

Soluciones y alternativas a las inundaciones periódicas anuales en zonas de alto riesgo en el área metropolitana de Guadalajara, un desafío a los planes de ordenamiento urbano y territorial

Juan Luis Caro Becerra

juan.caro@upzmg.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3884-2188>

Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.
México

Ramiro Luján Godínez

ramen5302@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4138-7590>

Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.
México

Pedro Alonso Mayoral Ruiz

pedro.alonso@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5513-8678>

Centro Universitario de Tlajomulco de Zúñiga de la Universidad de Guadalajara.

J. Guadalupe Michel Parra

michelp@cusur.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7017-8360>

Centro Universitario Sur de la Universidad de Guadalajara.
México

Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez

advizcaino7@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8301-6160>

Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.
México

RESUMEN

El Área Metropolitana de Guadalajara ha experimentado un acelerado crecimiento urbano a partir del año 2000, esto ha propiciado un cambio de uso de suelo que ha originado importantes alteraciones en los escurrimientos naturales, además de una disminución de infiltraciones al subsuelo y como consecuencia un aumento considerable de puntos vulnerables a las inundaciones. Los efectos positivos y negativos son cara de la misma moneda, por un lado, pregonan políticas desmedidas de pretender privatizar el recurso hídrico y por otro de dotar de agua desmedidamente por medio de concesiones. El cambio de paradigma visto desde el manejo de cuencas es precisamente resolver problemas asociados a la explotación de los recursos naturales del planeta, además de asociarlos con proyectos de índole urbano, de infraestructura hidráulica, de transporte o una combinación de estas y que no presenten modificación alguna en los cauces y arroyos. El objetivo de este trabajo se centra en controlar las inundaciones periódicas anuales que se presentan en la parte baja de la cuenca, mediante modelos probabilísticos y estadísticos, como resultados presentar alternativas de solución, tales como: rectificación de cauces, obras de captación, así como obras desazolves en los canales de aguas pluviales.

Palabras clave: *Inundaciones; infiltraciones; cuencas.*

Correspondencia: juan.caro@upzmg.edu.mx.

Artículo recibido 10 octubre 2022 Aceptado para publicación: 10 noviembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#) 

Cómo citar: Caro Becerra, J. L., Luján Godínez, R., Mayoral Ruiz, P. A., Michel Parra, J. G., & Vizcaíno Rodríguez, L. A. (2022). Soluciones y alternativas a las inundaciones periódicas anuales en zonas de alto riesgo en el área metropolitana de Guadalajara, un desafío a los planes de ordenamiento urbano y territorial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 2089-2106. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3662

Solutions and alternatives to periodic annual flooding in high-risk areas in the metropolitan area of Guadalajara, a challenge to urban and territorial planning plans

ABSTRACT

The Guadalajara Metropolitan Area has experience accelerated urban growth since 2000, which has led to a change in land use that has caused significant alterations in natural runoff, as well as decrease in infiltration into the land and as a consequence, a considerable increase in points vulnerable to floods. The positive and negative effects are two sides of the same coin; on the one hand, they proclaim excessive policies that seek to privatize water resources and, on the other to provide water in an excessive amount through concessions. The paradigm shift seen from the perspective of watershed management is precisely to solve problems associated with the exploitation of the planet's natural resources, in addition to associating them with projects of an urban nature, hydraulic infrastructure, transportation or a combination of these and do not present any modification in the rivers and streams. The objective of this work is focused on controlling the annual periodic floods that occur in the lower part of the basin, by means of probabilistic and statistical models, as results present alternative solutions, such as: rectification of channels, catchment works, as well as works to remove dredging in the rainwater channels.

Keywords: *floods; infiltrations; basin*

INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) la conforma hasta hoy en día 10 municipios conurbados, los cuales son: Acatlán de Juárez, Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlan, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan y Zapotlanejo, sus coordenadas geográficas se encuentran entre 20° 13' 13" de latitud sur y 20° 45' 9" de latitud norte, 103° 15' 58" de longitud este y 103° 24' 25" de longitud oeste, a una altura media de 1700 msnm (IEEG, 2020).

En cuanto a la población de acuerdo con el último censo del INEGI (2020), el AMG concentra 5,268,642 habitantes, la cual está distribuida con un 28.2% en el municipio de Zapopan (registrando por primera vez una población mayor que la del municipio de Guadalajara), Guadalajara con una proporción de 26.3%, seguido de Tlajomulco de Zúñiga con un 13.8% y San Pedro Tlaquepaque con un 13% (*ibid*).

El crecimiento anárquico y desordenado ha traído como consecuencia una distribución atomizada de los asentamientos urbanos, por lo que ha ocasionado una conectividad limitada de espacios funcionales y escasa integración urbana de la ciudad, lo cual refuerza que existan espacios segregados que marcan la exclusión en los municipios conurbados, sobre todo en la porción sureste en los asentamientos suburbanos sobre la carretera Chapala y el aeropuerto Internacional Miguel Hidalgo. Tan solo en los últimos 15 años la ciudad se ha transformado y se ha extendido hacia al norte al valle de Tesistán, hacia el sur hasta la laguna de Cajitlán, hacia el oriente hasta la presa de Osorio y hacia el poniente hasta el bosque de la primavera.

Las inundaciones en el AMG se han acentuado en los últimos diez años, debido a un cambio irreversible de uso de suelo y mal manejo de cuencas hidrográficas, dicho fenómeno se ha agudizado a partir de los últimos 20 años, los factores son: el crecimiento anárquico de la ciudad, (como se señaló en el párrafo anterior) por consecuencia han crecido las superficies impermeables, modificando y alterando el ciclo hidrológico del agua.

Por otro lado, la ciudad y su sistema hidráulico ha ocasionado que muchos cauces naturales hayan desaparecido o fragmentados. Por citar un ejemplo los pasos a desnivel que son un verdadero peligro para la población, ya que tan solo una intensidad de tormenta en el AMG de 15 mm/h es suficiente para producir encharcamientos, lo que ocasiona que disminuya la infiltración en un 90% y por consecuencia un aumento

constante de la escorrentía de manera descontrolada, ocasionando mayor velocidad en los canales de aguas pluviales (Valdivia,2022).

Se tienen registros de tormentas como la del 17 de agosto de 2021, que presentó una precipitación de 45 mm y fue suficiente para generar 32 puntos vulnerables a las inundaciones, ocasionando un colapso en el Sistema de Transporte Eléctrico y Macrobus (*ibid*). Entonces el objetivo del presente trabajo son entender desde el punto de vista hidráulico e hidrológico el origen de las inundaciones, a través de un Atlas de Riesgos actualizado, esto con el propósito de establecer políticas de intervención o gestión y que sirvan ambas como marco de referencia, para una responsable toma de decisiones.

ANTECEDENTES

En los últimos años el AMG ha sobrepasado los puntos vulnerables a las inundaciones, de haber detectado el Instituto de Información Estadística y Geografía en su documento *Atlas de Riesgos* del año 2019 más de 350 zonas susceptibles a las inundaciones.

Figura 1. Imagen satelital del AMG y sus zonas susceptibles a las inundaciones



Fuente: www.google.earth

La urbanización acelerada en las inmediaciones del cerro del Cuatro

Los escurrimientos de agua en dicha zona van en aumento, asimismo sucede en el cerro El Colli y El Bosque de la Primavera en la avenida Mariano Otero, está creciendo la mancha urbana un ritmo desordenado por la falta de un Ordenamiento Territorial y Ecológico y un modelo de planeación de Gestión Integral de Cuencas.

En la capital de Jalisco una tormenta puede significar una serie de catástrofes debido a las inundaciones en periodos de retornos muy cortos, al menos se tienen identificados

500 puntos vulnerables a las inundaciones en las cuencas urbanas que integran los 12 municipios del AMG (Valdivia, 2022).

La ciudad de Guadalajara no necesita lluvias tan fuertes para que se genere una inundación, tan solo con una lluvia de 15 mm durante una hora es suficiente para que ocurran encharcamientos, las causas y consecuencias son un cambio y uso de suelo al contar con grandes extensiones de superficies impermeables, que disminuyen la infiltración y aumentan las escorrentías superficiales.

Otra variable por supuesto es el crecimiento urbano que transforma y desvía los cauces, pueden desaparecer, se ven fragmentados o pierden y restan su capacidad de conducción hidráulica debido a invasiones o por construir en llanuras de inundación, otro factor es que los drenajes de la ciudad estén rebasados u obsoletos, pues datan que desde hace 40 y 50 años no se haya hecho modificación alguna a las obras de alcantarillado.

Estado del Arte

En el AMG las alteraciones al ciclo hidrológico son muchas y llevan años afectándolas, el cambio de paradigma a seguir los principios del Impacto Hidrológico Cero (IHC) lo que se pretende es que la cantidad de agua que cae por una tormenta se escurra sobre la superficie terrestre en un 10% y se infiltra un 50%; mientras que cuando se urbaniza -el suelo se impermeabiliza- el escurrimiento es de 55% y apenas se infiltra un 15%, lo que provoca y aumenta año tras año mayores inundaciones catastróficas.

Cuando se comienzan a construir casas, edificios, estacionamientos, vialidades, centros comerciales o estadios sin tomar en cuenta el comportamiento del agua en la cuenca donde se desea construir, se provocarán alteraciones en el ciclo hidrológico natural (Ambriz y Mendoza, 2016).

Las zonas de mayor riesgo en la ciudad

Los puntos de mayor vulnerabilidad a las inundaciones son todos los pasos a desnivel, así como las avenidas López Mateos, México, Calzada Independencia, las zonas bajas como Expo Guadalajara, Plaza del Sol, la cuenca de Osorio (Parque de la Solidaridad). Plaza Patria que hidráulicamente es un como un tapón, ya que atraviesa el canal de aguas pluviales de la avenida que lleva el mismo nombre.

En Tlajomulco de Zúñiga, los canales que vienen de Santa Anita y de San José del Tajo, el canal Las Pintas, el arroyo La Colorada, Chulavista, Unión del Cuatro, avenida Adolf Horn,

por citar solo algunos, en síntesis, el municipio de Tlajomulco es una ciudad vulnerable porque el patrón del comportamiento urbano está vinculado a interés perversos de las inmobiliarias (Hernández García y Colmenares López, 2020).

El crecimiento anárquico y desordenado, ocasionando como consecuencia una distribución atomizada de los asentamientos urbanos, ha ocasionado una conectividad limitada de espacios funcionales y escasa integración urbana de la ciudad, lo cual refuerza que existan espacios segregados que marcan la exclusión en el municipio., sobre todo en la porción sureste en los asentamientos suburbanos sobre la carretera Chapala y el aeropuerto Internacional Miguel Hidalgo.

Figura 2. Puntos vulnerables a las inundaciones en la porción sureste del AMG



Fuente: Simulador de Flujos de Aguas de Cuencas Hidrográficas, 2022

METODOLOGÍA

Cálculo del Gasto Pico para periodos de retorno T_r de 2 a 50 años

La estimación de los escurrimientos naturales es demasiado compleja, debido a que intervienen diversos factores como los tipos de suelo y rocas, relieve, pendientes, vegetación, área de captación o cuenca, longitud del cauce principal, precipitación-tiempo, condiciones y dimensiones del cauce, que por tratarse de condiciones naturales estos factores presentan variaciones a lo largo de este.

Es por ello que para la determinación de los gastos picos, se deben de hacer una planeación de los escurrimientos superficiales, como subsuperficiales por analizar, agrupando secciones que reúnan un cierto comportamiento en común. Para determinar el gasto o caudal que llega a un punto a un punto de salida, se puede apreciar que, durante los primeros minutos de la lluvia, la intensidad es muy alta, pero como el tiempo de concentración es corto, no se ha alcanzado a drenar toda la cuenca, por lo que el gasto que pasa por el punto de salida no es muy grande.

A medida que transcurre el tiempo, la cuenca comienza a aportar más agua por efecto de que es mayor el área que se drena, pero por otro lado la intensidad de lluvia va disminuyendo poco a poco.

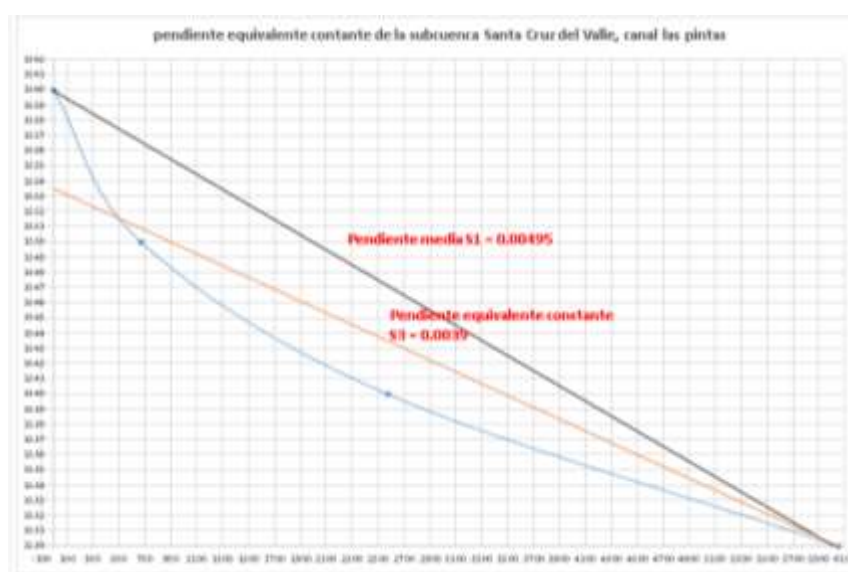
La pendiente equivalente constante (S) del canal arroyo Las Pintas, se obtuvo con la fórmula de Taylor-Schwarz, la cual es la siguiente:

$$S = \left(\frac{\sum_1^n li}{\sum_1^n \frac{li}{S_i^{0.5}}} \right)^2 = \left(\frac{6051}{96761.91} \right)^2 = 0.0039$$

Tabla 1. Datos la pendiente por segmento del canal Las Pintas, para obtener la pendiente equivalente constante por el método Taylor-Schwarz

Cotas intervalo de clase msnm	Diferencia de cotas (m)	Distancia horizontal entre curvas de nivel (m)	Pendiente por cada segmento Si	$S_i^{0.5}$	$\frac{li}{S_i^{0.5}}$
1560-1550	10	676	0.0147	0.1212	5577.55
1550-1540	10	1900	0.0052	0.0721	26352.28
1540-1530	10	3475	0.0028	0.0536	64832.08
		$\sum = 6051$			$\sum = 96761.91$

Gráfico 1. Gráfico de la Pendiente equivalente constante del canal Las Pintas, subcuenca



Santa Cruz del Valle, Tlajomulco de Zúñiga

Fuente: Caro, 2022

Desarrollo del estudio hidrológico

Esta parte del estudio en su conjunto constituye una de las actividades medulares para concluir este estudio, ya que es aquí donde se determina la cantidad de agua pluvial que se produce en la cuenca y en las distintas subcuencas que aquella se puede dividir, así como la magnitud de los volúmenes que fluyen por los cauces de las corrientes principales, para tal efecto se divide en tres apartados básicos; el primero se denomina características fisiográficas de la cuenca, en donde se hizo una descripción amplia de la morfología de la zona de estudio, el segundo tiene que ver con el origen del agua pluvial, por lo que se le ha llamado análisis de precipitación; y el tercero se refiere a la distribución temporal del agua pluvial en la zona de estudio, es decir, al análisis hidrológico para 2, 5, 10, 25 y 50 años de periodo de retorno T_r .

En virtud de que prácticamente el AMG no dispone de información hidrométrica, procederemos a estimar los gastos picos a partir de modelo *lluvia-escurrimiento*, tomando en cuenta la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones climatológicas: Zapopan y Tlaquepaque.

Modelo lluvia-escurrimiento (Hidrograma Unitario Triangular)

Análisis hidrológico para 2, 5, 10, 25 y 50 años de periodo de retorno (T_r)

El conocimiento de los efectos de una avenida a lo largo de un cauce nos permite tener una base para tomar las medidas preventivas más convenientes, en caso de que se tenga la ocurrencia de algún evento hidrológico extraordinario que pueda ocasionar problemas por inundación debido al desbordamiento de los arroyos y canales ubicados en la parte baja de la cuenca, de esta manera se tendrán los elementos necesarios para determinar las soluciones más adecuadas que mejoren el comportamiento hidráulico del arroyo El Garabato y Arroyo Seco.

Los resultados son el cálculo y diseño del hidrograma que se presenta en el colector de aguas pluviales las Pintas ubicado en su totalidad en el poblado Santa Cruz del Valle, Tlajomulco de Zúñiga, para periodos de retorno desde 2 hasta 50 años, así como para diferentes subcuencas en que se divide, en virtud de la ubicación de las zonas con mayor evidencia de inundación. Cuando no se tiene instrumentación hidrométrica dentro o muy cerca de la cuenca en estudio, el gasto pico se puede determinar aplicando métodos indirectos, basados en modelos matemáticos y teorías de probabilidad y estadística.

Existen una diversidad de métodos para este fin, dentro de ellos hay algunos que sugieren la aplicación del modelo lluvia-escurrimiento (Lafragua Contreras, 2003), debido a que tiene origen en numerosos análisis en los que se buscó encontrar la relación que existe entre la cantidad de agua que se precipita en una determinada subcuenca y los volúmenes de agua que realmente escurren por la estación climatológicas que mide sus precipitaciones.

El método consiste en determinar una altura de precipitación base, la cual está asociada a una duración de 1 hora y periodo de retorno de 10 años. A partir de ésta se determina la altura de precipitación específica de la cuenca de estudio, para lo cual la precipitación base es afectada por 3 factores que están relacionados con la duración de la tormenta, el área de la cuenca y el periodo de retorno que se haya elegido para extrapolar los datos. Tales factores se estimaron después de varios análisis, cuya finalidad es establecer una relación congruente entre la cantidad de agua precipitada y los volúmenes de agua escurridos, su aplicación es parte de la bondad del método por lo que sus valores se han ordenado en un rango práctico, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Factores de ajuste para determinar la precipitación específica de diseño

Para la duración de la tormenta		Para el área de la cuenca		Para el periodo de retorno	
Duración de la tormenta	Factor recomendado	Área (km ²)	Factor recomendado	Periodo de retorno (años)	Factor recomendado
0.50	0.79	1.00	1.00	2	0.67
1.00	1.00	10.00	0.98	5	0.88
2.00	1.20	20.00	0.96	10	1.00
8.00	1.48	50.00	0.92	25	1.15
24.00	1.50	100.00	0.88	50	1.25
		200.00	0.82	100	1.38
		500.00	0.70		1.64

Fuente: Gerencia Regional de aguas del valle de México (GRAVAMEX)

La aplicación del método es muy sencilla, pero se requiere calcular previamente algunos parámetros hidrológicos de la cuenca, básicamente el área de aportación, la longitud y la pendiente del cauce principal. Por otro lado, también es necesario calcular previamente algunos parámetros de la avenida, tales como el tiempo de concentración (tc), duración en exceso (de), el tiempo de retraso (tr), el tiempo pico (tp), el tiempo base (tb) y el gasto pico unitario (qp). Estos parámetros se calculan con las ecuaciones

que se indican a continuación:

Para determinar los gastos picos de avenidas máximas, como primer paso se calcula el tiempo de concentración que es el tiempo de recorrido del agua desde el inicio de la cuenca (aguas arriba) hasta su propia salida (aguas abajo). El tiempo de concentración t_c se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: el extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el gasto pluvial, el tiempo de concentración se refiere al lapso que transcurre para que el agua de lluvia transite desde el punto de entrada hasta el punto de salida, esto solo aplica para cuencas exorreicas. Para el caso de escurrimiento superficial, se obtiene mediante la fórmula de Kirpich.

$$t_c = 0.0003245 \left(\frac{L_c}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

t_c = tiempo de concentración (hr)

L_c = longitud del cauce principal, definido como el de mayor recorrido (m)

S = Pendiente de la cuenca adimensional e igual al cociente H/L

$$t_c = 0.0003245 \left(\frac{6051}{0.0039^{0.5}} \right)^{0.77} = 2.24 \text{ hr}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados a obtener son básicamente los gastos picos para periodos de retorno T_r desde 2 hasta 100 años, dichos resultados se obtuvieron con base en la información estadística y climatológica de la estación San Pedro Tlaquepaque, aplicando el modelo lluvia-escurrimiento para periodos de retorno T_r desde 2 hasta 100 años. Dichos resultados se obtuvieron interpolando factores de ajuste para la duración de la tormenta dt que para cuencas pequeñas se tomará igual al tiempo de concentración t_c (hr), el área de la cuenca A_c (km²) y el periodo de retorno T_r (años), los cuales se muestran a continuación:

Con los datos de precipitación obtenidos por el Servicio Meteorológico Nacional, "Precipitación Máxima en 24 horas en mm" para las estaciones climatológicas "Tlaquepaque y Tlajomulco de Zúñiga" estaciones climatológicas ubicada al suroriente y poniente de la cuenca, la estación *Tlaquepaque* se localiza en las coordenadas

geográficas 103°18'38'' de longitud y 20° 38'18'' de latitud y la estación *Tlajomulco de Zúñiga* sus coordenadas geográficas son: 103°26'48'' de longitud y 20°28'22'' de latitud, dichas estaciones tienen influencia sobre las zonas susceptibles a las inundaciones identificadas en la cartografía del INEGI, además que dispone con una mayor muestra de datos dentro del Área Metropolitana de Guadalajara, con una muestra de datos que tiene 61 años de registro, la que se inició operando desde año de 1943-2000.

Tabla 2. Información climatológica de la Estación San Pedro Tlaquepaque, del periodo comprendido entre los años (1951 – 2010)

Enero	17.8	Julio	255.5
Febrero	6.2	Agosto	207.6
Marzo	4.7	Septiembre	158.8
Abril	7.4	Octubre	59.9
Mayo	29.2	Noviembre	18.6
Junio	187.4	diciembre	16.9

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

La precipitación media en 24 hr, en la estación San Pedro Tlaquepaque es 81.70 mm.

Área de la cuenca

Se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas, la superficie es considerada el parámetro fisiográfico más importante. Se extrae por medio de planímetros, o a partir de la delimitación de mapas topográficos, y se calcula a través del uso de sistemas CAD (por sus siglas en ingles).

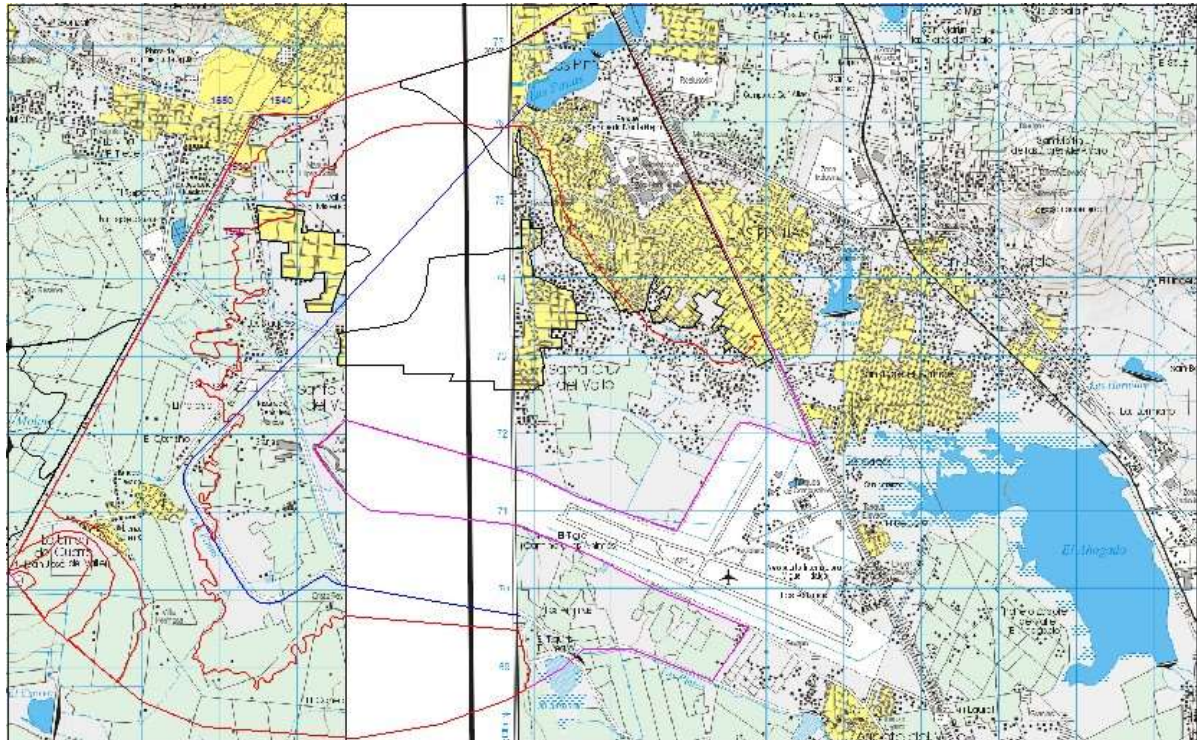
El límite de la cuenca de estudio fue extraído de la carta topográfica Guadalajara Oeste **F13D65** escala 1:50000 para contar con un mejor resultado, así como para contrarrestar los resultados conseguidos de la imagen Landsat. En la figura 2, se muestra el resultado con base en la superficie altitudinal, la línea color rojo indica el parteaguas trazado que tiene influencia sobre la localidad de La Concha-Canal Las Pintas.

La superficie es considerada el parámetro fisiográfico más importante. Se extrae por medio de planímetros, o a partir de la delimitación de mapas topográficos, y se calcula

a través del uso de sistemas CAD (por sus siglas en inglés), el valor resultante fue de **5.19 km²**.

Figura 2.

Carta Topográfica F13D65, Guadalajara Oeste, Escala 1: 50,000



Fuente: Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 2000

Los gastos picos, así como los hidrogramas unitarios sintético antes y después de la urbanización para efectos de diseño, se obtuvieron con base en el modelo *lluvia-escurrimiento*, dicho metodología consistió en determinar una altura de precipitación base, la cual está asociada a una duración de tormenta $dt = 1$ hora y un periodo de retorno $Tr = 10$ años, a partir de esta base se determinó la precipitación específica de diseño, la precipitación en exceso y los gastos picos, asociados a los periodos de retorno, los cuales están afectados por tres factores de ajuste: duración de la tormenta, área de la cuenca y periodo de retorno que se eligieron para extrapolar los datos, los cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Determinación de Tormentas y Avenidas de Diseño, con base a la metodología lluvia-escurrimiento

Subcuenca Santa Cruz del Valle					
Precipitación máxima en 24 hrs para un periodo de retorno de 10 años , Estación Climatológica Tlaquepaque					
$P_{max}(dt, Tr) = P_{max}(1 \text{ hr}, 2 \text{ años}) = 81.70 \text{ mm}$					
Factor de ajuste para una duración de 1 hr = 1.00 Factor de ajuste para una duración de 24 hrs = 1.50 $P_{max}(dt, Tr) = P_{max}(1 \text{ hr}, 10 \text{ años}) = (1.00/1.50) * 81.70 = \mathbf{47.5 \text{ mm}}$					
Precipitación máxima para la duración de la tormenta y periodo de retorno de 10 años					
Se considera que la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración (t_c)					
Duración de la tormenta = 1.00 hr Factor de ajuste por duración = 1.00 $P_{max}(dt, Tr) = P_{max}(4 \text{ hr}, 10 \text{ años}) = 1.00 * 47.5 = \mathbf{47.5 \text{ mm}}$					
Precipitación máxima para la duración de la tormenta y periodo de retorno de 10 años, asociado al Área de la Cuenca					
Área total de la cuenca de aportación (A_c) = 5.20 km² Factor de ajuste por área = 0.99 $P_{max}(dt, Tr, A_c) = P_{max}(1 \text{ hrs}, 2 \text{ años}) = 0.99 * 47.5 = \mathbf{47.025 \text{ mm}}$					
Periodo de retorno (años)	Factor de ajuste por Tr	Precipitación específica de diseño (mm)	Precipitación en exceso (Pe) (mm)	Gasto pico de la avenida de diseño	
				Calculado (m ³ /seg)	Redondeado (m ³ /seg)
2	0.67	31.50	6.23	4.07	2.78
5	0.88	41.382	8.19	5.35	3.65
10	1	47.025	9.31	6.08	4.15
25	1.1	51.727	10.24	6.68	4.56
50	1.25	58.78	11.63	7.60	5.18
100	1.38	64.89	12.84	8.39	5.72

Fuente: Caro Becerra, 2022

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La necesidad de contar con un inventario de los recursos naturales en la cuenca, además de elaborar mapas territoriales correspondientes a uso de suelo, cobertura vegetal, hidrografía, densidad de población, etc. Se integrarán por tres subsistemas: condiciones físicas, recursos naturales y asentamiento urbanos.

Las condiciones físicas ofrecen información climatología de la región, localización y magnitud de los recursos geológicos, cambio de uso de suelo, vegetación, características fisiográficas de la cuenca (morfología), en cuanto a los recursos naturales nos ofrece

información tanto en calidad como en cantidad de los aprovechamientos hidrológicos. La información hidrológica aborda información de aguas subterráneas y superficiales esto con el objeto de contar con un balance hídrico en la microcuenca Santa Cruz del Valle.

El ~~control~~ control del balance de humedad en el suelo es importante en actividades como la agricultura, estudios hidrológicos, conservación de los suelos, drenaje, riesgos, repoblación y actividades en parques y jardines; mientras que la cartografía de los paisajes hidrológicos permite conseguir una caracterización detallada de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas. En la microcuenca Santa Cruz del Valle el área de captación-transporte abarca un 50% de su área total, que es donde se encuentran los cursos de agua, sus materiales sedimentos y nutrientes.

Entre los aspectos naturales predomina prácticamente pendiente favorable para que las velocidades de respuestas sean cortas y no produzcan encharcamientos en la zona de estudio. Entre las probables fuentes de contaminación, las principales son: descargas de aguas residuales no tratadas, captación de retornos agrícolas, carencias de programas de limpieza y como consecuencia fallas en la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

RECOMENDACIONES

Para resolver la problemática de la determinación del gasto máximo ordinario en una corriente, es necesario hacer un análisis cuidadoso de la información climatológica y fisiográfica de la cuenca. La información climatológica debe de ser consistente, es decir tener en cuenta la existencia o no de obras hidráulicas que modifiquen el régimen de la corriente a la fecha que se elabore dicho estudio y en su caso ajustar debidamente los datos mediante un análisis de frecuencias.

La base para la determinación de gastos picos es el modelo lluvia-escorrentía, método estadístico más apropiado para el territorio del país y complementado con el de la curva duración de la tormenta – periodos de retorno, con el objeto de estimar un gasto o caudal correspondiente, la práctica ha recomendado un periodo de retorno 50 años, siempre y cuando la corriente sea perenne.

En las zonas con régimen natural de escorrentías intermitentes es conveniente que la muestra de datos sea amplia para el mejor conocimiento del comportamiento de la corriente, ya que puede haber gastos máximos registrados y gastos nulos. Si la muestra es

pequeña es conveniente hacer un estudio adicional usando modelos probabilísticos y estadísticos como el lluvia-escurrimiento. En estos casos la delimitación del cauce será hasta el margen del cauce marcado por las avenidas máximas ordinarias sin inundar y a partir de este se establecerá las zonas federales.

Se debe adquirir una conciencia clara de la importancia de estas acciones, ya que por un lado reducen la escasez del agua que sufre la mayor parte de la población del municipio de Tlajomulco, ya que en época de lluvias se desperdician grandes volúmenes de agua que podrían ser aprovechadas.

Para detener el agua existen diversos tipos de obras y prácticas como: zanjas de trincheras de nivel, represas escalonadas, pozos de absorción y otras más que permiten almacenar una buena parte del agua de lluvia, para usos domésticos, industriales y agricultura.

Es indispensable que estas acciones para el almacenamiento de agua, de forma superficial y subterránea se lleven a cabo con criterios racionales y sistemáticamente en todas las subcuencas en que se dividen el AMG.

Debe tenerse presente que, en zonas con alto grado de vulnerabilidad al efectuar el tránsito de avenidas por el tramo del cauce en estudio, puede ocasionar desbordamientos en importantes extensiones de llanuras de inundación.

Con todo lo anterior se puede observar que si queremos disponer de mayor agua es necesario detenerla y cosecharla con obras hidráulicas pertinentes, de tal manera que la mayor parte de la precipitación puede detenerse e incluso infiltrarse hacia las zonas de recarga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboites Aguilar, L. (2000). *Optimismo Nacional: Geografía, Ingeniería Hidráulica y Política en México (1926-1976)*. Identidades, Estado Nacional y Globalidad, México, siglos XIX y XX. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social CIESAS. Colección Historias, México, D. F.
- Ambriz, L. y Mendoza, E. (2016). *Inundaciones marca GDL*. Revista Cruce del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente ITESO. San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. Disponible en: <https://cruce.iteso.mx/inundaciones-marca-gdl/>
- Aparicio Mijares, F. J. (2012). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial LIMUSA. México, D. F.

- Bárcena, A. (2001). *Evolución de la Urbanización en América Latina y El Caribe en la década de los 90: desafíos y oportunidades*. Información Comercial Española (ICE). Madrid, España.
- Caro, J. L. (2014). *Ordenamiento Urbano y Territorial visto desde el manejo de cuencas a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Cuenca El Ahogado, Jalisco*. Revista Ciencia Ergo Sum, vol. 21, núm. 1. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Chávez Hernández, A. (2015). *Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial municipio Tlajomulco de Zúñiga POETT*. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. México. Disponible en: www.tlajomulco.gob.mx/programa-de-ordenamiento
- Gleason E. A. (2014). *Sistemas de Agua Sustentables en las Ciudades*. Editorial Trillas de C. V. México.
- Hernández, G. H., Colmenares López, M. G. (2020). *La expansión urbana dispersa y su relación con las dinámicas inmobiliarias en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco*. Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración. RICEA. Vol. 9, Núm. 18. Edición: Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A. C. (CENID). Zapopan, Jalisco, México. Disponible en: www.Downloads/DialnetLaExpansionUrbanaDispersaYSuRelacionConLasDinamic
[a-8121548.pdf](http://www.Downloads/DialnetLaExpansionUrbanaDispersaYSuRelacionConLasDinamic)
- Instituto de Información Estadística y Geográfica IIEG (2020). *En el año 2020 el Área Metropolitana de Guadalajara contaba con más de mil colônias*. STRATEGOS Revista Digital del Instituto de Información Estadística y Geográfica. Zapopan, Jalisco. Disponible en: <https://iieg.gob.mx/strategos/>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI (2000). Carta topográfica F13D65, *Guadalajara Oeste, Esc: 1:50000*. Disponible en : www.inegi.org.mx
- Legorreta J. (2006). *El agua de la ciudad de México, de Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México, D. F.
- Martínez Carrillo R. (2010). *La importancia en la educación ambiental ante la problemática actual*. Revista electrónica educare, Vol. XIV, Num. 1. Pp 97-111. Universidad Nacional Heredia, San José, Costa Rica.
- McCullig C. (2020). *Alcantarilla del Progreso. Corporaciones, corrupción institucionalizada y la lucha por el río Santiago*. 1ª ed. Ediciones CICCUS; Instituto Universitario de

- Investigaciones en Estudios Latinoamericanos (IELAT), Universidad de Alcalá (UAH); Campina Grande: Editora de Universidade Estadual de Paraíba (EDUEPB); Newcastle upon Tyne: Red WATERLT-GOBACIT. Buenos Aires, Argentina.
- Ponce V. (2008). *Sobre el periodo de retorno a ser usado en el diseño*. Artículo en línea. Disponible en: https://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html
- Ramírez A. (2012). *Problemática actual global*. Universidad Virtual del estado de Guanajuato (UVEG). Guanajuato, Gto. México. Disponible: <http://roa.uveg.edu.mx/repositorio/licenciatura/75/Problematicaambiental-global.pdf>
- Suárez, P. C. (2012). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Guadalajara 2011*. Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.
- Torres Rodríguez A. (2013). *Abastecimiento de agua potable en la ciudades de México: el caso de la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Revista: Agua y Territorio. Universidad de Jaén, Jaén, España. Disponible en : <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atms>
- Valdivia, O. L. (2021). *En riesgo de inundación 350 puntos del AMG*. Gaceta Universitaria de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. Disponible en: <https://www.udg.mx/es/noticia/en-riesgo-de-inundacion-350-puntos-del-amg>
- Valdivia, O. L. (2022). *Actualización del Atlas de riesgo por inundaciones en la ZMG propuestas y mitigación*. Prensa Universidad de Guadalajara. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Z43UH0BbGGA&t=1525s>
- Wanbeke J., Vieria M. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y El Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura FIDA. Cooperación Suiza, Santiago de Chile.