



Correlación cualitativa entre la subsidencia regional y daños estructurales en Morelia-Tarímbaro: un análisis de caso en viviendas de interés social

Qualitative correlation between regional subsidence and structural damage in Morelia-Tarímbaro: a case study in social housing

Ruben Alejandro Rodríguez Maciel¹  , Denise Montserrat Bautista Urbina², Gerardo Manuel Rodríguez Torres¹

¹ Universidad Tecnológica de la Construcción, Ingeniería Civil. Av. Nicolas Ballesteros 1200, Cd. Industrial 58200 Morelia, Mich.

² Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil.

Resumen

La región Morelia-Tarímbaro presenta subsidencia diferencial crítica inducida por sobreexplotación de acuíferos y estructuras geológicas locales. Este trabajo documenta la correlación entre dicho fenómeno y las patologías estructurales en viviendas de interés social, mediante un análisis de caso sobre la Falla de Superficie Cuitzillo (FSC). Se aplicó una metodología mixta integrando inspección de campo, datos geofísicos (Tomografía de Resistividad Eléctrica) y análisis catastral. Los resultados caracterizan una zona de deformación de 12 metros de ancho con escarpes de hasta 80 centímetros, afectando el patrimonio en 90 predios. La evidencia valida la urgencia de restringir urbanización en zonas de falla e implementar la recarga hídrica del plan Morelia 2050.

Palabras clave: Subsidencia diferencial, Sobreexplotación de acuíferos, Seguridad hídrica, Falla Cuitzillo, Riesgo urbano.

Abstract

The Morelia-Tarímbaro region presents critical differential subsidence induced by aquifer overexploitation and local geological structures. This work documents the correlation between this phenomenon and structural pathologies in social housing, through a case study on the Cuitzillo Surface Fault (FSC). A mixed methodology was applied, integrating field inspection, geophysical data (Electrical Resistivity Tomography), and cadastral analysis. The results characterize a deformation zone 12 meters wide with scarps of up to 80 centimeters, affecting the assets of 90 properties. The evidence validates the urgency of restricting urbanization in fault zones and implementing the water recharge measures of the Morelia 2050 plan.

Keywords: Differential subsidence, Aquifer overexploitation, Water security, Cuitzillo Fault, Urban risk.

Introducción

La región Morelia-Tarímbaro, enfrenta una creciente crisis urbana y ambiental originada por el proceso de subsidencia diferencial y regional como consecuencia directa de la sobreexplotación de sus acuíferos. Este fenómeno afecta de manera crítica la infraestructura urbana, particularmente en viviendas de interés social y zonas de expansión urbana construidas sobre antiguos depósitos lacustres y aluviales altamente compresibles. Sin embargo, la manifestación más severa de este daño no es homogénea, sino que se concentra en franjas específicas donde la subsidencia regional interactúa con el sistema estructural local, generando zonas de deformación crítica en el municipio de Tarímbaro.

Las evidencias científicas y técnicas confirman la gravedad de la situación. El acuífero Morelia-Queréndaro presenta un déficit oficial de 39.9 hm³ anuales, esto es lo

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Ruben Alejandro Rodríguez Maciel
alejandrorodriguez0616@gmail.com

Como citar

Rodríguez-Maciel RA, Bautista Urbina DM, Rodríguez Torres GM (2026). Correlación cualitativa entre la subsidencia regional y daños estructurales en Morelia-Tarímbaro: un análisis de caso en viviendas de interés social. *Ciencia Nicolaita* 97:110-117. doi:[10.35830/cn.vi97.933](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.933)

que provoca el descenso del nivel freático de hasta 40 m, desde la década de los 90's (CONAGUA, 2024). Como consecuencia directa, la ciudad en general experimenta un hundimiento con tasas de 6 cm por año en zonas vulnerables (Garduño-Monroy *et al.*, 2001; Velázquez, 2022). Si bien este fenómeno se enmarca en el gran sistema de la Falla Tarímbaro-Álvaro Obregón (TAO), la evidencia

reciente sugiere que la deformación superficial activa se manifiesta a través de estructuras derivadas y discontinuidades específicas que cortan directamente la traza urbana, actuando como los verdaderos vectores del riesgo para la vivienda.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo documentar la correlación cualitativa entre la subsidencia regional y la manifestación local de patologías estructurales severas. A diferencia de estudios previos de alcance general, esta investigación se centra en un análisis de casos específicos sobre la traza de la recién caracterizada Falla de Superficie Cuitzillo (FSC). A través de una metodología mixta que integra una inspección de campo, datos geofísicos y análisis documental, se busca validar en el entorno urbano de Tarímbaro la relación causa-efecto entre la sobreexplotación del acuífero y el deterioro del patrimonio, generando evidencia puntual que respalde las políticas urgentes de restricción territorial y seguridad hídrica.

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona de estudio se localiza hidrogeológicamente dentro del acuífero Morelia-Queréndaro (clave 1602), en el sector noreste de Michoacán (CONAGUA, 2024) (**Figura 1**). Sin embargo, para esta investigación, el área se delimita específicamente al entorno urbano del municipio de Tarímbaro afectado por subsidencia diferencial. Si bien el sistema regional se asocia a la falla tectónica Tarímbaro-Álvaro Obregón (TAO), el trabajo de campo detallado, derivado de la investigación de tesis de Rodríguez-Maciél (2025), permitió identificar y caracterizar una estructura cuyo comportamiento es superficialmente específico, denominada Falla de Superficie Cuitzillo (FSC). Esta ruptura presenta una trayectoria continua de 3.18 km con orientación predominante NE-SW, afectando directamente la zona urbana entre el Fraccionamiento Laureles y la Colonia Miguel Hidalgo.

Características hidrogeológicas y administrativas

Composición y tipo

Se trata de un acuífero heterogéneo y anisótropo, de tipo libre en general, aunque presenta condiciones de semiconfinamiento localizadas. Se aloja en una depresión tectónica, conformado en la parte superior por sedimentos clásticos (gravas y arenas) y en su parte inferior por rocas volcánicas fracturadas (basaltos y tobas), alcanzando un espesor promedio de 300 a 400 metros (CONAGUA, 2024).

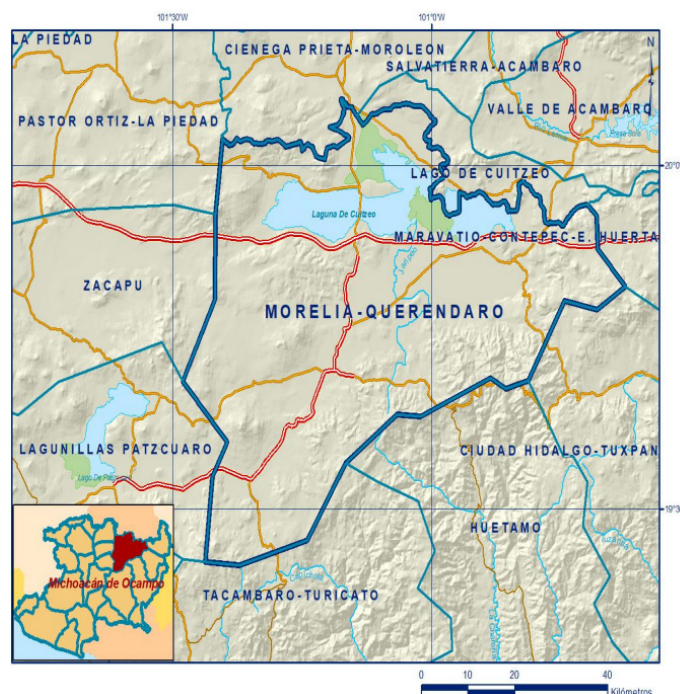


Figura 1. Mapa de localización del acuífero Morelia-Queréndaro (1602), unidad hidrogeológica estratégica para la región. (CONAGUA, 2024).

Situación administrativa

El acuífero se encuentra totalmente vedado bajo cuatro acuerdos emitidos entre 1956 y 1987, lo que legalmente impide el otorgamiento de nuevas concesiones.

- Al oriente por el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo de los terrenos que ocupa y circunda la Laguna de Los Azufres, en el Estado de Michoacán”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 13 de febrero de 1956 (CONAGUA, 2024).
- El centro del acuífero por el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende los municipios de Morelia y Charo, Mich.”, publicado en el DOF el 10 de febrero de 1964 (CONAGUA, 2024).
- Al suroeste por el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuífero en la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona”, publicado en el DOF el 27 de junio de 1975 (CONAGUA, 2024).
- El resto del acuífero por el “Decreto por el que se declara

de interés público la conservación de mantos acuíferos y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios del estado de Michoacán”, publicado en 20 de octubre de 1987 (CONAGUA, 2024).

Balance hídrico crítico

De acuerdo con el informe técnico oficial (CONAGUA, 2024), el acuífero se encuentra en una condición de sobreexplotación severa:

- Recarga total media anual: 286.6 hm^3 .
- Volumen de extracción (concesionado): 198.7 hm^3 .
- Descarga natural comprometida: 127.8 hm^3 .

Esto resulta en un déficit anual de -39.9 hm^3 o bien $39,897,596 \text{ hm}^3$ anuales.

Evidencia del estrés hídrico

La sobreexplotación ha provocado un descenso generalizado del nivel piezométrico, con abatimientos de 20 a 40 metros en zonas críticas como la ciudad de Morelia desde 1990 (CONAGUA, 2024). La combinación de la sobreexplotación, la geología de suelos compresibles y la presencia de la FSC, justifica la selección de los fraccionamientos como Laureles, Campestre y Valle Real (pertenecientes al municipio de Tarímbaro) como un caso de estudio representativo (Figura 2, 3 y 4).

Enfoque metodológico y limitaciones

La investigación adopta un diseño mixto de alcance correlacional. Se integra la inspección visual de patologías constructivas con la revisión técnica de datos geofísicos y catastrales derivados de la caracterización detallada de la zona (Rodríguez-Maciel, 2025). Esta triangulación permite asociar la evidencia cualitativa de los daños con las mediciones cuantitativas del subsuelo, superando las limitaciones de la observación puramente superficial.

Técnicas de recolección y análisis de datos

El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases complementarias:

- **Inspección visual sistemática:** Se realizó un recorrido de campo para identificar, clasificar y documentar fotográficamente las patologías estructurales (grietas, desniveles y colapsos) en las zonas habitacionales.
- **Caracterización Geofísica (datos secundarios):** Se integró al análisis el perfil de Tomografía de Resistividad.



Figura 2. Daños estructurales por subsidencia visibles en 2025 en viviendas, Fraccionamiento Laureles.



Figura 3. Daños estructurales internos por subsidencia en 2025 en viviendas, Fraccionamiento Campestre.



Figura 4. Subsidencia visible en 2025, sobre calle Paseo Valle Real, Fraccionamiento Valle Real.

vidad Eléctrica (TRE) obtenidos en la investigación de referencia (Rodríguez-Maciel, 2025), utilizados para determinar la geometría y el ancho de la zona de deformación en el subsuelo (**Figura 5**).

- **Delimitación espacial y temporal:** El estudio se centró en los fraccionamientos Laureles, Valle Real y Campestre, municipio de Tarímbaro, Michoacán, específicamente en los sectores interceptados por la FSC. El periodo abarca el trabajo de campo y análisis realizado entre mayo y agosto del 2025.
- **Integración de análisis catastral:** Se incorporaron los datos del análisis espacial desarrollado en la investigación de referencia (Rodríguez-Maciel, 2025), en la cual se superpuso la traza vectorizada de la falla sobre la cartografía municipal para cuantificar la afectación patrimonial en los predios.

Resultados

Los hallazgos de campo establecen una correlación directa y cuantificable entre la subsidencia y las afectaciones estructurales. En específico, la inspección técnica detallada en la investigación de Rodríguez-Maciel (2025) permitió dimensionar la magnitud del desplazamiento vertical (escarpe) de la FSC, el cual varía a lo largo de la traza: que va desde los 65 cm en la estación uno (Fracc. Laureles), 80 cm en la estación dos (Cuitzillo Chico) y 26 cm en la estación tres (Col. Miguel Hidalgo). Además, mediante correlación geofísica (Tomografía de Resistividad Eléctrica),

se estima que el ancho de la franja de afectación es de 12 metros, actuando como un corredor de deformación donde la seguridad estructural se ve comprometida.

Métricas de deformación en Morelia

El hundimiento superficial en la región ha sido cuantificado a través de diversos estudios con las siguientes métricas:

Documentación pionera ya hablaba de un hundimiento lento sobre las fallas, registrando hundimientos de 4 a 6 cm/año (Garduño-Monroy *et al.*, 2001). Investigaciones que sirvieron para dar continuación a otras y con diferente registro como lo es (Estelle Chaussard, 2014) que por medio de la metodología inSAR, registraron hundimientos constantes de 7 cm/año, dejando 3.5 cm/año como una probable subestimación.

En una entrevista más reciente (Velázquez, 2022), Gómez Vasconcelos corrobora que la ciudad se hunde hasta 6 cm/año en zonas críticas, lo que consideró como una alerta roja. La misma investigadora es concluyente al afirmar que el 97% de la deformación reciente observada en la superficie es de origen no tectónico, es decir, es directamente atribuible a la subsidencia (Gómez Vasconcelos *et al.*, 2023).

Correlación con el abatimiento del acuífero

El hundimiento del terreno no es un fenómeno aislado; es la consecuencia física directa y medible del abatimiento del acuífero, es decir, del descenso continuo del nivel del agua subterránea. Esta correlación se fundamenta en un principio geomecánico claro y en datos contundentes para la región de Morelia.

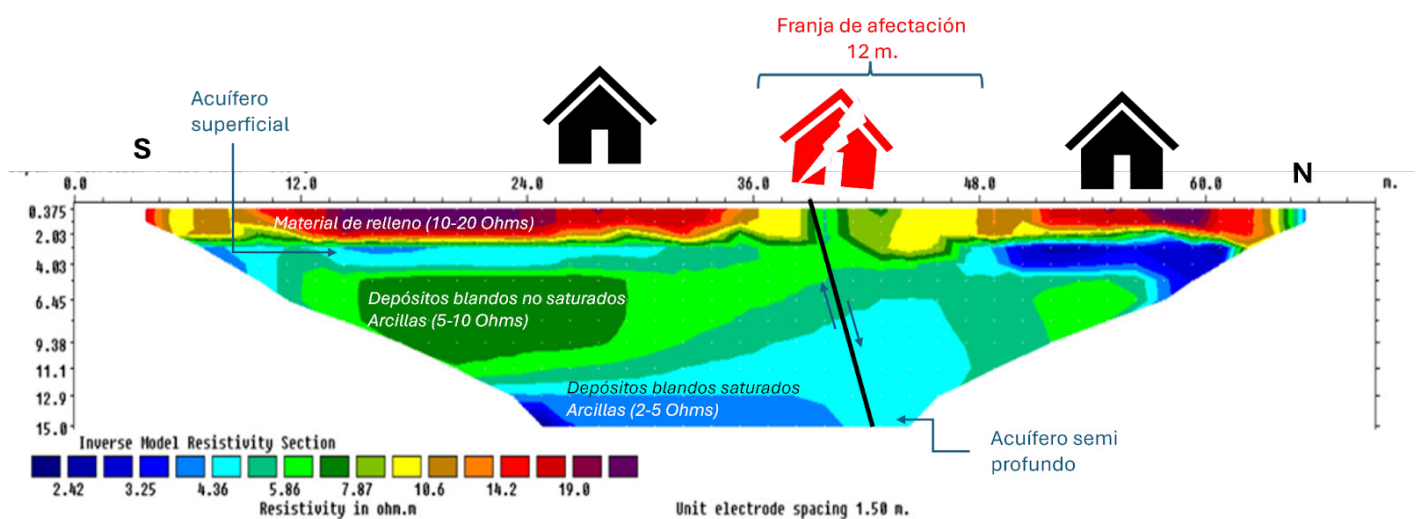


Figura 5. Perfil de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) transversal a la FSC, mostrando la zona de deformación de 12 m de ancho, (Tomada de Rodríguez-Maciel, 2025).

Mecanismo físico: causa del hundimiento por el descenso del agua.

El mecanismo se explica por el principio de esfuerzo efectivo. En un acuífero sano, el agua contenida en los poros de los sedimentos (arcillas, limos, arenas) ejerce una presión hacia arriba que ayuda a soportar el peso de las capas de tierra superiores. Al extraer agua de manera masiva, esta presión disminuye. La carga que antes soportaba el agua se transfiere directamente al esqueleto granular de los sedimentos. En los depósitos lacustres y aluviales de Morelia, que son altamente compresibles, esta nueva carga provoca que las partículas se reacomoden y el volumen total del sedimento se reduzca de forma irreversible. Este proceso de compactación en el subsuelo es lo que se manifiesta en la superficie como subsidencia o hundimiento.

Cuantificación del abatimiento en la región

Los datos técnicos confirman la magnitud de este abatimiento en el acuífero Morelia-Queréndaro (**Tabla 1**). El informe oficial de la CONAGUA (2024) establece que se extraen anualmente 39.9 millones de metros cúbicos más de agua de la que se recarga de forma natural. Este déficit es la causa directa del descenso del nivel del agua. Como consecuencia de este déficit sostenido, el nivel piezométrico (el nivel del agua en los pozos) ha registrado un descenso de hasta 40 metros en las zonas más críticas de Morelia desde la década de 1990. Este descenso se traduce en la necesidad de perforar pozos cada vez más profundos para encontrar agua. Reportes indican que, en los últimos 15 a 20 años, la profundidad de las perforaciones en Morelia ha pasado de 100 metros a más de 350 metros (CONAGUA, 2024; IMPLAN Morelia, 2024).

Análisis comparativo en el contexto mexicano

La situación de Morelia es parte de una problemática extendida hasta el centro del país. El estudio (Estelle Chaussard, 2014) sitúa a Morelia entre las ciudades con subsidencia significativa comparable a Querétaro (5.0 cm/año) y Toluca (7.0 cm/año), y con tasas menores a casos más severos como Celaya (8.5 cm/año) o el Valle de México (hasta 30 cm/año). En todas estas ciudades, la causa principal es la extracción de agua subterránea

de depósitos compresibles, y se observa que las fallas preexistentes actúan como límites que controlan la deformación del terreno (Estelle Chaussard, 2014).

Análisis comparativo en el contexto global

La subsidencia del terreno es un peligro geológico global que afecta principalmente a grandes ciudades. Un análisis de 290 casos en 41 países muestra que las zonas más vulnerables son las llanuras costeras y los deltas de los ríos, que constituyen el 47% de las áreas afectadas. La actividad humana es la causa principal en casi el 77% de los casos. La extracción del agua subterránea para uso urbano y agrícola es el factor dominante, responsable de casi el 60% de la subsidencia inducida por el hombre (Bagheri-Gavkosh *et al.*, 2021).

Principales focos de investigación

- China es el país más estudiado, representando más del 25% de los casos analizados. Ciudades como Shanghai y Pekín son ejemplos emblemáticos del fenómeno.
- México ocupa el segundo lugar con aproximadamente el 12% de los estudios, destacando casos como la Ciudad de México, Morelia y Querétaro.
- Estados Unidos representa cerca del 11% de los casos, con áreas extensamente documentadas como el Valle Central de California, Houston y Las Vegas.

(Bagheri-Gavkosh *et al.*, 2021)

Además de los tres principales países, la investigación incluye un gran número de casos en otras naciones, evidenciando la naturaleza extendida del problema.

Distribución geológica adicional

- Irán e Indonesia son también focos importantes de investigación, seguidos por Japón, Vietnam, India y Tailandia.
- Italia y los Países Bajos tienen una cantidad significativa de estudios debido a sus extensas zonas costeras bajas.

Tabla 1. Comparativa 2000–2020 Acuífero Morelia-Queréndaro

Año	Recarga (hm³/a)	Extracción (hm³/a)	Déficit / Disponibilidad (hm³/a)	Descenso piezométrico aproximado (m)
2000-2007	~286.7	~162.2	-6.17 (déficit)	20–30 m desde 1990
2008-2015	similar	tendencia creciente	creciente déficit	-30 a -40 m desde 1990
2016-2020	—	—	—	hasta 4 cm/año hundimiento en zonas urbanas

CONAGUA (2024), Sierra (2024), Celaya (2020), Velázquez (2022), Galloway y Burbey (2011)

También se incluyen casos como España, Alemania, Polonia, Francia y Reino Unido.

- El análisis también abarca estudios en Australia y países de África como Egipto y Sudáfrica, y de Sudamérica como Brasil y Colombia

(Bagheri-Gavkosh *et al.*, 2021).

Esta distribución global confirma que la subsidencia es un riesgo geológico presente en todos los continentes, particularmente donde la demanda de agua subterránea es alta.

Manifestación física del riesgo

El trabajo documentó fallos severos en las edificaciones pertenecientes a los fraccionamientos ya mencionados, los cuales se ubican sobre la FSC (Figura 6, 7 y 8). De las evidencias más espectaculares son los daños que presentó una antigua edificación del COMAPA en el fraccionamiento Valle Real, que empezó a mostrar un deterioro progresivo y severo, evidenciando directamente la subsidencia diferencial en la infraestructura.

Discusión

Los resultados presentados no solo evidencian la correlación directa entre la subsidencia del terreno y la sobreexplotación de los acuíferos en la región Morelia-Tarímbaro, sino que además revelan una amenaza profunda a la seguridad hídrica y la viabilidad urbana a largo plazo. La subsidencia, con tasas de hasta 7 cm/año, no es un mero fenómeno geológico, sino el síntoma más visible de una gestión hídrica insostenible que ha llevado al acuífero a un déficit anual de -39.9 hm^3 .

Desde el enfoque de la seguridad hídrica, entendida como la garantía de acceso sostenible al agua en cantidad y calidad para diversos usos humanos y ecosistémicos, este fenómeno representa una amenaza directa. La compactación irreversible de los depósitos lacustres y aluviales reduce la capacidad de almacenamiento natural del subsuelo, comprometiendo la resiliencia de la ciudad ante periodos de sequía, los cuales, según los registros, se han vuelto más frecuentes e intensos en la última década.

La subsidencia registrada en zonas con alta densidad urbana y perforaciones sin control —como Nocupétaro, Cerritos o los fraccionamientos mencionados— revela la ausencia de una estrategia integral de monitoreo piezométrico, regulación del bombeo y recarga artificial. Esta situación compromete la resiliencia hídrica de la ciudad a mediano plazo.



Figura 6. Daños estructurales por subsidencia visibles en 2025 en el antiguo edificio del COMAPA, Fraccionamiento Valle Real.

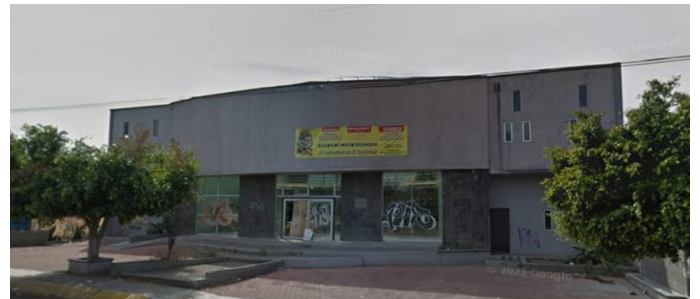


Figura 7. El mismo edificio en 2012, antes de la manifestación de los daños más severos (Google Maps, 2025).

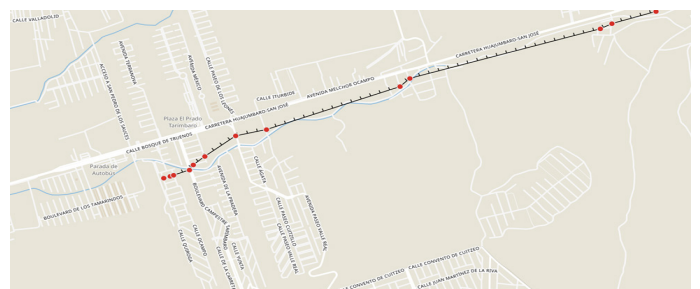


Figura 8. Traza cartografiada de la FSC afectando desde el Fracc. Laureles, hasta la Col. Miguel Hidalgo (Tomada de Rodríguez-Maciél, 2025).

Asimismo, la seguridad estructural de la vivienda social queda expuesta ante riesgos que no han sido contemplados en los actuales planes de desarrollo urbano, lo que amplía la dimensión social de esta crisis. En este sentido, el análisis espacial de dicha estructura del catastro municipal revela que la FSC intercepta geométricamente a 90 predios (Rodríguez-Maciel, 2025). Para estos lotes, la ubicación dentro de la zona de anomalía geofísica implica no solo daños físicos progresivos, sino una depreciación crítica del patrimonio, confirmando la inviabilidad de la vivienda de interés social construida directamente sobre la traza activa.

La solución a esta crisis no radica en la búsqueda de fuentes de agua más lejanas, sino en la implementación de medidas de gestión concretas y ya delineadas en instrumentos de planeación. El «Proyecto Estratégico de Seguridad Hídrica Morelia 2050» propone una hoja de ruta técnica y financieramente viable que incluye acciones impostergables:

- **Regulación de extracciones y monitoreo piezométrico:** es fundamental establecer un sistema de monitoreo en tiempo real de los niveles del acuífero para gestionar las extracciones de manera dinámica y evitar el abatimiento de los niveles que detona la compactación, para lo cual, se recomienda que se establezca cada periodo de tiempo, que pudiera ser cada 3 meses.
- **Recarga artificial del acuífero:** el proyecto plantea un Programa Metropolitano de Recarga con una meta de 40 hm³/año mediante soluciones basadas en la naturaleza (SBN), como presas de gaviones y zanjas de infiltración. Este volumen es prácticamente equivalente al déficit anual, lo que permitiría iniciar un proceso de estabilización y recuperación del acuífero.
- **Gestión de la demanda y reúso de agua:** la reducción de las pérdidas físicas en la red de distribución del OOAPAS, estimadas en casi el 50%, y la implementación de esquemas de intercambio intersectorial y reúso de agua residual tratada (proveniente de las plantas de Atapaneo e Itzicuaros) son cruciales para disminuir la presión sobre el agua de primer uso.

Conclusiones

El presente estudio permitió documentar una correlación directa entre la subsidencia del terreno y las patologías estructurales severas en la vivienda de interés social sobre la FSC. Se concluye que el hundimiento progresivo no es

solo un riesgo geológico, sino una amenaza activa para el patrimonio familiar y la seguridad física de los habitantes, exacerbada por la falta de ordenamiento territorial en zonas de riesgo.

La evidencia de campo recopilada en este estudio valida la urgencia de implementar las medidas propuestas en el plan Morelia 2050. Los daños observados confirman que la inacción actual está acelerando el deterioro, respaldando la necesidad de la recarga de 40 hm³ citada por IMPLAN, así como la restricción inmediata de nuevas construcciones sobre la traza de fallas activas.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Tecnológica de la Construcción por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en un entorno de excelencia académica y por proporcionarme las herramientas necesarias para culminar este proyecto.

A la Ing. Denise Bautista, mi más sincera gratitud por su invaluable apoyo, orientación y dedicación a lo largo de este proceso. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Gerardo Rodríguez, agradezco profundamente su guía, conocimiento y aliento constante, que me motivaron a dar lo mejor de mí en cada etapa de esta investigación. Este logro no habría sido posible sin su respaldo y confianza.

Referencias

- Bagheri-Gavkosh M, Hosseini SM, Ataie-Ashtiani B, Sohani Y, Ebrahimian H, Morovat F, Ashrafi S (2021). Land subsidence: A global challenge. *Science of The Total Environment* 778:146193. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146193
- Celaya O (2020). Sobreexplotación de acuíferos ha generado estrés hídrico en Michoacán. *Quadratin, Michoacán*, <https://www.quadratin.com.mx/sucesos/sobreexplotacion-de-acuiferos-ha-generado-estres-hidrico-en-michoacan/> [consultado el 06 de junio de 2025].
- CONAGUA (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro (1602), estado de Michoacán. *CONAGUA*, <https://www.gob.mx/conagua>, [consultado el 03 de junio de 2025].
- Chaussard E, Wdowinski S, Cabral-Cano E, Amelung F (2014). Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series. *Remote Sensing of Environment* 140:94–106. doi:10.1016/j.rse.2013.08.038
- Galloway DL, Burbey TJ (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*

19(8):1459–1486. doi:[10.1007/s10040-011-0775-5](https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5)

Garduño-Monroy VH, Arreygue-Rocha E, Israde-Alcántara I, Rodríguez-Torres GM (2018). Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 18 (1):37–54

Gómez-Vasconcelos MG, Ramón Avellán D, Ávila García J, Pierre Lacan, Israde-Alcántara I, García O, Aray Castellano J, Audin L (2023). The Tarímbaro-Álvaro Obregón Fault, a major structure of the Morelia-Acambay Fault System in Central México. *Research Square* doi:[10.21203/rs.3.rs-3290766/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3290766/v1).

IMPLAN Morelia (2024). *Proyecto Estratégico de Seguridad Hídrica de Morelia Hacia el 2050*, Morelia, Michoacán, México, *IMPLAN Morelia*.

Morelia M (2017). Alerta Semarnacc por sobreexplotación de mantos acuíferos. *Mi Morelia.com* <https://mimorelia.com/noticias/alerta-se-marnacc-por-sobreexplotacion-de-mantos-acuiferos> [consultado el 06

de junio de 2025].

Pedraza Pérez AC (2018). Vulnerabilidad del agua subterránea al poniente de la ciudad de Morelia, Michoacán. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Tesis de Maestría en Ciencias, p. 131. Incluye dos mapas.

Sierra C (2024). Mantos acuíferos están sobreexplotados: CEAC. *Quadratin Michoacán*. <https://www.quadratin.com.mx/principal/mantos-acuiferos-estan-sobreexplotados-ceac/> [consultado el 03 de junio de 2025].

Velázquez J (2022). Por sobreexplotación de mantos acuíferos, Morelia se hunde. *CONTRAMURO*. <https://www.contramuro.com/por-sobreexplotacion-de-mantos-acuiferos-morelia-se-hunde/> [consultado el 06 de junio de 2025].

Rodríguez-Maciel RA (2025). Caracterización de la Falla Geológica de Superficie Cuitzillo. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, *Universidad Tecnológica de la Construcción*.