuvo del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrológicas (SIATL, 2025).

No. Microcuenca	Superficie (km ²)	Coeficiente de escurrimiento	Volumen de infiltración para diferentes porcentajes (Mm ³)		
			5%	10%	15%
1	13.21	0.12	0.08	0.16	0.24
2	200.39	0.07	0.70	1.40	2.10
3	2,300.24	0.06	6.90	13.80	20.70
4	0.38	0.05	0.00	0.00	0.00
5	59.16	0.07	0.21	0.41	0.62
6	567.05	0.07	1.98	3.97	5.95
7	1,134.48	0.09	5.11	10.21	15.32
8	200.08	0.13	1.30	2.60	3.90
9	7.89	0.15	0.06	0.12	0.18

el agua filtrante alcanza el acuífero y el tiempo que tardaría en ese proceso. En este contexto, se podrían plantear la siguiente pregunta ¿Existe algún estrato que impida que el agua infiltrada alcance el acuífero? Esto es más crítico si el nivel de agua del acuífero es muy profundo, y para ello habría que establecer muy bien la hidroestratigrafía.

La infiltración de agua a través discontinuidades ya está ocurriendo en valles afectados por subsidencia y fracturamiento. Aquí emerge entonces la necesidad de plantear estrategias para evitar o mitigar la contaminación del agua subterráneas, e incluso del suelo. Aunque de acuerdo con lo mostrado en este trabajo, un aspecto relevante para ello sería el cuidado de los cauces superficiales en cuanto a la calidad del agua que transportan.

Hasta la fecha se han logrado avances significativos en el conocimiento del proceso de agua que se infiltra a través de discontinuidades superficiales, así como de sus implicaciones en la contaminación del agua subterránea. Sin embargo, se necesitan más esfuerzos multidisciplinarios para un entendimiento más íntegro del proceso, una colaboración más estrecha entre entidades académicas y dependencias gubernamentales, entre muchas otras cosas.

Discusión y conclusiones

El VA presenta un riesgo latente de contaminación de agua subterránea a partir del ingreso de agua contaminada superficial, la cual se infiltra principalmente a través de discontinuidades superficiales, ya que como se ha demos-

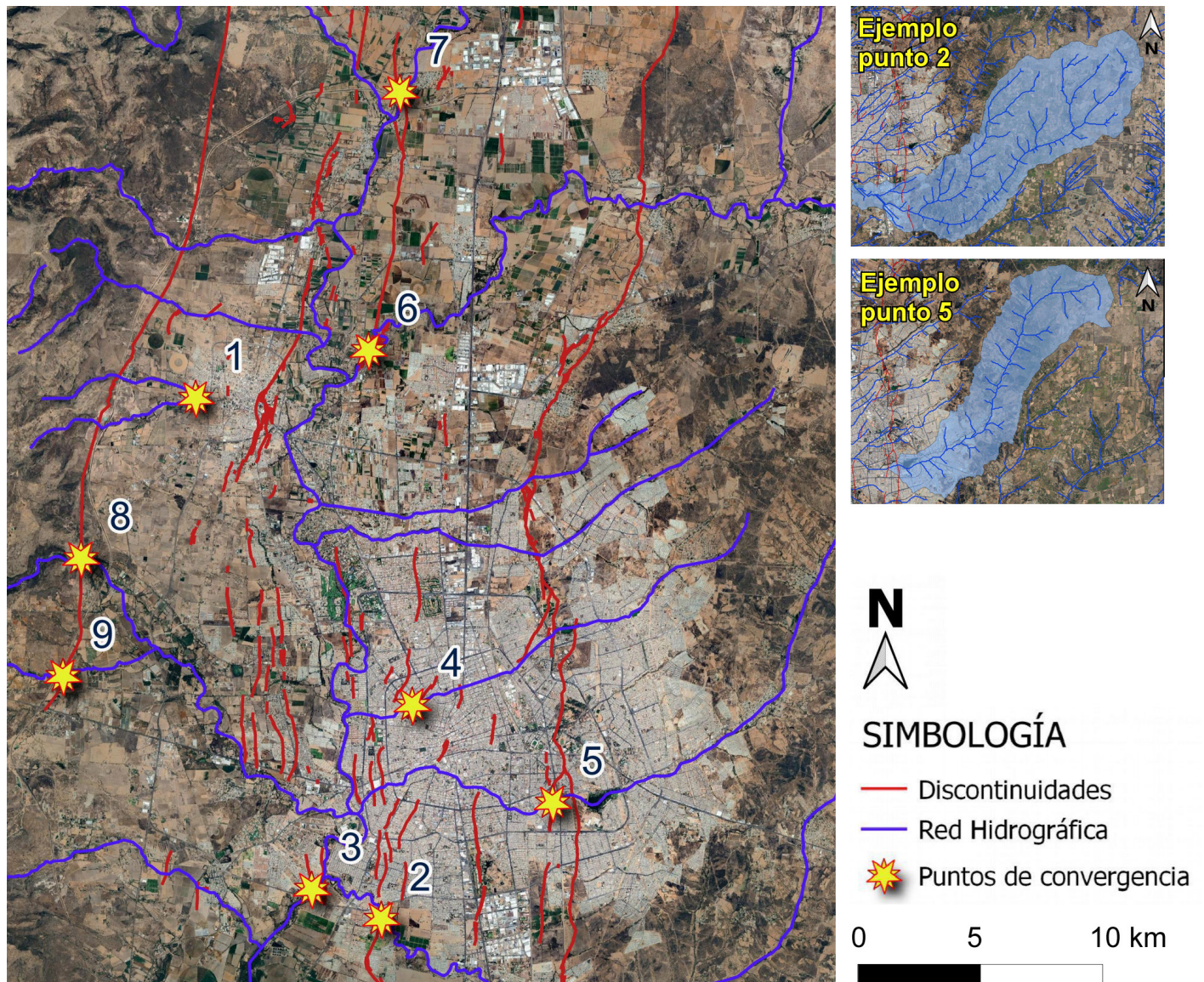


Figura 7. Puntos de convergencia entre discontinuidades y corrientes superficiales sobre la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes y periferia. Las corrientes presentan flujo constante por descargas de aguas residuales. Adicionalmente se presentan los ejemplos del área de captación (microcuenca) de los puntos 2 y 5.

trado en estudios recientes en este valle, la permeabilidad del suelo afectado mecánicamente por una discontinuidad superficial es mayor que la del suelo no afectado, debido entre otras cosas a su reciente actividad misma que se acompaña del proceso de subsidencia que actualmente experimenta el VA. De acuerdo con algunas mediciones para determinar propiedades hidráulicas en campo, se ha observado que la permeabilidad del suelo adyacente a discontinuidades puede ser mayor que la del suelo no afectado hasta por un orden de magnitud, aunque se necesitan hacer más mediciones ya que las discontinuidades pueden presentar diferentes condiciones mecánicas y grados de afectación al suelo adyacente.

Actualmente no hay muchos trabajos académicos que

reportan las permeabilidades de discontinuidades (fallas o fracturas) en medios granulares, y que se encuentren activas por efecto de la subsidencia como las discutidas en este trabajo. En general, los trabajos se enfocan en grupos de fallas inactivas, de origen tectónico y de un alcance regional (varios kilómetros de longitud). Generalmente las mediciones de permeabilidad en este último grupo de fallas se presentan en rocas y sedimentos con diferente grado de alteración y varias de estas estructuras corresponden a fallas normales. En el trabajo presentado por Hernández-Marín *et al.*, 2025, se presenta una comparativa numérica ambos grupos de estructuras y se discuten las condiciones en que la discontinuidad se puede considerar como barrera o como conducto al flujo vertical, mientras

que para el flujo horizontal se pueden consultar trabajos como el de Bense *et al.*, (2013).

Por otro lado, la técnica geofísica de tomografía eléctrica resistiva, en particular el método dipolo-dipolo, ha demostrado ser una eficaz técnica para capturar el flujo de agua subsuperficial y en cierta forma, la influencia de una discontinuidad en ese flujo. Sin embargo, se necesitan técnicas que profundicen más para poder dilucidar los estratos del subsuelo que podrían almacenar el agua filtrada a través de una discontinuidad, así como establecer si dicha agua puede alcanzar el nivel freático, el cual, para el VA sobrepasa los 100 metros de profundidad.

Como ya se ha comentado en este trabajo, los puntos de cruces entre discontinuidades y corrientes superficiales que transportan aguas residuales son puntos vulnerables a contaminación por infiltración de aguas contaminadas. Sin embargo, se podrían agregar otras fuentes potenciales relacionadas a las discontinuidades como aquellas en las que estas estructuras dañan a la red enterrada de drenaje. En este caso, el hecho de que el daño tarde en ser reconocido al tratarse de infraestructura, el potencial de contaminación es crítico. Otros casos menos críticos se podrían incluir a la infiltración de contaminantes derivados de actividades agropecuarias.

Para finalizar, es importante que se considere la temporalidad del efecto contaminante por infiltración a través de zonas afectadas por discontinuidades, ya que, si bien parece no tener un efecto inmediato, es probable que para un mediano o largo plazo, las consecuencias podrían ser evidentes. El agua subterránea es un recurso muy importante para el VA ya que representa un importante porcentaje del suministro de agua potable para la población, el campo y la industria, por lo que se deberían tomar en cuenta resultados como los aquí presentados.

Referencia

Aranda-Gómez JJ (1989). Geología preliminar del valle de Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 8(1):22–32.

Bense VF, Person MA (2006). Faults as conduit-barrier systems to fluid flow in siliciclastic sedimentary aquifers. *Water Resources Research* 42(5):1–18. doi:10.1029/2005WR004480.

Bense VF, Person MA, Chaudhary K, You Y, Cremer N, Simon S, (2008) Thermal anomalies indicate preferential flow along faults in unconsolidated sedimentary aquifers. *Geophysical Research Letters* 35(24):1–6. doi:10.1029/2008GL036017.

Bense VF, Gleeson T, Loveless SE, Bour O, Scibek J (2013). Fault zone hydrogeology. *Earth-Science Reviews* 127:171–192. doi:10.1016/j.earscirev.2013.09.008.

Bredehoeft, JD, Belitz K, Sharp-Hansen S (1992) The hydrodynamics of the Big Horn Basin: a study of the role of faults. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 76:530–546.

Elrick DE, Reynolds WD (1986). An analysis of the percolation test based in three-dimensional saturated-unsaturated flow from a cylindrical test hole. *Soil Science* 142(5).

Gannon JP, Burbey TJ, Bodnar RJ, Aylor J (2012). Geophysical and geochemical characterization of the groundwater system and the role of Chatham Fault in groundwater movement at the Coles Hill uranium deposit, Virginia, USA. *Hydrogeology Journal* 20(1):45–60. doi:10.1007/s10040-011-0798-y.

Hernández-Marín M, Pacheco-Martínez J, Burbey TJ, Carreón-Freyre DC, Ochoa-González GH, Campos-Moreno GE, de Lira-Gómez P (2017). Evaluation of subsurface infiltration and displacement in a subsidence-reactivated normal fault in the Aguascalientes Valley, México. *Environmental Earth Sciences* 76(24):1–12. doi:10.1007/s12665-017-7163-y.

Hernández-Marín M, González-Cervantes N, Guerrero-Martínez L, Rodríguez-Padilla CE, Pacheco-Martínez J (2025). Experimental study of infiltration through subsidence-reactivated surface discontinuities. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 42(1):1–16. doi:10.22201/igc.20072902e.2025.1.1836.

Martin RV, Van Arsdale RB, Harrison VJ (2023). Possible Fault Communication between the Memphis Sand Aquifer and the Mississippi River. *Environmental & Engineering Geoscience* 29(2):105–114. doi:10.2113/EEG-D-22-00050.

Pacheco-Martínez J, Hernández-Marín M, Burbey TJ, González-Cervantes N, Ortiz-Lozano JT, Zermeno-De-León ME, Solís-Pinto A (2013). Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology* 164. doi:10.1016/j.enggeo.2013.06.015.

Reyes-Cedeño IG, Hernández-Marín M, Pacheco-Guerrero AI, Gannon JP (2024). Application of Vertical Electrical Sounding and Toxicity Tests for the Analysis of Vertical Hydraulic Connectivity through the Vadose Zone. *Water* 16(2):1–20. doi:10.3390/w16020222.

Reynolds WD (1993). Saturated hydraulic conductivity: field measurement. En Carter MR (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. pp. 599–613.

SIATL (s.f.). Simulador de Agua de Cuencas Hidrológicas, https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/, [consultado el 25 de enero de 2025].

SIFFAG (s.f.). Sistema de Información de Fallas Geológicas y Grietas, <https://www.aguascalientes.gob.mx/sop/sifagg/web/mapa.asp>, [consultado el 15 de septiembre de 2024]

Stoessell RK, Prochaska L (2005). Chemical Evidence for Migration of Deep Formation Fluids into Shallow Aquifers in South Louisiana. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 55:794–808.