

# Las inundaciones en la zona metropolitana de Guadalajara

LUIS VALDIVIA ORNELAS\*  
M. DEL ROCÍO CASTILLO AJA\*  
ANTONIO GONZÁLEZ SALAZAR\*

La zona metropolitana de Guadalajara cada vez se ve más afectada por intensas precipitaciones; esto, junto con un aumento de la población y de superficies peligrosas, está ampliando las zonas de riesgo por inundación. Son pocos los estudios que se han realizado con objeto de entender las variables vinculadas con este fenómeno peligroso, en general se le atribuye exclusivamente al rezago en la infraestructura y los problemas de basura que obtura las alcantarillas. La situación es más compleja ya que las inundaciones responden a una serie de variables, en donde las modificaciones en los regímenes de las cuencas debido al proceso urbano representan una de las principales variables.

**Palabras clave:** Crecimiento urbano, cuenca hidrológica, alteraciones, inundaciones, ordenamiento

*The metropolitan zone of Guadalajara has being more affected by intense precipitations in the recent raining seasons; this along with an increase in population and dangerous surfaces is extending the zones of risk by flood. There are few studies that have been made with the objective of understanding the tie variables with this dangerous phenomenon, in general it is attributed exclusively to old infrastructure and the problems with trash obstructing the culverts. The situation is more complex since, the floods respond to a series of variables where the modifications in the regimes of the river basins due to the urban process represent one of the main variables.*

**Key words:** Urban growth, hydrological basin, alterations, floods, ordinance.

## Introducción

Los fenómenos “naturales” peligrosos han aumentado considerablemente en los últimos años, tanto en áreas rurales como urbanas del estado de Jalisco; en estas últimas se ha incrementado considerablemente la cantidad de población expuesta, así como su vulnerabilidad, la peligrosidad y recurrencia de las amenazas.

Uno de los factores determinantes está relacionado con las consecuencias que ha traído el crecimiento físico de las ciudades en la dinámica del medio natural. Esto vuelve necesaria la realización de estudios para comprender las variables que determinan el comportamiento espacial y temporal

de las amenazas, con el objeto de apoyar al proceso de toma de decisiones en la cuestión de planeación urbana.

No es sino hasta años recientes que el tema de los llamados “desastres naturales”<sup>1</sup> y sus impactos en las actividades humanas han sido tratados en los estudios urbanos. El abordaje desde la disciplina de la geografía contempla rasgos importantes, desde el punto de vista metodológico, que ayudan a comprender mejor este tipo de fenómenos, ya que son producto de la relación naturaleza-sociedad.

El presente artículo se deriva de un proyecto más amplio denominado “El Atlas de Riesgos de la Zona Conurbada de Guadalajara”<sup>2</sup>.

\* Profesores-Investigadores, del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: lvaol2003@yahoo.com.mx; rocasaja@yahoo.com. Los autores agradecen a Marcela L. Quiroz Hernández, J. Arturo Muñiz Jauregui, Patricia G. Zamora Guzmán, Ana T. Ortega Minakata y J. Martín Baltazar Mojica su participación en la elaboración del presente artículo

## Metodología

El estudio se emprendió a través de dos variables fundamentales: la elaboración de un inventario de los fenómenos peligrosos registrados durante los últimos 20 años, y la evaluación de la susceptibilidad del territorio a presentar cierto tipo de peligro. La susceptibilidad se basa en la realización de mapas temáticos que integren la información de los factores condicionantes de cada fenómeno.

La primera variable permite integrar una cartografía de eventos históricos, con el objeto de conocer en dónde se han registrado; en tanto que la segunda variable pretende generar una cartografía para discretizar zonas que pueden ser afectadas en un futuro. De esta manera, con la sobreposición de estas dos capas de información, se pueden discretizar zonas de alto, medio y bajo riesgo.

## El agua como riesgo

Las inundaciones son uno de los fenómenos más comunes vinculados con una serie de factores como precipitaciones extremas, cambios en el uso del suelo, presencia de infraestructura hidráulica y asentamientos humanos sobre riberas de ríos, lagos, presas y bordos.

Las crecidas representan un caso extraordinario de agua concentrada en un tiempo relativamente corto, esta situación se presenta cuando el cauce no tiene suficiente capacidad para movilizar toda el agua, es entonces cuando se presentan los desbordes en las márgenes del cauce.

Las inundaciones siguen siendo un fenómeno inesperado, enfrentar la situación es complejo, por lo que la estrategia de mitigación tiene que partir del conocimiento amplio del comportamiento de las cuencas fluviales y de los procesos que generan las avenidas, así como del patrón de urbanización y sus impactos en el comportamiento superficial del agua, además de la valoración de la vulnerabilidad de la población.

## Mapas de peligrosidad

Los mapas constituyen la forma más efectiva de representación de la información referente a la peligrosidad, y deben ser usados por planificadores, arquitectos, ingenieros, técnicos, etcétera.

Los trabajos de cartografía tienen por finalidad dividir el territorio en unidades con diferente grado de peligro o riesgo potencial. De acuerdo con González de Vallejo et al. (1999) existen mapas de inventario y susceptibilidad.

- Mapas de inventario: las áreas que han sido afectadas o son afectadas y que pueden volver a presentarlos. Los mapas de inventario se realizan a escalas regionales, es decir, medianas; (1:100.000 - 1:250.000) este rango de representatividad depende del tipo de proceso, número de factores que lo condicionan, su complejidad, datos disponibles, etcétera.

- Mapas de factores (susceptibilidad): en las áreas en que confluyen ciertos factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque éstos no se hayan presentado hasta la actualidad, podrían ocurrir en un futuro. En este último caso, la discriminación de zonas susceptibles a presentar determinado fenómeno se basa en la realización de mapas temáticos de los factores condicionantes para que ocurra el fenómeno.

## Tipos de inundaciones

Las inundaciones son variadas, tanto por su origen como por su duración, fuerza, etc, lo que hace difícil el cálculo de daños que pueden ocasionar. Por otro lado, el grado de probable afectación varía con respecto a una serie de parámetros, relacionados con aspectos hidro-geomorfológicos de las cuencas, así como del modo de ocupación humana y su nivel de desarrollo. Esto último es relevante ya que se considera que los grupos humanos que tienen más que perder suelen tratar de proveerse de los medios necesarios para disminuir el grado de afectación, además de que su capacidad de recuperación es mayor.

Al hablar de las inundaciones se está haciendo referencia a la interacción entre el sistema natural y el humano, por lo tanto, el análisis tiene que referirse tanto a las características físicas que se presentan como a las de índole humana, es decir, de un análisis del complejo de cuenca.

Un aspecto importante en la valoración de las inundaciones, además de la magnitud, es la frecuencia vinculada con las precipitaciones, para ello se utiliza una serie de procedimientos de análisis estadístico y probabilístico.

La intensidad de la inundación está estrechamente vinculada con los parámetros morfológicos de la cuenca, como son: el tamaño (la superficie) y la morfología, es decir parámetros que controlan el tiempo de concentración. Por otro lado, la duración de las inundaciones también se relaciona con algunos parámetros hidrográficos, y particularmente con las modificaciones producidas por el hombre, dado que alteran el flujo superficial del agua. La ubicación e intensidad de la inundación puede cambiar en el tiempo, debido a modificaciones en la infraestructura o en la dirección del escurrimiento aguas arriba. Por ello es muy variada la duración de las inundaciones, ya que pueden ser de minutos hasta

alcanzar varios días. En la zona de estudio predominan las inundaciones repentinas de corta duración.

En función de la velocidad del agua y las variaciones del nivel, los fenómenos hidrológicos pueden clasificarse en: lentos (ascensionales) y torrenciales (repentinos).

Las inundaciones repentinas (torrenciales) son las más peligrosas, ya que irrumpen en forma completamente caótica, generando afecciones mayores y arrastre de enseres de las viviendas y, en situaciones críticas, hasta de personas y vehículos. Se producen a partir del incremento súbito del agua que transita por el cauce. Este tipo de inundaciones se produce al conjugarse las siguientes características:

- Sistemas hidrográficos de cierta jerarquía (generalmente son cuencas pequeñas).
- Forma de la microcuenca, entre mayor sea su regularidad, (el valor de compactidad se acercará a 1) mayor será la concentración de agua en un periodo corto de tiempo.
- Patrones de precipitación marcados por la torrencialidad (fuertes volúmenes de agua en periodos cortos de tiempo).
- Amplias zonas urbanizadas, con pocos o nulos espacios que pudieran actuar como zonas de absorción ante las crecidas, como pueden ser parques, áreas verdes, etcétera.
- Cauces confinados (modificación de la pendiente y la rugosidad).

### Tipos de aproximaciones en los estudios de inundación

El estudio de las inundaciones en geografía tiene dos aproximaciones: la primera a partir del análisis geomorfológico, donde se define la susceptibilidad a presentar una inundación a través de su ubicación geomorfológica; es decir, se definen unidades como lecho de estiaje y el lecho mayor, cada una de estas unidades presenta una probabilidad distinta de ser afectada por una avenida de agua. La segunda aproximación parte de criterios hidrológicos, para definir los volúmenes de agua máximos esperados en una sección determinada del cauce.

Para el estudio de las inundaciones es necesario utilizar aquellos métodos que permitan un análisis de la variabilidad espacial del proceso hidrológico. Desde esta perspectiva, la modelación del riesgo por avenida tiene que considerar fenómenos tanto del ámbito físico como del sistema territorial.

### Las inundaciones en la zona de estudio

La zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) está siendo afectada por una serie de problemas derivados de la conjugación

de características naturales como los rasgos hidro-climáticos, así como el impacto a la dinámica natural producto del cambio en el uso del suelo, lo que afecta directamente tanto el comportamiento superficial del agua como los valores de infiltración (coeficiente de escurrimiento).

Sólo en los últimos años el tema de los riesgos ha adquirido importancia en el ámbito de la planeación, debido a la magnitud y recurrencia que están alcanzando, y al grado de afectación que generan a la economía, así como a la seguridad de los habitantes de los municipios conurbados.

Las inundaciones comienzan a partir del crecimiento físico de la ciudad a mediados del siglo XIX sobre márgenes de arroyos y zonas topográficamente bajas, que correspondían con los terrenos localizados sobre cauces y las márgenes de los ríos de San Juan de Dios y El Arenal; particularmente en la zona de Mexicaltzingo y Anasco.

No es sino hasta la década de los años noventa del siglo pasado cuando esto se convierte en un problema severo, lo que hace urgente una caracterización del espacio urbano para identificar las variables que determinan la presencia del fenómeno peligroso, y así conocer tanto su magnitud y probabilidad como la cantidad de población expuesta, información que es básica para establecer criterios que permitan diseñar programas de auxilio a la población, además de una política de prevención en un marco de ordenamiento urbano.

### Elaboración de los mapas temáticos

Para la elaboración del mapa de eventos históricos se procedió de la siguiente manera:

- Recopilación de información hemerográfica a partir de 1970.
- Consulta de la base de datos de Protección Civil y Bomberos.
- Entrevistas a la población en general.

La aproximación para discretizar las zonas más susceptibles y determinar el grado de peligrosidad se realizó mediante:

- Recuperación del patrón hidrográfico (paleohidrografía). Para ello se utilizó cartografía antigua de los siglos XIX y XX, así como restitución de fotografía aérea de 1971, fotointerpretación de fotografías aéreas de 1999 y consulta de ortofotos, interpretación de los modelos digitales de elevación y de rugosidad, todo esto complementado con recorridos de campo.
- Caracterización morfométrica, para lo cual se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE), del cual se obtuvieron los siguientes subproductos: hipsometría, pendientes, rugosidad y dirección de la pendiente.

• Estudio climatológico con estaciones de CNA. Se obtuvo la siguiente información: intensidades y periodos de retorno, curva de intensidad-duración-frecuencia.

Tabla 1

Año	Estación Guadalajara			Estación Zapopan		
	Mes	Día	Lluvia (mm)	Mes	Día	Lluvia (mm)
1961	7	28	50	7	2	45
1962	8	20	54.4	10	21	40.5
1963	7	1	62.5	12	13	62.4
1964	6	12	37.5	8	28	52.5
1965	6	20	49.7	6	20	62.2
1966	10	18	38	8	23	58.7
1967	7	14	53.7	11	9	56
1968	3	4	75	3	4	81
1969	9	16	41	7	12	48.5
1970	7	18	95.5	7	18	68.5
1971	6	14	72.5	6	19	53.5
1972	8	4	46.2	8	4	67.9
1973	7	3	64.5	7	4	52.7
1974	9	16	91.5	9	16	76.8
1975	6	29	74	8	5	49.7
1976	7	16	41.2	7	28	64
1977	6	22	80.1	6	23	72.1
1978	6	26	80	6	15	55.2
1979	-	-	-	8	13	47.5
1980	7	14	47.5	9	13	49.4
1981	7	27	35.2	6	20	74.9
1982	11	26	70.5	7	15	62.9
1983	7	27	114.8	7	12	48.7
1984	6	22	87.5	6	27	50.5
1985	6	12	58.2	6	26	61.5
1986	8	28	44.2	8	10	42
1987	6	29	77	6	29	96
1988				9	6	62.2

Fuente: CD-ROM, ERIC, Vol. 2, IMTA.

A partir de los datos del cuadro anterior tenemos que para la estación Guadalajara la máxima precipitación registrada ocurrió en 1983 con un valor de 114.8 mm; en tanto que para la estación Zapopan el valor máximo se presentó en el año de 1974 con 74.6 mm.

### Análisis estadístico de la recurrencia de la precipitación máxima

Existe cierta dificultad para estimar la ocurrencia de un evento hidrológico a través de modelos deterministas, ya que este tipo de eventos no presenta un patrón de ocurrencia, profundidad y duración en espacio y tiempo. Por ello se recurre a métodos estadísticos que nos permitan conocer el periodo de retorno y la probabilidad de recurrencia de las precipitaciones. Con los resultados derivados de éstos se puede entender el comportamiento de la lluvia en escenarios concretos. En este caso, su aplicación sirvió para conocer la probabilidad de que se presente una tormenta con determinada intensidad para un periodo establecido de 5 y 100 años.

De acuerdo con los resultados tenemos que para la estación Zapopan las lluvias clasificadas como extraordinarias (100 mm o más) tienen tiempos de retorno de 29 años; para lluvias fuertes (60-100 mm) el periodo de retorno es de dos años. Mientras que para la estación de Guadalajara los cálculos arrojaron menores tiempos de retorno para lluvias intensas. Las lluvias superiores a los 60 mm tienen una probabilidad de presentarse cada dos años, en lluvias de 40 mm la probabilidad es de un año, valores superiores a los 100 mm tienen una probabilidad de 29 años. Cabe aclarar que cada evento es independiente, esto quiere decir que no necesariamente tienen que pasar esos tiempos calculados para que se vuelva a registrar un siguiente evento.

### Caracterización de las inundaciones en la zona urbana de Zapopan

Para la caracterización de las inundaciones se trabajó por sector hidrográfico,<sup>3</sup> ya que cada conjunto de redes hidrográficas tiene particularidades ligadas con variables tauto de carácter climatológico como geológico (litológico).

Para la zona urbana de Zapopan se diferenciaron seis microcuencas, a las cuales se les asignó el nombre del principal escurrimiento que aparece en la carta topográfica 1:50,000 del INEGI. Así encontramos, en sentido norte-sur, cerca del borde de la ceja de la barranca a la microcuenca denominada Mesa Colorada, tiene una superficie de 7.44 km<sup>2</sup>; la segunda microcuenca corresponde con el Arroyo Hondo-Agua Fría, con 21.73 km<sup>2</sup>; en la zona central tenemos a la subcuenca Colomos-Arroyo de Atemajac, con 74.37 km<sup>2</sup>; en la zona de Chapalita se ubica la microcuenca formada por los Arroyos Arenal-El Chicalote con 33.25 km<sup>2</sup>; en la zona de Arenales Tapatíos se localiza la microcuenca Arroyo Garabatos-Arroyo Grande con 59.75 km<sup>2</sup>; finalmente, en la zona de Bugambillas se localiza la subcuenca denominada Arroyo El Tecolote con 4.33 km<sup>2</sup>.



En general, el sentido de los escurrimientos presenta una dirección suroeste-noreste, es decir, se forman en la zona serrana de La Primavera (Cerros El Tajo-El Colli) y en las estribaciones de Mesa Colorada para desembocar en el Cañón del Río Grande del Santiago; las microcuencas Garabatos y Tecolote tienen como base la zona de Toluquilla (cuenca El Ahogado).

#### *El cambio de uso del suelo y modificación a los valores de los coeficientes de escurrimiento en la subcuenca de Colomos*

El coeficiente de escurrimiento es la primera variable que se modifica cuando cambia el uso del suelo. En la zona urbana de Zapopan este tipo de cambios fueron significativos al momento de comparar superficie urbanizada para los años de 1971 y 1998. En la década de los setenta la superficie no urbanizada representaba 75 por ciento de las cuencas de Colomos, en las subcuencas de Arroyo Agua Fría y Mesa Colorada, la urbanización sólo representaba 5 por ciento de la superficie total. Las subcuencas con mayor superficie urbana correspon-

dían con la del Arenal-Chicalote, con un 18 por ciento, y la cuenca Garabatos, la superficie urbanizada no rebasaba 5 por ciento. Actualmente, la superficie urbanizada en estas microcuencas es de más de 80 por ciento, incluso algunas como El Arenal-Chicalote la urbanización alcanza 94 por ciento del total de la superficie.

#### *Recuento de la urbanización y modificaciones a zonas peligrosas en la zona de Zapopan*

La urbanización del entorno metropolitano ha impactado diversos componentes del medio natural como suelo, vegetación, cauces y barrancas. Uno de los primeros rasgos topográficos alterados fue la Barranca Ancha (zona de Colomos). El proceso urbano en esta zona inicia en la década de los cincuenta mediante un fraccionamiento tipo campestre; sin embargo, el detonante que acelera el proceso de incorporación de este territorio como reserva urbana fue la instalación del *campus* de la Universidad Autónoma de Guadalajara.

En los años setenta, con la creación del centro comercial Plaza Patria en la parte baja de la subcuenca, se generó un impacto severo a nivel del cauce del río. Esta construcción lo segmentó y fue necesario hacer un colector que conectara la cuenca superior (Colomos) con el parque Ávila Camacho. Actualmente, constituye un punto sensible a las inundaciones debido a su ubicación y condición topográfica baja.

Finalmente, durante los años noventa, formalmente se inicia el proceso de incorporación del suelo en Colomos al crecimiento urbano, con el trazo de las avenidas Acueducto y Patria.

Actualmente los únicos espacios verdes o sin urbanizar se localizan en las partes altas de las microcuencas, pero el crecimiento urbano paulatinamente está incorporando dichas superficies —que, por otro lado, son las más desfavorables al crecimiento—, las cuales pueden ser generadoras de fuertes volúmenes de agua debido a sus altos valores de pendiente; como ejemplo de la urbanización de este tipo de espacios se tiene la de la parte alta del Río Arenal-Chicalote. En dicho proceso no se tuvo una visión de manejo de cuencas, lo que ha ocasionado que en las zonas bajas como Plaza del Sol sólo se necesiten lluvias de 10 mm/10 minutos para que se presenten severas inundaciones; tal como ocurrió durante el temporal de lluvias pasado, donde Plaza del Sol se vio afectada por lo menos en cinco ocasiones.

En la microcuenca Tecolote-El Palomar el crecimiento urbano está impactando laderas con pendientes superiores a los 7 grados, lo que puede disparar un aumento considerable en los volúmenes escurridos; aunque es una cuenca relativamente pequeña, en los años más recientes se ha notado un aumento en las inundaciones en colonias como Agua Blanca.

Las microcuencas de los arroyos Arenal-El Chicalote fueron las primeras en registrar modificaciones importantes a sus condiciones naturales, derivado de una serie de obras entre las que tenemos: el trazo de la carretera que conducía de Guadalajara a Morelia (actualmente la Avenida López Mateos) ocasionó cortes a los cauces principales sin realizar obras hidráulicas; la construcción del centro comercial de Plaza del Sol, a finales de los años sesenta; la creación de fraccionamientos como Las Águilas, La Calma, así como naves industriales como la Kodak, indujeron el desarrollo urbano hacia el surponiente de la ciudad, incorporando la superficie de estas microcuencas a la urbanización. Por otro lado, las condiciones topográficas de los escurrimientos (poco profundos) facilitaron la alteración de los cauces.

#### *Caracterización morfológica de las inundaciones.*

Se ha identificado que existen ciertos patrones que se repiten en la mayoría de las zonas donde se presenta la inundación, a continuación se describen.

##### *a) Por invasión a cauces y zonas federales*

Las zonas de mayor peligro por este fenómeno se corresponden con cauces de mayor jerarquía, actualmente convertidos en canales. En estos puntos la velocidad del agua aumenta considerablemente, los cauces que tienen esta problemática se localizan en la microcuenca Mesa Colorada y la parte media y final de Arroyo Hondo, así como en el Arroyo Grande-Garabatos, a la altura de la Colonia El Mante, en los límites con Tlaquepaque. Aunque el problema de la invasión a la zona federal y a los cauces es casi generalizada en todos los escurrimientos de la zona metropolitana de Guadalajara.

##### *b) Por obturación y secciones hidráulicas insuficientes*

Este problema es común, algunas avenidas se trazaron con el objeto de comunicar colonias que se asentaban en ambos lados de los cauces, por lo que fue necesario realizar obras a nivel del cauce. En muchas ocasiones las secciones hidráulicas son insuficientes por lo menos en un 100 por ciento, lo que genera fenómenos de represamiento artificial de agua y, como consecuencia, inundaciones muy severas. Por ejemplo, en varias secciones de El arroyo Agua Fría (colonias Tabachines y La Indígena), algunas partes del cauce del Atemajac, y en el Arroyo El Tecolote (Agua Blanca) donde incluso el cauce desaparece completamente al cruzar la Avenida López Mateos.

##### *c) Por trazo de avenidas metropolitanas, carreteras y cauces que se convierten en vialidades*

Este tipo de situación es muy común en la zona metropolitana de Guadalajara. Algunos ejemplos son calles como Acueducto, Circuito Madrigal, Naciones Unidas, Montevideo, entre muchos otros.

##### *d) Urbanización incipiente de las márgenes de los arroyos*

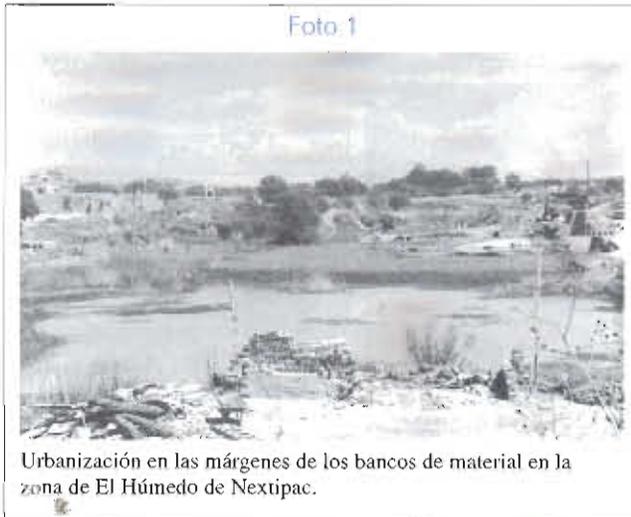
Este tipo de problemas corresponde con las siguientes zonas: el proceso de invasión de los cauces provenientes de La Primavera, en la zona de La Venta del Astillero, está creando zonas altamente peligrosas, ya que los escurrimientos son susceptibles de producir grandes avenidas, debido a que los cauces tienen una amplia cuenca imbrífera.<sup>3</sup> A la par de estas condiciones naturales, se ha encontrado que varias viviendas se han construido teniendo como entrada calles que se trazaron sobre los cauces, por lo que se da el tránsito de familias a pie o en vehículos para acceder a sus viviendas, lo que ocasiona una mayor exposición a la amenaza.

Actualmente existen dos áreas que requieren una especial atención para evitar que en corto plazo se conviertan en áreas peligrosas para los asentamientos humanos: *La Depresión del Bajío a la altura de La Venta del Astillero* y el cauce del *Río Blanco*. En este último existen algunos puntos en donde el problema ya está presente. Son las zonas conocidas como El Húmedo de Nextipac, Santa Lucía y El Alacrán, aquí se conjugan la poca pendiente (zonas con problema naturales de desagüe) con la alteración topográfica debido a actividades extractivas.

1. *Márgenes del Río Blanco*. El problema de las inundaciones en esta zona se localiza en dos puntos en El Húmedo de Nextipac y en El Alacrán.

*El Húmedo de Nextipac*. En este espacio se conjugan las siguientes variables, las cuales la hacen que sea una zona altamente susceptible a generar problemas de inundación e hundimiento:

- Es una zona topográficamente baja, con problemas naturales de desagüe.
- Zona con importantes actividades extractivas, donde históricamente se ha utilizado el suelo (arcillosos-limoso) para elaborar teja y ladrillo, lo que ha impactado las condiciones topográficas originales generando depresiones en donde se estanca el agua.
- Zona de crecimiento anárquico, de población de muy bajos recursos.



Urbanización en las márgenes de los bancos de material en la zona de El Húmedo de Nextipac.

## 2. Problemática en la zona de La Venta del Astillero.

Por ser una zona topográficamente baja, rodeada por elevaciones que conforman la periferia de La Primavera, en donde se forman algunos escurrimientos, se convierte en una zona altamente susceptible a acumular agua. Esta característica natural se acentúa debido a que con la construcción del terraplén de la carretera La Venta del Astillero-Nextipac se ha levantado una especie de dique, lo que ha elevado la capacidad de un embalse artificial-natural ubicado en las inmediaciones del poblado de La Venta del Astillero, esto también se ha visto acentuado por la construcción de viviendas sobre las márgenes de la carretera. En esta unidad se tiene que controlar el siguiente aspecto:

- *Cambio en el uso del suelo*, ya que modifica drásticamente los coeficientes de escurrimiento de valores 1.8 a 2.7 m<sup>3</sup>/seg. El modelo lluvia-escurrimiento permite prever importantes cambios en los volúmenes de agua que escurrirán en los próximos años cuando se den cambios en el uso del suelo en zonas con pendientes pronunciadas (los cerros de Pinar de la Venta, tienen una pendiente superior a los 7°, lo que hace que, al modificarse la cubierta, se incremente en más de 100 por ciento el agua que escurrirá).

Si no hay un control el uso del suelo en esta zona, se podrán tener los siguientes escenarios:

- Aumento de la probabilidad de inundaciones.
- Incremento de viviendas y población expuesta. Actualmente existe un conjunto de ocho viviendas.
- El terraplén de la carretera tuvo que levantarse un metro por encima de su nivel original, con el objeto de que el agua no invada la carretera; con lo que probablemente se vaya a confinar más el cuerpo de agua y aumente su profundidad.
- Las urbanizaciones recientes incrementarán el problema de riesgo, ya que un escurrimiento importante que se forma

en la zona de Pinar no se conecta con el canal artificial, que corre al centro de la depresión, por lo que el agua es dirigida directamente a la carretera.

## Las inundaciones en la Cuenca El Ahogado

En los municipios de Tlajomulco, Tlaquepaque y El Salto se han presentado severas inundaciones, especialmente durante el temporal de lluvias de 2004. La pregunta que surge es: ¿qué acciones urbanísticas se han presentado para que en estos nuevos espacios se esté repitiendo los mismos errores que en Guadalajara y Zapopan? En algunos casos los riesgos incluso se están acentuando más. Para responder a esta pregunta se tiene que entender el proceso natural de las cuencas hidrológicas, las modificaciones asociadas con la urbanización y las condiciones de infraestructura hidráulica previas al proceso urbano.

El crecimiento urbano en la Cuenca El Ahogado se ha dado a partir de varios ejes de comunicación:

1. La avenida López Mateos facilitó la urbanización del perímetro del bosque de La Primavera; corresponde con los cerros del Tajo y La Cuchilla, así como de los poblados de Santa Anita-San Agustín-Santa Cruz de Las Flores.

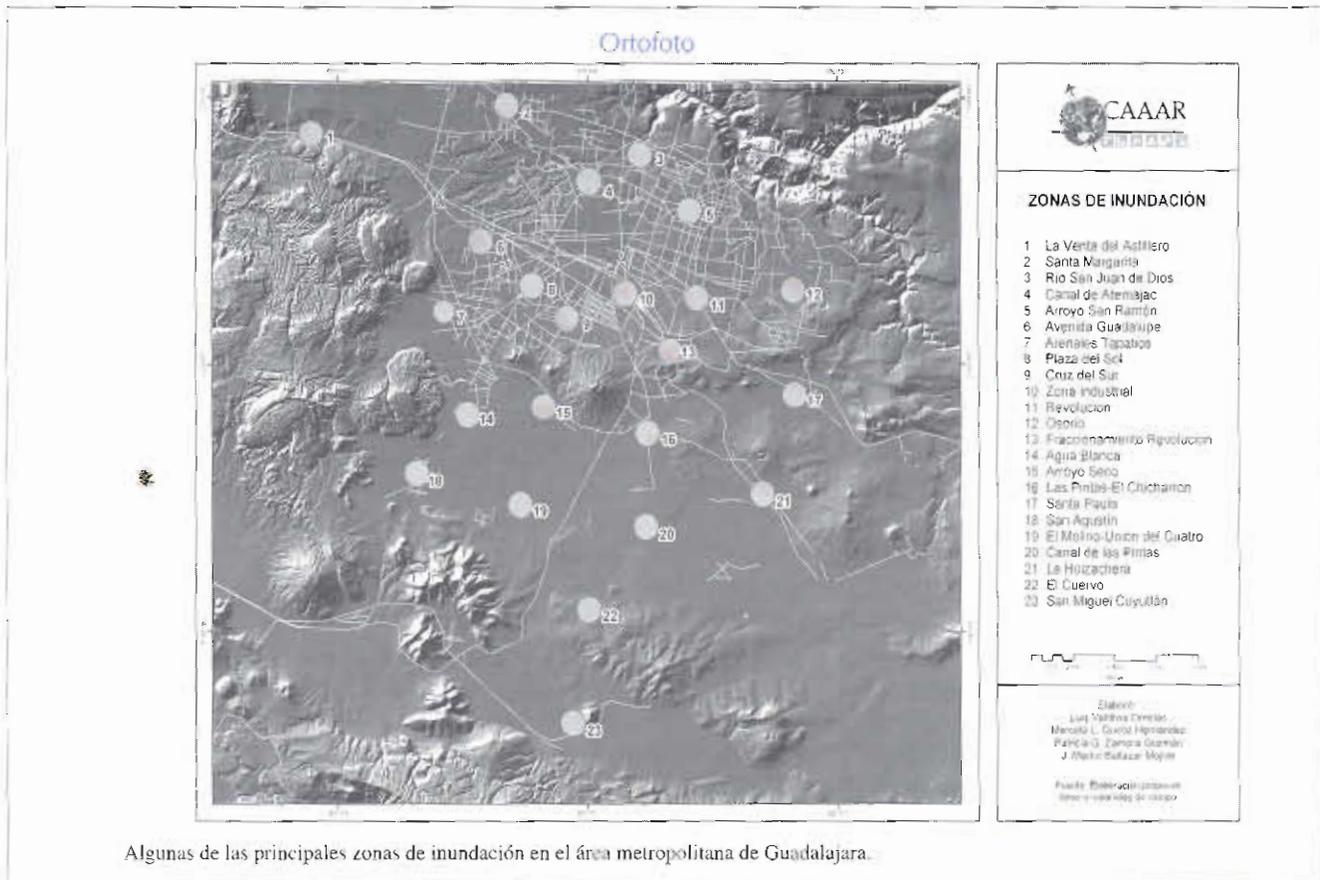
2. El sistema de poblados en el centro de la cuenca, como Santa Cruz del Valle-Unión del Cuatro-San Sebastián el Grande.

Los nuevos desarrollos se implantaron tanto en la parte alta de las subcuencas (La Primavera), como en las partes bajas (Las Pintas, Huizachera), así como sobre canales (Las Pintas), presas y bordos (El Molino). La urbanización trajo consigo que en las partes altas se alteraran las condiciones de la cobertura vegetal, y la modificación de algunos escurrimientos; a la par, no se creó nueva infraestructura hidráulica para conducir los cauces a las partes más bajas y ampliar su capacidad de conducción.

Casos como las urbanizaciones de las márgenes del canal de Las Pintas, la presa El Ahogado y los márgenes del cauce del Ahogado en la zona de La Huizachera son altamente peligrosos debido a que son áreas de una muy alta concentración de agua.

## Clasificación de las inundaciones

Las inundaciones en esta zona se asocian con dos variables fundamentales: el tipo de infraestructura hidráulica preexistente al proceso urbano y las condiciones naturales propias del valle. En los aspectos naturales, tenemos que predominan en 80 por ciento de la superficie con baja pendiente, este valor bajo de pendiente no permite un rápido desalojo de las aguas superficiales.



En el segundo aspecto, relacionado con infraestructura hidráulica preexistente, podemos ver que la urbanización modificó el sistema de canales existentes, los cuales se utilizaban para las actividades agrícolas. Cada desarrollo, en el mejor de los casos, creó sus propias políticas hidráulicas, lo que ha generado anarquía en el valle. Las zonas de mayor riesgo coinciden con los siguientes patrones:

*a) Calles que se habilitaron a partir de canales o cauces*

Son ejemplo de este tipo de problemas los poblados de Toluquilla, y San Agustín, y varios desarrollo nuevos como Santa Fe, entre otros. Aquí se han construido viviendas en sus márgenes, por lo que son zonas con alta peligrosidad.

*b) Desborde de canales*

Este fenómeno se ha convertido en un problema serio debido a que para estabilizar lateralmente los cauces se levantaron bordos de tierra y, en el mejor de los casos, se hicieron diques marginales; esto aumentó la capacidad de conducción pero ocasionó la confinación del agua y, como consecuen-



cia, un aumento en su velocidad. Además el riesgo anmenta debido a que existe la probabilidad de que fallen y generen mayores inundaciones.

### c) Desborde de canales debido al cambio en el régimen del cauce

El cauce denominado Santa María ha cambiado su régimen ya que se le conectó artificialmente una microcuenca, lo que ha ocasionado una modificación en su hidrograma, es decir, aumentó el volumen de agua en una sección y con ello se ha incrementado su poder erosivo, por lo que presenta una mayor tendencia al desbordamiento.

A partir de los cambios que se pueden presentar en las cuencas como producto de la urbanización, se han estimado escenarios de comportamiento. Esto ha dado como resultado lo siguiente: el Arroyo Seco, El Sanjuanate, El Colorado, El Zarco, Cuatro 1, Las Rucias, Los Gavilanes y San Sebastián podrían duplicar (o más) el volumen de agua, a partir de los cambios que pueden presentarse en el uso del suelo, por lo que deben considerarse como subcuencas que requieren una evaluación adecuada del impacto producido por los cambios que se pudieran presentar en el uso del suelo.

## Conclusiones

El crecimiento urbano anárquico modificó el comportamiento hidrográfico e hidrológico de las microcuencas en el Valle de Atemajac y la Cuenca El Ahogado.

- Muchas de las nuevas urbanizaciones se están desarrollando en lugares de alto riesgo, ya que se encuentran asentadas en zonas topográficamente bajas, cauces, márgenes de canales y bordos, por lo que está aumentando el riesgo en el Valle de Atemajac y la Cuenca El Ahogado.
- Se podría hablar de escenarios en donde el incremento de la amenaza se acumula conforme se dan las transformaciones aguas arriba en las cuencas, por lo que el impacto de las urbanizaciones no debe evaluarse de manera aislada (para cada desarrollo) sino de manera acumulativa.
- Esto ha ocasionado el incremento de los escenarios de eventos catastróficos, en donde está envuelta una mayor cantidad de población.
- Se considera que es importante establecer un ordenamiento por cuenca hidrográfica.

## Glosario

*Coefficiente de escurrimiento*: proporción de agua que no es absorbida por el suelo y que fluye por la superficie topográfica.

*Cuenca hidrológica*: superficie topográfica en donde el agua que se precipita y escurre reconoce una única salida.

*Cuenca imbrifera*: véase cuenca hidrológica.

*Hidro-geomorfológicos*: rasgos vinculados con aspectos de forma de las cuencas.

*Lecho de estiaje*: zona por donde pasa el agua en periodos secos.

*Lecho mayor*: superficie que es cubierta por el agua durante eventos de lluvias.

*Rugosidad*: rasgo geométrico que ocasiona que las cosas no fluyan por una superficie.

*Susceptibilidad*: zonas más propensas a presentar determinado comportamiento.

*Tiempo de concentración*: tiempo que tarda en recorrer el agua de la parte más alta a la más baja dentro de la cuenca.

*Vulnerabilidad*: nivel de exposición y predisposición a daños y pérdidas ante una amenaza específica.

## Notas:

- 1 En sentido estricto no hay desastres naturales, ya que su ocurrencia es producto de una dinámica social; se les denomina así para especificar que se desencadenan por la ocurrencia de algún fenómeno natural (lluvias, temblores, etcétera).
- 2 Proyecto financiado por el Departamento de Geografía y Ordenamiento Territorial de la Universidad de Guadalajara, y coordinado por Luis Valdivia Ornelas y Rocío Castillo Aja. Comprende tres etapas: la primera, referida a Zapopan, Tlaquepaque y la Cuenca El Ahogado; la segunda, comprende a Guadalajara; la tercera, está referida a Tonalá. El proyecto inició en 2003 y se espera concluirlo en dos años más.
- 3 Por sector hidrográfico se entiende un conjunto de microcuencas localizadas en cierta zona geográfica de los valles.
- 4 Véase el glosario.

## Bibliografía

- IMTA (2000) CD-ROM, *ERIC*, ver. 2, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- González de Vallejo, Mercedes, Luis Ortuño y Carlos Oteo, *Ingeniería geológica*, Prentice Hall, 2000.

## Cartografía

- INEGI (1993) Carta Topográfica F13D65 *Guadalajara Oeste*. Escala 1:50,000.
- INEGI (1993) Carta Topográfica F13D66 *Guadalajara Este*. Escala 1:50,000.