



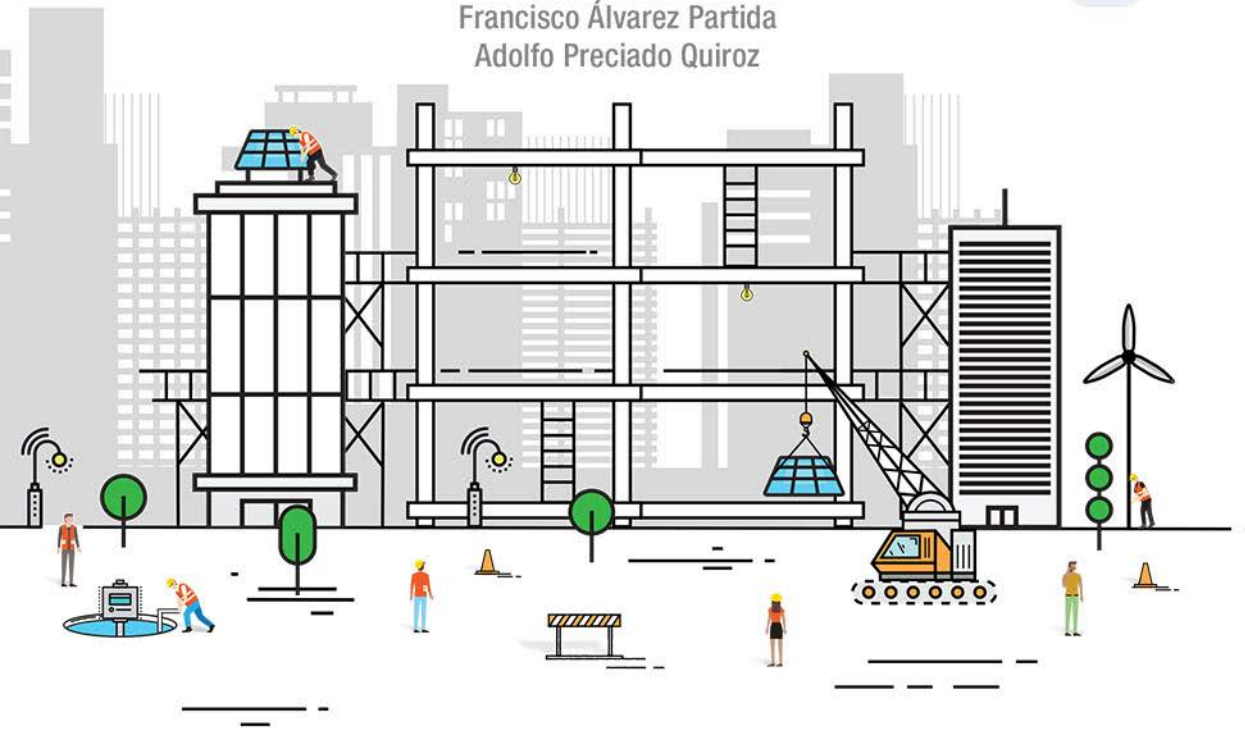
◆ Colección: Hábitat sustentable contemporáneo ◆

SUSTENTABILIDAD Y TECNOLOGÍA

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SEGURA
Y EFICIENTE DEL HÁBITAT

Coordinadores:

Mara Alejandra Cortés Lara
Rodrigo Flores Elizondo
Francisco Álvarez Partida
Adolfo Preciado Quiroz

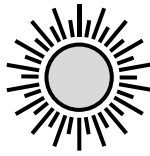


ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara

◆ Colección: Hábitat sustentable contemporáneo ◆

SUSTENTABILIDAD Y TECNOLOGÍA

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SEGURA
Y EFICIENTE DEL HÁBITAT



◆ Colección: Hábitat sustentable contemporáneo ◆

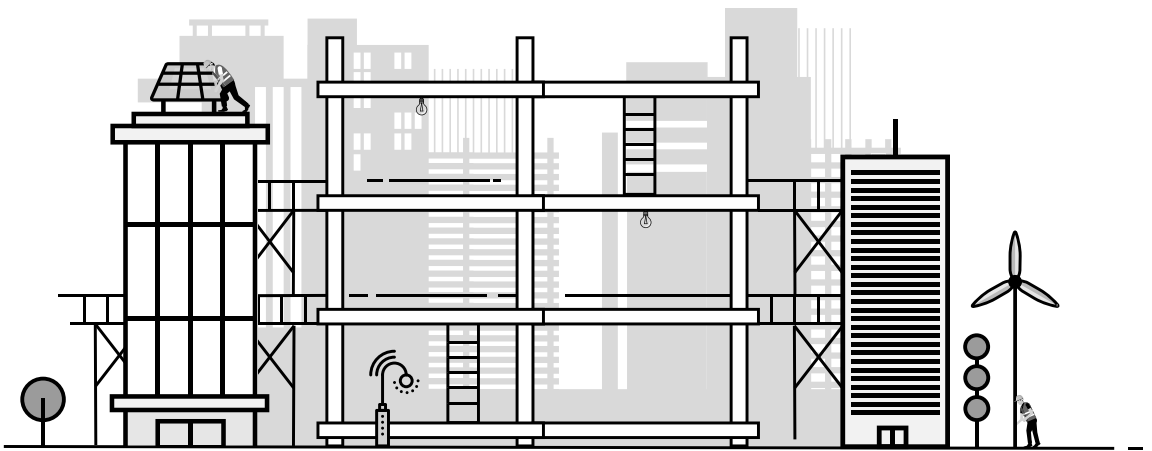
SUSTENTABILIDAD Y TECNOLOGÍA

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SEGURA Y EFICIENTE DEL HÁBITAT

Coordinadores:

Mara Alejandra Cortés Lara
Rodrigo Flores Elizondo
Francisco Álvarez Partida
Adolfo Preciado Quiroz

VOLUMEN 2



INNOVACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Biblioteca Dr. Jorge Villalobos Padilla, SJ

Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats (1º : 2016 : ITESO)

Sustentabilidad y tecnología : herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat /
Coord. de M.A. Cortés Lara... [et al.] ; introd. de M.A. Cortés Lara, R. Flores Elizondo.-- Guadalajara,
México : ITESO, 2018.

202 p. (Hábitat Sustentable Contemporáneo)

ISBN 978-607-8528-85-1 (Ebook PDF)

ISBN de la colección 978-607-8528-77-6 (Ebook PDF)

1. Redes Sociales – Cosenza, Italia. 2. Hundimientos de Tierra – Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 3. Vivienda – Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 4. Vulnerabilidad Social – Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 5. Desechos – Torreón, Coahuila. 6. Contaminantes Ambientales – Torreón, Coahuila. 7. Agua de Lluvia – Administración. 8. Recursos Naturales – Administración. 9. Sistema de Drenaje y Alcantarillado. 10. Infraestructura Urbana. 11. Valoración Patrimonial e Histórica. 12. Construcción Antisísmica. 13. Universidades – Lejona, España. 14. Zonas Urbanas. 15. Energía Solar y Arquitectura – Cali, Colombia – Concursos. 16. Ecodiseño. 17. Desarrollo Sustentable – Aspectos Tecnológicos. 18. Desarrollo Sustentable – Congresos – Tema Principal. 19. Desarrollo Urbano – Tema Principal. 20. Urbanismo. I. Cortés Lara, Mara Alejandra (coordinación). II. Flores Elizondo, Rodrigo (introducción). III. t.

[LC]

711. 4 [Dewey]

Comité editorial de la colección:

Mtro. Francisco Álvarez Partida

Dr. Raúl Díaz Padilla

Dr. Rodrigo Flores Elizondo

Arq. Carlos Petersen Farah

Dr. Adolfo Preciado Quiroz

Dr. Daniel Enrique Sardo

Dra. Mara Alejandra Cortés Lara (coordinadora)

Diseño original: Danilo Design

Diseño de portada: Héctor Alberto Medina Velázquez / Despacho Integral de Diseño ITESO

Diagramación: Rocío Calderón Prado

Este libro es producto del proyecto “Publicación especializada: Construyendo el hábitat sustentable contemporáneo” según convenio 5413-2017, financiado por COECYTJAL.

La presentación y disposición de *Sustentabilidad y tecnología. Herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat* son propiedad del editor. Aparte de los usos legales relacionados con la investigación, el estudio privado, la crítica o la reseña, esta publicación no puede ser reproducida, ni en todo ni en parte, en español o cualquier otro idioma, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia, o cualquier otro, inventado o por inventar, sin el permiso expreso, previo y por escrito del editor.

1a. edición, Guadalajara, 2018.

DR © Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)

Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585, Col. ITESO,

Tlaquepaque, Jalisco, México, CP 45604.

www.publicaciones.iteso.mx

ISBN 978-607-8528-85-1 (Ebook PDF)

ISBN de la colección 978-607-8528-77-6 (Ebook PDF)

Índice

INTRODUCCIÓN /
Mara Alejandra Cortés Lara y Rodrigo Flores-Elizondo **7**

I. RETOS EN EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES

ALERTA TEMPRANA DE SUBSIDENCIA DESDE INDICIOS
SOCIOECONÓMICOS, GEOLÓGICOS Y DE VIVIENDA VULNERABLE
EN TLAJOMULCO, JALISCO /
Adolfo Preciado Quiroz y Rodrigo Flores-Elizondo **13**

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE SITIOS CONTAMINADOS
EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA /
*Andrea Iante Juárez Ramírez, Raúl Flores Chávez,
Juan Gualberto Antonio Pérez y José Antonio Martínez Villalba* **35**

HIDROLOGÍA URBANA CON CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD /
Alfredo Urías Angulo y Francisco Álvarez Partida **65**

II. TECNOLOGÍA PARA LA EDIFICACIÓN SUSTENTABLE

DE REDES INTELIGENTES A COMUNIDADES INTELIGENTES:
LA EVOLUCIÓN DE LAS REDES PARA UNA NUEVA INFRAESTRUCTURA
SOCIAL / *Pierfrancesco Celani, Erminia d'Alessandro
y Roberta Falcone* **91**

APRENDER HACIENDO: LA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE EN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DEL SOLAR DECATHLON / <i>Iván Osuna Motta</i>	119
INNOVACIONES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS ADMINISTRATIVOS / <i>Luis Alfonso del Portillo, Jon Terés-Zubiaga, Aitor Erkoreka, Koldobika Martín, Jon Torres Lozano, Iván Flores Abascal y Xabier Aparicio</i>	145
INGENIERÍA ESTRUCTURAL SENSIBILIZADA ANTE RIESGOS NATURALES APLICADA A LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO / <i>Adolfo Preciado Quiroz, Ósmar Rodríguez Hurtado, Nayar Gutiérrez Astudillo y Oscar Leal Rubio</i>	173
ACERCA DE LOS AUTORES	195

Introducción

MARA ALEJANDRA CORTÉS LARA
RODRIGO FLORES-ELIZONDO

La sustentabilidad ha logrado establecerse como el paradigma del desarrollo más allá de que, como concepto, puede estar aún en debate, acorde a diferentes posturas de pensamiento. Desde hace ya varios lustros, la sustentabilidad, es la base de las políticas y acciones para la preservación ambiental, el cuidado del patrimonio e incluso de la prevención y alternativas de las ciudades ante los riesgos frente al cambio climático. También es cierto que, a una generación de su propuesta como modelo de desarrollo para reorientar el crecimiento global por la Comisión Brundland, no se han logrado sus mejores promesas; los hábitats naturales retroceden y se llevan los servicios ecosistémicos en los que la humanidad soporta su calidad de vida. La vulnerabilidad crece, sin embargo, la humanidad reacciona.

La sustentabilidad evoluciona como concepto y transforma los mercados, las políticas públicas, las disciplinas académicas. Las mejores mentes del planeta se orientan a resolver problemáticas cada vez más complejas y han consolidado pequeños núcleos de influencia que combaten, con acciones innovadoras, las viejas formas de hacer las cosas.

Es innegable que, en esta evolución del paradigma de la sustentabilidad actual, se considere a la tecnología como uno de los grandes aliados y el recurso que facilita el hábitat del siglo XXI. Lejos está la visión en la que la tecnología era la fuente de los problemas del ambiente, y ahora se incorpora a este desarrollo como un aliado para combatir

los efectos negativos de la negligencia que, como especie, tuvimos con el ambiente durante décadas.

Con la claridad de que los escenarios, sobre los que hay que imaginar e implementar la sustentabilidad, son variados, se construye este libro, producto de las ideas y planteamientos más valiosos que el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), a través del Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, obtuvo al organizar el primer Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats en septiembre de 2016. En este encuentro se dieron cita académicos, urbanistas, desarrolladores de tecnología, autoridades locales, organizaciones civiles y estudiantes de tres continentes (América Latina, Asia y Europa), los cuales trabajaron sobre las líneas de generación y aplicación del conocimiento de los posgrados en sustentabilidad. Dicha labor continuó y maduró posterior al congreso, del que emana este libro, que es parte de una publicación de dos volúmenes.

El contenido de este volumen, titulado *Sustentabilidad y tecnología. Herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat*, incluye textos inéditos que cubren desde las preocupaciones por la vulnerabilidad que se trasmite en diversos ámbitos hasta las infraestructuras para crear ciudades inteligentes y el desarrollo de tecnología apropiada para el hábitat. Responde a tres líneas de generación y aplicación del conocimiento sobre los proyectos sustentables: la infraestructura y equipamientos sustentables, la tecnología apropiada, y la eficiencia en el uso de los recursos naturales y energéticos.

Este volumen se estructuró en dos grandes apartados. El primero se titula “Retos en el manejo sustentable de los recursos naturales”. Plantea una serie de reflexiones sobre las condicionantes del entorno, de las formas de vida actuales y las implicaciones de su manejo sustentable, específicamente considerando la vulnerabilidad de la vivienda por causas hidrogeológicas, los sitios contaminados y la hidrología urbana. El segundo se denomina “Tecnologías para la edificación sustentable” y estructura una serie de discusiones y propuestas para afrontar, mediante los recursos tecnológicos, la sustentabilidad en una variedad de ám-

bitos, que van desde las redes inteligentes, la construcción sostenible de vivienda y la eficiencia energética en edificios, hasta la ingeniería estructural aplicada a la conservación del patrimonio.

El primer apartado de este libro está conformado de tres textos. Abre con “Alerta temprana de subsidencia desde indicios socioeconómicos, geológicos y de vivienda vulnerable en Tlajomulco, Jalisco”. Este texto plantea los riesgos asociados al crecimiento demográfico desproporcionado, considerando que Tlajomulco es un municipio emblemático de este modelo de expansión periférico, que ha imperado por varias décadas. Este crecimiento ha traído, sin duda, una crisis ambiental y cierta vulnerabilidad que los autores, Adolfo Preciado Quiroz y Rodrigo Flores-Elizondo, exploran, señalando el riesgo latente de hundimientos a nivel geológico y estructurales a nivel de vivienda.

El siguiente texto tiene un carácter remedial: “Caracterización ambiental de sitios contaminados en la zona urbana de la Ciudad de Torreón, Coahuila”. Andrea Iante Juárez Ramírez, Raúl Flores Chávez, Juan Gualberto Antonio Pérez y José Antonio Martínez Villalba, de la Universidad Iberoamericana Torreón, proponen un método para analizar estos sitios a fin de llegar a estrategias de remediación más eficientes.

El tercer texto realiza, como principal aportación, una comparativa entre dos proyectos aplicados a un desarrollo habitacional para manejo de áreas pluviales, uno con criterios convencionales y otro desde la perspectiva de la sustentabilidad. Alfredo Urías Angulo y Francisco Álvarez Partida, del iteso, son los autores del trabajo titulado “Hidrología urbana con criterios de sustentabilidad”.

En el segundo apartado, orientado a la tecnología, se hace un énfasis en las mejoras e impactos que esta representa tanto en lo social como en lo ambiental. En el texto titulado “De redes inteligentes a comunidades inteligentes: la evolución de las redes para una nueva infraestructura social”, Pierfrancesco Celani, Erminia d’Alessandro y Roberta Falcone establecen una urbe en donde la comunidad es el

actor principal de la inteligencia urbana y que esto va de la mano con la tecnología. En este texto se busca integrar las redes inteligentes energéticas con una compleja infraestructura social.

“Aprender haciendo: La experiencia de aprendizaje en construcción sostenible del Solar Decathlon”, presenta un recuento del proceso que alumnos y profesores desarrollaron para elaborar un prototipo que funciona con energías no convencionales y que sirvió para abordar ciertos puntos de la sustentabilidad energética en las viviendas. Iván Osuna, autor de esta contribución, expone este texto como un instrumento de aprendizaje y experimentación en el campo de la construcción sostenible.

En “Innovaciones en eficiencia energética para la rehabilitación de edificios administrativos”, Luis Alfonso del Portillo y sus colegas de la Universidad del País Vasco, exponen el proyecto en curso A2PBEER, como estrategia para enmarcar los objetivos de la Unión Europea en materia energética a través de un monitoreo y evaluación de los objetivos alcanzados de este proyecto.

El capítulo titulado “Ingeniería estructural sensibilizada ante riesgos naturales aplicada a la protección del patrimonio histórico” cierra esta sección. Adolfo Preciado, Ósmar Rodríguez, Nayar Gutiérrez y Oscar Leal estudian el comportamiento y falla por sismo de edificios históricos de mampostería no reforzada y exploran distintas técnicas para reforzarlos y rehabilitarlos para evitar dañar su carácter patrimonial y el valor arquitectónico y cultural de los mismos.

Esperamos que este esfuerzo académico sea motivante para generar nuevas líneas de trabajo y repensar las soluciones aquí expuestas impulsando el conocimiento sobre la sustentabilidad y su aplicación en los hábitats.

***I. Retos en el manejo sustentable
de los recursos naturales***

Alerta temprana de subsidencia desde indicios socioeconómicos, geológicos y de vivienda vulnerable en Tlajomulco, Jalisco

ADOLFO PRECIADO QUIROZ
RODRIGO FLORES-ELIZONDO

Resumen: *el riesgo de subsidencia por extracción excesiva de agua subterránea es mayor en urbes de crecimiento acelerado. El municipio de Tlajomulco, en el occidente de México, observa uno de los mayores incrementos inmobiliarios desde inicios del siglo XXI. Mezcla edificaciones nuevas con otras de adobe y estructuras de mampostería no reforzada o con confinamiento inadecuado, presentando así una vulnerabilidad alta ante la amenaza por subsidencias y sismos. El artículo busca establecer indicios para señalar el riesgo de hundimiento que pudiera presentarse en la zona. Se discute la posibilidad de establecer una alerta temprana desde dichos indicios.*

Palabras Clave: *gestión del agua, vulnerabilidad hídrica, subsidencias, vulnerabilidad estructural, área metropolitana de Guadalajara.*

Abstract: *The risk of subsidence due to the over-extraction of underground water is greater in rapidly growing cities. The municipality of Tlajomulco, in western Mexico, has undergone one of the fastest rates of real estate development since the turn of the 21st century, with a mix of new constructions alongside others made of adobe and non-reinforced or inadequately confined masonry structures; it is thus highly vulnerable to subsidence and earthquakes. This article seeks to establish*

indicators that will point to the risk of sinking that could occur in the area. The possibility of setting up an early-warning system based on these indicators is discussed.

Keywords: *water management; hydrological vulnerability, structural vulnerability, metropolitan area of Guadalajara.*

El crecimiento de las ciudades va enfrentando diversos retos. Uno milenario es el abasto suficiente de agua para el servicio de la población. Grandes centros urbanos del mundo se han desarrollado cerca de ríos y lagos, y en algún momento de su historia han tenido que enfrentar los límites del territorio para satisfacer su demanda (Melville, 1996; Aboites, 1998; Castro, 2006). Otro reto urbano, no menor, es el poder edificar en un terreno firme. Como apuntan Xavier Font, José Serra y Víctor Pinto (1996), los riesgos geológicos se componen de la probabilidad de que sucedan y del daño que pueden causar.

La probabilidad de un hundimiento de tierra tiene que ver con dinámicas geológicas naturales que pueden modificarse por conductas antropogénicas. Una acelerada urbanización es una de estas conductas. Dicho dinamismo humano también aumenta la posibilidad de daño por subsidencia dada la creciente cantidad de edificaciones expuestas. Así, tendría que contarse con un sistema que evaluara el riesgo en que se está incurriendo a fin de moderar o encausar las conductas inicuas y remediar cuando sea posible. Sin embargo, las autoridades municipales suelen ver el crecimiento urbano con buenos ojos y solo actúan cuando los hundimientos son evidentes. Es, por tanto, importante contar con sistemas de alarma temprana basados en indicios.

Como los mismos Font, Serra y Pinto (1996) acusan, un adecuado sistema de monitoreo pudiera ser muy costoso, por lo que es poco utilizado fuera de puntos específicos de gran interés. Ciudades medias de Jalisco como Ciudad Guzmán (Brunori, Bignami, Albano, Zucca, Samsonov, Gropelli, Norini, Saroli & Stramondo, 2015) o Jocotepec (Leal,

2017) comienzan a registrar subsidencia. En el caso de esta última, el fenómeno abarca una veintena de manzanas en su punto más agudo. Por tanto, es necesario pensar métodos de alerta temprana prácticos y asequibles que puedan atender grandes extensiones urbanas en las que pudiera no haber sitios de particular interés. En el presente artículo se explora un método basado en indicios que permite orientar la mirada de forma estratégica.

En este texto se explorarán tres tipos de indicios que podrían orientar las prevenciones sobre riesgo de subsidencia: los socioeconómicos (crecimiento urbano acelerado, gestión deficiente del agua subterránea y cambios de uso de suelo); los geológicos (tipos de suelo), y los estructurales (edificaciones sensibles). Entre los últimos, se trataría de identificar los primeros indicios de hundimiento en las edificaciones más sensibles disponibles. Las de adobe y estructuras de mampostería no reforzada o con confinamiento inadecuado son un buen ejemplo. Un examen experto y sistemático de este tipo de estructuras puede funcionar como sistema de alerta temprana justo en el punto en que los ayuntamientos pueden tomar cartas en el asunto y antes de que el fenómeno avance y los daños sean mayores.

El caso de estudio se ubica en el municipio de Tlajomulco, municipio conurbado de Guadalajara, Jalisco, el cual ha registrado un crecimiento acelerado en las últimas décadas del siglo XX y las primeras del XXI. Basa su abasto de agua totalmente en fuentes subterráneas y tiene un interesante núcleo de construcciones de mampostería en su cabecera municipal que puede funcionar como base para el indicio estructural. En las conclusiones se discute la utilidad de esta propuesta y se agregan previsiones de reparación funcional una vez que el hundimiento se presente en sus inicios.

INDICIOS SOCIOECONÓMICOS EN TLAJOMULCO: CRECIMIENTO Y AGUA SUBTERRÁNEA

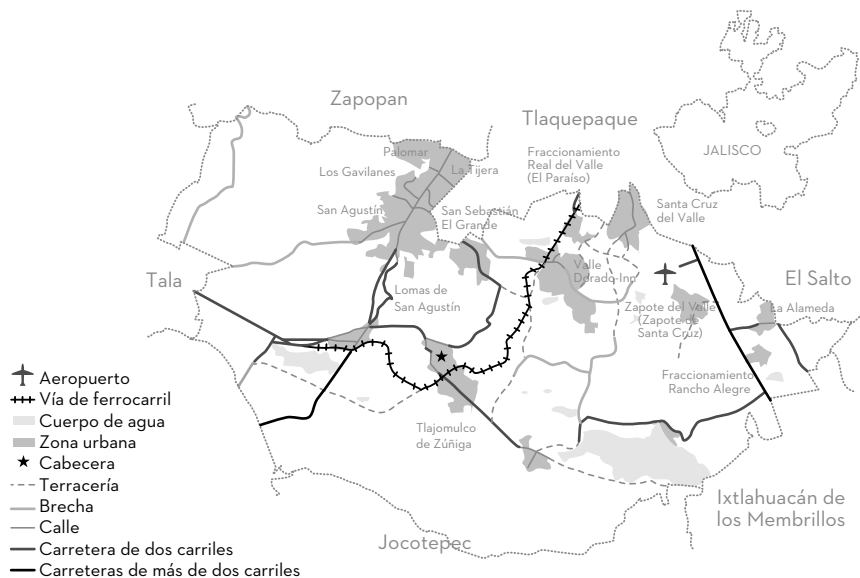
Tlajomulco de Zúñiga es un municipio de la región centro de Jalisco de 682 km² (IIEG, 2016).¹ Se ubica al sur y sur poniente de la ciudad de Guadalajara, cuya mancha urbana se comenzó a compartir desde hace tres décadas. La cabecera municipal aún se mantiene no conurbada a la ciudad; lo mismo que otros tres centros de población relativamente mayores, y una gran variedad de medianos y menores (véase el mapa en la figura 1.1). Su población para 2015 se estimó en 549 mil habitantes (IIEG, 2016). En el conjunto del área metropolitana de Guadalajara (AMG), es el cuarto después de Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque. Pero es el primero en tasa de crecimiento: tenía 123 mil habitantes en 2000; 220 mil en 2005 y 416 mil en 2010 (Uribe, 2016).

En cuanto a la gestión del agua relacionada con este municipio, vale la pena traer a cuentas el estudio de Heliodoro Ochoa (2012), para el que no solo se revisó el conjunto de concesiones de agua subterránea para los diversos usos en ese territorio sino que se indagaron los costos de aumentar las coberturas de abasto y drenaje a la velocidad que crece la población en Tlajomulco. Ya que se trata de una zona en veda, no se pueden autorizar nuevas concesiones. Lo que se hace es adquirir los derechos de extracción desde otro usuario cuya prelatura de uso de agua sea menor según la Ley de Aguas Nacionales (Comisión Nacional del Agua, 2014).

Para el caso de uso público urbano, prácticamente toda concesión de otro tipo de uso está disponible. En Tlajomulco, en 2010, cerca de 15% del agua concesionada era ya para ese uso. El triple de esa can-

1. Según el Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) del Municipio de Tlajomulco (Chavez, 2010), la extensión territorial varía según la autoridad y el documento que se atienda. La extensión mínima es de 673 km² y la máxima registrada es de 763 km² con la suma de todas las envolventes. A pesar de esta aclaración, el POEL abarca 769.5 km² en su estudio de cambios de uso de suelo (véase la tabla 1.1).

FIGURA 1.1 UBICACIÓN DE ZONAS URBANAS, CUERPOS DE AGUA Y VIALIDADES EN TLAJOMULCO, MÉXICO



Fuente: Inegi (2010b).

tividad estaba bajo concesión agrícola. Así, por transmisión de títulos, el mecanismo parece viable por varios años a medida que el uso de suelo cambia. Sin embargo, como se adelantó, los acuíferos sobre los que se asienta el territorio ya están sobreexplotados (acusan un déficit conjunto de $87 \text{ hm}^3 / \text{año}$, DOF, 2015).² El cambio de uso de suelo, por su parte, también abona al aumento del riesgo de subsidencia.

2. El Instituto de Información Estadística y Geográfica (INEGI, 2016) se apoya en el Índice Municipal de Medio Ambiente para afirmar que está asentado sobre un acuífero no sobre explotado. Esto es correcto solo parcialmente pues la Comisión Nacional del Agua publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015) que, de los tres acuíferos que toca el territorio, la disponibilidad es de $0.8 \text{ hm}^3 / \text{año}$ para el 1450, San Isidro y de déficit de $72.3 \text{ hm}^3 / \text{año}$ para el 1402, Toluquilla y de $15.3 \text{ hm}^3 / \text{año}$ para el 1403, Cajititlán. Los últimos dos son los predominantes en el territorio.

CAMBIOS DE USO DE SUELO

Según el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Tlajomulco (Chávez, 2010), se trata de un municipio con amplias áreas verdes que incluyen algunas con estatus de área natural de protección (ANP), como es el caso de una parte del ANP Bosque La Primavera y la totalidad del ANP de Cerro Viejo (la primera aporta unas cuatro mil hectáreas de ecosistemas terrestres naturales primarios y la segunda, nueve mil). Tiene varios cuerpos de agua, incluida la laguna de Cajititlán (segundo cuerpo de agua de Jalisco) de 1,700 hectáreas de embalse.

La actividad económica predominante, en cuanto a extensión territorial, sigue siendo la agrícola (una cuarta parte del territorio), a pesar de que en las últimas décadas ha ido retrocediendo, al igual que los hábitats naturales, para dejar sitio a los espacios urbanos. La tabla 1.1 evidencia esta dinámica, pero también permite matizar; la agricultura de temporal crece entre 1990 y 2008, en tanto que la de riego decrece entre 1973 y 2008. Por tanto, es posible leer aquí no solo el cambio de uso de suelo sino también de uso de agua, de agrícola a urbano.

Siguiendo con el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Tlajomulco (Chávez, 2010), fuente de la tabla 1.1, se observa que los hábitats naturales (incluyen ecosistemas acuáticos, bosques templados y bosques tropicales) prácticamente no perdieron terreno entre 1973 y 1990, pero lo hicieron con rapidez los siguientes dieciocho años. En cambio, los hábitats inducidos (incluyen vegetación sabanoides, matorral subtropical y pastizal inducido) han retrocedido en ambos periodos, aunque a una velocidad menor.

Este mismo documento detalla cómo la región tiene un elevado potencial de evo-transpiración en relación con la precipitación promedio mensual. Lo cual lleva a que solo durante los meses de julio a septiembre es esperable infiltración de agua subterránea. Dado que esta infiltración era apoyada en bordos que retenían cuerpos de agua perenes (385 embalses, 634 ha, 26 hm³, en el año 2000; 53% perdidos en la primera década del siglo XXI) y de represas (nueve presas, 1,316 ha en

TABLA 1.1 CAMBIOS DE USOS DE SUELO ENTRE 1973 Y 2008 EN TLAJOMULCO, MÉXICO

Clase o agrupación por tipo de ecosistema	Superficies (ha)			Porcentajes del total municipal				
	1973	1990	2008	1973	2008	1973 a 1990	1990 a 2008	Cambio 1973 a 2008
Total de hábitat natural	26,569.2	26,556.2	21,594.0	34.5%	28.1%	0.0%	-18.7%	-18.7%
Total de hábitat inducido	27,264.4	24,831.5	24,546.0	35.4%	31.9%	-8.9%	-1.1%	-10.0%
Hábitat artificial								
Agricultura de temporal	12,109.1	9,348.7	15,198.1	15.7%	19.8%	-22.8%	62.6%	25.5%
Agricultura de riego / de humedad	2,357.0	1,540.4	1,287.0	3.1%	1.7%	-34.6%	-16.5%	-45.4%
Áreas sin vegetación aparente	8,351.7	13,503.6	7,963.1	10.9%	10.3%	61.7%	-41.0%	-4.7%
Urbanizado	298.4	1169.3	6147.7	0.4%	8.0%	291.9%	425.8%	1960.2%
Total de hábitat artificial	23,116.2	25,562.0	30,595.9	30.0%	39.8%	10.6%	19.7%	32.4%
Totales	76,950	76,950	76,950	100.0%	100.0%			

Fuente: elaboración propia con base en Chávez (2010).

el año 2000; 37% perdidas hacia el año 2010), la paulatina desaparición de estos es otro factor de pérdida en la infiltración y de aumento en la vulnerabilidad hídrica y estructural.

Como parte de los riesgos detectados en el municipio, se establece una dinámica anual de inundaciones que se prevé aumente debido a la urbanización y modificación de represas, drenajes y cuencas naturales. Las dinámicas socioeconómicas y socioterritoriales son retomadas por el gobierno municipal de Tlajomulco en su Plan Municipal de Desarrollo 2015–2018. En su diagnóstico, la problemática del agua, ya

sea como abasto o como drenaje, es la primera o la segunda en las tres regiones en que divide al territorio. El ayuntamiento, como medida de respuesta, lanza un plan que denomina de Manejo Integrado de Agua. Sin embargo, se trata del tradicional aumento de ofertas de agua y drenaje a través de infraestructura, sin estudio alguno del estado de los acuíferos (el que lleva a cabo de oficio la Comisión Nacional del Agua es insuficiente, Peñuela–Arévalo, 2012) tanto en cantidad como en calidad, ni de la estructura geológica de la zona, a fin de prevenir asentamientos.

El municipio de Tlajomulco registra, entonces, las condiciones socioeconómicas que lo hacen susceptible de sufrir hundimientos que dañen sus estructuras urbanas. Toca ahora examinar las condiciones geológicas del territorio.

INDICIOS GEOLÓGICOS

En una revisión de literatura, relativamente reciente sobre subsidencia en zonas urbanas en el centro y el occidente de México, pueden encontrarse casos en el centro de México en general (Chaussard, Wdowinski, Cabral–Cano & Amelung, 2014), y en particular de Querétaro (Pacheco, Arzate, Rojas, Arroyo, Yutsis & Ochoa, 2006) y Aguascalientes (Martínez, Hernández, Thomas, González, Ortiz, Zermeño & Solis, 2013), y las mencionadas Ciudad Guzmán (Brunori *et al.*, 2015) y Jocotepec (Leal, 2017). En general, los casos reportan correlacionar con extracción de agua subterránea por arriba de la capacidad de recarga calculada para la zona. También se reportan fallas tectónicas previas al fenómeno y tipos de suelo aluviales. El mapa en la figura 1.2 ilustra la ubicación de fallas tectónicas sobre el relieve en el territorio de Tlajomulco.

Estelle Chaussard, Shimon Wdowinski, Enrique Cabral–Cano y Falk Amelung (2014) estudiaron el fenómeno de subsidencia del suelo en el centro de México y encontraron que las principales ciudades que pueden presentar problemas potenciales de este tipo son Puebla, Ciu-