

Paola Guadalupe  
Villanueva Molina

Estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar  
inundaciones en la microcuenca San José el Alto, Querétaro.

2021



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Ciencias Naturales**

Estrategia de adaptación de áreas verdes  
para mitigar inundaciones en la  
microcuenca San José el Alto, Querétaro.

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para  
obtener el Grado de Maestría en Gestión  
Integrada de Cuencas

**Presenta**

Paola Guadalupe Villanueva Molina

**Dirigido por**

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero

Querétaro, Qro. a noviembre 2021



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**Estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones en la  
microcuenca San José el Alto, Querétaro.**

T E S I S

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
**Maestría en Gestión Integrada de Cuencas**

Presenta

**Paola Guadalupe Villanueva Molina**

Dirigido por

**Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero**

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero  
Presidente

Mtro. José Carlos Dorantes Castro  
Secretario

Dra. Diana Patricia García Tello  
Vocal

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez  
Suplente

Mtro. Anthony Philippe André Michel  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
**Noviembre 2021**  
México

## **DEDICATORIAS**

A Dios por bendecir mis pasos en este camino llamado vida.

A mi madre por ser mi ejemplo, mi guía, mi heroína y amarme incondicionalmente.

## AGRADECIMIENTOS

“La escuela es nuestro segundo hogar”, es por ello que estoy inmensamente agradecida con mi alma máter, la Universidad Autónoma de Querétaro, pues me ayudó a crecer desde la licenciatura, de igual forma, agradezco a la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas por abrirme sus puertas, por el crecimiento personal y profesional que tuve gracias a las vivencias a lo largo de estos dos años.

Agradecemos el apoyo económico y/o académico de los siguientes proyectos: 1) Nuevas geografías de la urbanización en México: Transformaciones territoriales y medios de vida de sectores sociales y vulnerables en las periferias de ciudades medias (PAPIIT-UNAM, clave: AG300319); 2) Estrategias de respuesta y adaptación a riesgos socio-naturales en la periferia urbana de la ciudad de Querétaro, México (FNB202009); y 3) Cambio de uso de suelo y riesgo por inundaciones en el periurbano de la ciudad de Querétaro (FNB202108).

A mis profesores y sínodos pues por ellos es que logré ampliar mi visión y comprender que, aunque la ingeniería es mi pasión siempre habrá otro enfoque desde el cual abordar los retos. Gracias por sus consejos. Especialmente, gracias a usted Dr. Juan Alfredo Hernández por guiarme, por siempre comprender las dificultades de mi horario, sin usted esta investigación no habría sido posible ni habría podido verlo desde el enfoque de cuenca, gracias por sus consejos y sabiduría.

A mis compañeros de generación, porque sin ustedes esta travesía no habría sido la misma, de cada uno de ustedes me llevo conocimientos muy preciados, espero haya sido recíproco. Gracias Mariana, Megan, Edgar, Josué y Hugo.

Agradezco a la vida por poner en mi camino, ya fuera desde lo académico o lo profesional, a aquellos amigos que me motivaron y apoyaron a seguir a cada paso, que me ayudaron a poner en orden mis ideas cuando me sentía pérdida, especialmente gracias a ti Gelo.

A aquellas personas que me impulsaron a iniciar la maestría, especialmente al Ing. José Maldonado, gracias por ser mi mentor y un ejemplo a seguir, gracias por transmitirme tantos conocimientos y por su paciencia para hacerlo.

A mi hermano Juan, por siempre estar a mi lado y por mantenerme pensando en cuál será el siguiente reto.

Esta investigación no se habría concluido sin tu apoyo Julio, gracias por acompañarme en la aventura, por aguantarme esos fines de semana en los que escribía, por tolerar mis quejas e impulsarme a seguir, pero, sobre todo, gracias por amarme como lo haces. Te amo Arteaga.

A mi adorada madre: no me alcanzan las palabras para agradecerte por todo lo que me has dado ma', por ser mi guía, mi consejera, mi amiga, mi todo. ¡Te amo!

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## ÍNDICE

Introducción.....	2
Planteamiento del problema .....	3
Justificación .....	5
Preguntas de investigación .....	6
Objetivos .....	6
Objetivo general .....	6
Objetivos particulares .....	6
1. ÁREAS VERDES PARA MITIGAR INUNDACIONES. ....	6
1.1 Riesgo y desastre en periferias urbanas .....	7
1.2 Gestión de cuencas y gestión de riesgo ante inundaciones .....	10
1.3 Adaptación en torno a riesgos hidrometeorológicos .....	13
1.4 Áreas verdes para mitigar inundaciones .....	15
1.5 Reflexiones finales.....	17
2. ANTECEDENTES.....	18
3. ÁREA DE ESTUDIO .....	21
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1 Identificación de zonas susceptibles a inundación. ....	26
4.1.1 Polígonos de Thiessen.....	29
4.2 Determinación de escorrentía e identificación de áreas verdes prioritarias .....	30
4.2.1 Tiempo de concentración .....	30
4.2.2 Caudal de diseño.....	30
4.2.3 Caudal con coeficiente de uniformidad .....	30
4.2.4 Hidrograma Unitario Triangular.....	31
4.2.5 Balance hídrico.....	32
4.2.6 Determinación de sitios que han modificado la dinámica hídrica.....	35

4.3 Diseño de una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca San José el Alto.....	36
4.3.1 Identificación de planes parciales de desarrollo.....	36
4.3.2 Entrevistas para determinar zonas prioritarias para la adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones .....	36
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
5.1 Zonas susceptibles a inundación.....	37
5.1.1 Polígonos de Thiessen.....	38
5.2 Determinación de escorrentía e identificación de áreas verdes prioritarias.....	43
5.2.1 Tiempo de concentración .....	43
5.2.2 Caudal de diseño, caudal con coeficiente de uniformidad e hidrograma unitario triangular.....	44
5.2.3 Balance hídrico.....	44
5.2.4 Determinación de sitios que han modificado la dinámica hídrica.....	46
5.3 Entrevistas para determinar zonas prioritarias para la adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones.....	48
5.3.1 Identificación de planes parciales de desarrollo.....	48
5.3.2 Entrevistas para contrastar los resultados e interpretar la interacción de los actores respecto a la función de las áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones.....	55
6. DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN DE ÁREAS VERDES PARA MITIGAR EL RIESGO DE INUNDACIONES .....	69
6.1 Ubicación de las áreas verdes.....	69
6.2 Implementación de pozos de absorción. ....	71
6.2.1 Análisis de costo de un pozo de absorción.....	74
6.3 Implementación de presa de gaviones .....	75
6.3.1 Análisis de costo de la presa de gaviones .....	80
6.4 Implementación de presas rompe-picos.....	81
6.4.1 Análisis de costo de la presa rompe-picos de mampostería.....	86
7. DISCUSIÓN.....	87
8. CONCLUSIONES .....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

ANEXOS.....	106
Anexo I. Entrevista.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la microcuenca San José el Alto.....	22
Figura 2. Diagrama del proceso metodológico.....	25
Figura 3. Hidrograma Unitario Triangular.....	31
Figura 4. Lluvia máxima (mm) por año de la estación climatológica Juriquilla.....	37
Figura 5. Estaciones Climatológica. ....	38
Figura 6. Polígonos de Thiessen de la microcuenca San José el Alto.....	39
Figura 7. Zonas susceptibles a inundaciones en la microcuenca San José el Alto.....	42
Figura 8. Factores climáticos e Infiltración.....	45
Figura 9. Fracción del mapa de crecimiento del área urbana 1970 – 2018.....	46
Figura 10. Planes parciales de desarrollo urbano de la microcuenca San José el Alto y asentamientos Irregulares.....	52
Figura 11. Plan parcial de desarrollo de la delegación Epigmenio González (Municipio de Querétaro, 2018a).....	53
Figura 12. Imagen satelital de la microcuenca San José el Alto (Google, 2021).....	54
Figura 13. Mapa resultante de la entrevista a la asociación de colonos de la microcuenca San José el Alto.....	57
Figura 14. Mapa resultante de la entrevista a ejidatario de San Vicente Ferrer.....	59
Figura 15. Mapa resultante de la entrevista a residente de El Salitre.....	61
Figura 16. Mapa resultante de la entrevista a la coordinación municipal de Querétaro de Protección Civil.....	65
Figura 17. Mapa resultante de la entrevista al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).....	67
Figura 18. Mapa resultante de entrevistas, zonas susceptibles a inundación y zonas funcionales.....	68
Figura 19. Ubicación de zonas de adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones en la microcuenca San José el Alto.....	70



Figura 20. Esquema y ubicación del pozo de absorción .....	73
Figura 21. Presa de gaviones .....	79
Figura 22. Imagen satelital de la comunidad San Pedrito el Alto .....	82
Figura 23. Presa rompe-picos de mampostería.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de adaptación al cambio climático .....	14
Tabla 2. Morfometría de la microcuenca San José el Alto .....	23
Tabla 3. Criterios de vulnerabilidad biofísica y sus pesos relativos .....	28
Tabla 4. Estaciones climatológicas y su precipitación media anual .....	38
Tabla 5. Precipitación media de la microcuenca San José el Alto .....	40
Tabla 6. Tiempo de concentración .....	44
Tabla 7. Análisis de costo de un pozo de absorción .....	74
Tabla 8. Estándares de calidad .....	76
Tabla 9. Análisis de costos de la presa de gaviones .....	80
Tabla 10. Análisis de costo de la presa rompe-picos de mampostería.....	86

## **Resumen**

El crecimiento acelerado de superficie construida en zonas periurbanas repercute en la funcionalidad de las cuencas hidrográficas e incrementa el riesgo a inundaciones.

En la presente investigación se elabora una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar las inundaciones, esto mediante tres etapas: I) Identificación de zonas susceptibles a inundación, II) Determinación de escorrentía e identificación de áreas verdes prioritarias, III) Diseño de una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca San José el Alto.

Los resultados indican que existe relación entre el crecimiento de la mancha urbana y la formación de inundaciones, asimismo confirma las modificaciones a la dinámica hídrica de la microcuenca provocado por factores antropogénicos.

Se concluye que es necesario implementar estrategias que estén en armonía con los planes gubernamentales de crecimiento de la zona y que a su vez aporten a la mitigación de inundaciones.

Palabras clave: inundación, cambio de uso de suelo, microcuenca, periferia, crecimiento urbano.

## **Abstract**

The accelerated growth of built area in peri-urban areas affects the functionality of the hydrographic watershed and increases the risk of inundation.

In this investigation, a strategy for the adaptation of green areas to mitigate floods is developed, this through three stages: I) Identification of areas susceptible to inundación, II) Determination of runoff and identification of priority green areas, III) Design of a strategy of adaptation of green areas to mitigate the risk of inundation in the San José el Alto.

The results indicate that there is a relationship between the growth of the urban area and the formation of inundations, as well as confirming the modifications to the water dynamics of the micro-watershed caused by anthropogenic factors.

It is concluded that it is necessary to implement strategies that are in harmony with the government growth plans for the area and that in turn contribute to flood mitigation.

Keywords: inundation, land use change, micro-watershed, periphery, urban growth.

## **Introducción**

El desarrollo socioeconómico que se ha presentado en algunos países desde la segunda mitad del siglo XX no sólo se relaciona con una sociedad eminentemente agraria a una sociedad basada en la industria, sino también en poblaciones con distintos intereses en servicios, cambios funcionales y estilos de vida (Morote, 2017). Asimismo, el incremento demográfico en las ciudades conlleva y acentúa la demanda de servicios, movilidad, infraestructura, equipamiento y empleo, al tiempo que se acompaña de cambios de uso de suelo, contaminación, ocupación de zonas susceptibles a riesgo y pérdida de áreas verdes (Pérez, Gil & Olcina, 2015).

Lo anterior se acentúa en periferias urbanas de ciudades con acelerada dinámica, las modificaciones en estas zonas repercuten en la propia funcionalidad y regulación hídrica de la cuenca hidrográfica que ocupen, ya sea en zonas altas de captación de agua de lluvia, zona medida de transporte o zona baja de depósito, cualquier zona que se vea interrumpida en su función interviene de forma negativa en la distribución de agua e incrementa aún más el riesgo de inundaciones. En este sentido, la gestión de cuencas puede intervenir favorablemente, ya que aporta la gestión de conflictos entre el ser humano y su entorno, especialmente el ecosistema que habitan (Duorojeanni & Jouravlev, 1999). Esta línea de indagación pone el énfasis en las condiciones preexistentes de vulnerabilidad de la sociedad, eleva el concepto de riesgo a una posición central en el análisis del desastre y en la búsqueda de esquemas de intervención y acción que permitan pensar en la reducción de las posibilidades de desastres de tal magnitud en el futuro (Lavell, 2001).

Con base en lo señalado anteriormente, se puede entender que, para realizar una planificación y gestión urbana y periurbana adecuadas, se tiene que empezar por considerar y comprender al ecosistema de la ciudad. Éste tiene funciones y procesos complejos e

interrelacionados, pues nada actúa de manera aislada (Krishnamurthy & Rente, 1998). La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente. Incluye las que son propias del mundo natural, como son las asociadas con la dinámica geológica, geomorfológica, atmosférica y oceanográfica (por ejemplo, sismos, deslizamientos de tierra, huracanes y tsunamis); las que son de naturaleza pseudo o socio-natural, producidas como resultado de la intersección o relación del mundo natural con las prácticas sociales, como son muchos casos de inundación, deslizamiento y sequía (Lavell, 2001).

Debido al crecimiento urbano, conservar áreas verdes, es un modo de garantizar la prestación de servicios ecosistémicos como la mitigación de inundaciones (Coronel, Feldman, Piacentini, 2014 citados en Zimmermann & Bracalenti, 2014), especialmente en ciudades en constante crecimiento, pues la periferia urbana propicia la impermeabilización de áreas de percolación, lo que representa aumento de inundaciones, por lo cual se debe recalcar la importancia de la preservación y posterior implementación de áreas verdes con el fin de proporcionar servicios ecosistémicos, específicamente su función como mitigadoras de inundaciones (Hernández, Barrios & Ramírez, 2017).

### **Planteamiento del problema**

En los últimos 15 años el estado de Querétaro ha presentado un importante crecimiento demográfico, en el año 2000 estaba constituido por 1,404,300 habitantes, mientras que al año 2015 se presentó un incremento poblacional del 45% aproximadamente, en este año se tenía una población de 2,038,300 (INEGI, 2015a). Ese aumento se manifiesta principalmente en la ciudad Querétaro a través de un evidente crecimiento urbano, mismo que se acompaña de la generación de empleos, derrama económica e infraestructura. Sin embargo, este mismo crecimiento también ha tenido la ocupación de sitios inundables, así como el impacto ambiental, particularmente en las áreas verdes que aportan servicios ambientales a la sociedad como la retención de humedad y la recarga de acuíferos (Astudillo, 2017). De acuerdo con el IMPLAN (2018a) el crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de

Querétaro se ha presentado mayormente hacia el norte, incrementándose específicamente del 2006 al 2018.

Además, el Atlas de Riesgo de Querétaro indica que, debido a la configuración del municipio, el relieve sobre el que se encuentra es principalmente una llanura aluvial, con lomeríos, los cuales son zonas de inundación que se han constituido como tales debido al bloqueo de cauces naturales por la urbanización. De igual forma, indica que la ciudad tiene diversos puntos donde se presentan inundaciones, algunas de las zonas más afectadas en los últimos años están en el noreste de la ciudad (SIGEMA, 2015).

Aunado al crecimiento urbano y la formación de inundaciones, se han realizado distintas obras pluviales con el fin de mitigar las avenidas o anegaciones, sea el caso de colectores pluviales, drenes y bordos (Universidad Autónoma de Querétaro, 2009). No obstante, conforme existe un distanciamiento entre el centro hacia la periferia, se observa la disminución de obras hidráulicas o atención para disminuir inundaciones, de igual manera sucede con las áreas verdes, las cuales se ven reducidas a través de acelerados cambios de uso de suelo, especialmente dirigidos hacia la cobertura urbana.

En la periferia urbana de la ciudad de Querétaro destaca la microcuenca San José El Alto, la cual año con año presenta eventos de inundaciones, al tiempo que los intensos cambios de uso de suelo parecieran rebasar la cobertura de infraestructura hidráulica y las estrategias de mitigación de inundaciones. Al respecto, la lluvia que se presentó en el 2014 con intensidad de 90.4 mm, dejó un saldo de 500 viviendas, daños a infraestructura vial, hospitales y negocios en las colonias El Salitre, Cuitláhuac y el Raquet Club (Paniagua, 2014). Tres años después, en el 2017, la precipitación con intensidad de 100 mm dejó a su paso pérdidas humanas, inundaciones en 19 casas, autos anegados y dos socavones (Vigil, Rodríguez & Córdova, 2017; Contreras, 2017). Cabe mencionar que los puntos de inundación se encuentran dentro de la microcuenca denominada San José el Alto y a su vez, ésta se encuentra en la periferia de la ciudad de Querétaro.

Debido a lo anterior, es de suma importancia trabajar bajo el enfoque de cuenca en la periferia urbana, específicamente en San José El Alto, ya que, ante el aumento de superficies impermeables, el hidrograma de crecida en cuencas en proceso de urbanización se va

modificando, presentando caudales pico más altos y tiempos de ascenso más cortos a medida que la impermeabilización del suelo aumenta. (Zimmermann & Bracalenti, 2014). Además, en la microcuenca San José El Alto es importante analizar las zonas donde se presenta este fenómeno y evaluar su vulnerabilidad, para posteriormente plantear una estrategia de mitigación de riesgo de inundaciones mediante la adaptación de áreas verdes. Todo ello contribuirá para reducir y retardar el volumen de agua a derivar a la red de drenaje.

### **Justificación**

El crecimiento demográfico de la ciudad de Querétaro incrementó exponencialmente en la última década, lo cual ha propiciado el aumento del área construida y con ello la impermeabilización de áreas de percolación y bloqueo de cauces naturales, y como consecuencia final, se han presentado nuevos puntos de inundación en la ciudad, algunos de los más importantes se encuentran en la microcuenca San José el Alto. Al respecto, los espacios abiertos podrían contribuir en la reducción del riesgo, pues desde el punto de vista del valor ambiental, el espacio abierto puede tener la capacidad de infiltrar o retener agua (Suárez, 2016). En esa labor específica destacan las áreas verdes, las cuales tienen efectos positivos como capturar el escurrimiento y mejorar el funcionamiento de la infraestructura de drenaje pluvial se reconocen los incrementos de la capacidad de intercepción y de la capacidad de almacenamiento e infiltración en el suelo. Desde un punto de vista hidrológico, estos espacios verdes fomentan la infiltración y almacenamiento de agua de lluvia. Esto implica mantener la porosidad del suelo natural, aumentar la cubierta vegetal, especialmente en las zonas inundables.

El presente trabajo busca ser útil tanto para los habitantes de la microcuenca como para las autoridades competentes que puedan basarse en esta investigación para adaptar sus áreas verdes con la finalidad de mitigar las inundaciones que se presentan actualmente; asimismo se pretende sea útil en planes de desarrollo futuros de cualquier ciudad o región para adaptar sus áreas verdes desde la proyección, de modo que éstas tengan doble función en épocas húmedas.

## **Preguntas de investigación**

- ¿Cuáles son las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca San José El Alto?
- ¿Cuáles son las áreas verdes aptas para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca San José el Alto?
- ¿Qué estrategia de adaptación de áreas verdes se puede implementar para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca?

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones en la microcuenca San José el Alto, Querétaro.

### **Objetivos particulares**

- Identificar las zonas susceptibles a inundaciones en la microcuenca San José el Alto, Querétaro.
- Determinar el régimen hidrográfico que los cinturones verdes proporcionan, así como aquellos que han modificado la dinámica hídrica de la microcuenca San José el Alto.
- Diseñar una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca San José el Alto.

## **1. ÁREAS VERDES PARA MITIGAR INUNDACIONES.**

El eje central de la investigación son las inundaciones en la periferia urbana y cómo se puede mitigar mediante la adaptación de áreas verdes, pues se sabe que las ciudades en constante crecimiento no sólo presentan incremento de población y mancha urbana, sino también el riesgo ha aumentado considerablemente; los desastres urbanos que están asociados a fenómenos naturales han provocado pérdidas humanas, materiales y económicas (Pelling, 2005 citado en Hernández y Vieyra, 2010), además, estos riesgos se acentúan en las periferias

urbanas de las ciudades, especialmente el riesgo de inundaciones (Zimmermann & Bracalenti, 2014).

Debido a lo anterior, se entiende que es de suma importancia implementar estrategias y procesos para evitar y controlar los efectos adversos para la población, infraestructura o ambiente (Lavell, 2001); uno de los métodos que se han implementado es la conservación de cinturones verdes como parte de la tipología de las áreas verdes, pues con ello se garantiza la prestación de servicios ecosistémicos que a su vez funcionan para mitigar inundaciones (Coronel, Feldman, Piacentini, 2014 citados en Zimmermann & Bracalenti, 2014).

En este capítulo se tratarán de entender los principales conceptos relacionados a la investigación y los fundamentos teóricos que lo sustenten mediante la revisión de literatura. De manera inicial, se analizarán los conceptos de riesgo y desastres en espacios urbanos, donde se describirán las definiciones de cada uno de ellos, su relación con la vulnerabilidad y la amenaza y las clasificaciones que se tienen. Asimismo, se abordará el tema de las inundaciones, donde se describirán los tipos que existen, la definición que se empleará para este trabajo y su relación con las zonas periurbanas. Finalmente, se revisará la importancia de la gestión de cuencas y la gestión de riesgos, así como su relación con la mitigación de inundaciones, para lo cual, como ya se mencionó anteriormente, se opta por emplear las áreas verdes que, para este, se indagará en el último apartado de este capítulo las distintas clases de áreas verdes, específicamente urbanas para saber si son viables para el fin buscado.

### **1.1 Riesgo y desastre en periferias urbanas**

El riesgo es *“una posibilidad y una probabilidad de daños relacionados con la existencia de determinadas condiciones en la sociedad, o en el componente de la sociedad bajo consideración”* (Lavell, 2001: p. 2) y se relaciona directamente con la vulnerabilidad y la amenaza (Cardona, 2008). En ese sentido, se entiende por vulnerabilidad como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, mientras que la amenaza es definida como la probabilidad de que ocurra un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un



sitio dado (Cardona, 1993). Al respecto, Ferrari (2012) menciona que los principales indicadores de vulnerabilidad que se deben tomar en cuenta son: económicos, sociales, tecnológicos y físicos, a diferencia de la amenaza que está asociada con un fenómeno físico de origen natural, sociales y tecnológicos, sin embargo, esta investigación se centra en los de origen natural, es decir, en los que el ser humano no tiene implicaciones en ello, sin embargo, las modificaciones en el uso de suelo, especialmente, cuando se impermeabilizan áreas de percolación repercuten en la propia funcionalidad y regulación hídrica de la cuenca hidrográfica. Se entenderá la amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastrosos durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado (Cardona,1993).

Respecto a lo anterior, cuando el proceso evoluciona de probabilidad al hecho, entonces se produce un desastre (Cardona,1993). Las civilizaciones a lo largo de su historia evolutiva se han enfrentado a desastres que no resultan ser absolutamente naturales (García, 1997), sino donde que es el resultado de la confluencia entre un fenómeno natural peligroso y una sociedad vulnerable tal cual lo describe García (1996 citado en García, 2008).

El CENAPRED (2014) agrupa los tipos de riesgo en: hidrometeorológico, geológico, químicos, de origen sanitario y socio-organizativos, los cuales comúnmente derivan en desastres. La presente investigación se centrará en los hidrometeorológicos: precipitación pluvial, tormentas de granizo y nieve, heladas, ciclones tropicales, escurrimientos torrenciales, inundaciones, sequía, viento y marea de tormenta. Entre ellos se destacarán a las lluvias, tormentas e inundaciones debido que son las causantes de la recurrencia y peligrosidad de los desastres (CRED-UNISDR, 2015 citado en Campos & Román, 2017).

Lo anterior es evidente en las ciudades, sea por la concentración poblacional, así como de medios y activos del sistema que, al ser impactados por amenazas naturales, causan innumerables pérdidas humanas, materiales y económicas (Pelling, 2005 citado en Hernández y Vieyra, 2010). Además, el problema se acentúa en las periferias urbanas, aquellas zonas de conversión rural a urbano, usualmente conformadas por la relación de uso de suelo rural, urbano y natural o de conservación ecológica (Bazant, 2010 citado en Michel, 2016). Asimismo, en esos espacios periurbanos se denota la ocupación de sitios susceptibles

a la formación del riesgo, los cuales se acompañan de asentamientos heterogéneos y polarizados, poca vigilancia, venta de suelo a bajo costo, intensos cambios de uso de suelo, corrupción en el manejo del territorio, a la vez que la mayor parte se transforma en superficie impermeable, disminuye el volumen de infiltración y se presenta sobrecarga en los sistemas de drenaje y, por ende, la formación de inundaciones (Zimmermann & Bracalenti, 2014). Cabe mencionar, que, para los fines de esta investigación, se entiende susceptibilidad como *“la mayor o menor predisposición a que un evento ocurra sobre un determinado espacio geográfico cobra mayor relevancia en un ámbito urbano debido a la población”* (Soldano, Giraut & Goniadzki, 2007).

El aumento de la superficie construida en las periferias urbanas propicia la impermeabilización de sitios de percolación y bloqueo de cauces naturales, y como consecuencia, se han formado nuevos puntos de inundación y han acentuado los existentes en el área urbana central. Adicional a ello, la gestión de cuencas ha trabajado paralelamente con la gestión de riesgo para lograr la mitigación de inundaciones y pretende demostrar, entre otras cosas, la importancia de la preservación de las áreas verdes, ya que éstas pueden fungir como mitigadoras de inundaciones (Hernández, Barrios & Ramírez, 2017).

Así, el riesgo y desastre en la periferia urbana asociada con inundaciones viene a la par del crecimiento urbano en superficies no aptas, representado por diversos asentamientos de condiciones precarias que suelen ocupar suelos inseguros (Hernández y Vieyra, 2010). Además, el crecimiento y los perjuicios, así como el manejo del riesgo y desastre se ha efectuado, normalmente, sin considerar la interacción que existe entre el medio urbano y las cuencas donde se asientan (Dourojeanni y Jouravlev, 1999), por esa razón en los siguientes apartados se expondrá de manera teórico conceptual las inundaciones y su relación con gestión de cuencas hidrográficas y gestión del riesgo.

## 1.2 Gestión de cuencas y gestión de riesgo ante inundaciones

El CENAPRED (2014) señala que las inundaciones ocurren cuando el suelo y la vegetación no pueden absorber toda el agua que escurre sobre el terreno a baja velocidad, sin embargo, existen factores importantes que las condicionan como la distribución espacial de la lluvia, tipo de suelo, pendiente del terreno, uso de suelo y vegetación, características físicas de los arroyos y ríos y las elevaciones de los bordos de los ríos.

Para fines de esta investigación, se tomará como definición de inundación la del Glosario Hidrológico Nacional (OMM/UNESCO, 1974), el cual menciona que es el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier cuerpo de agua o bien, la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas. Además, Taboada, Damiano y Lavado (2009), mencionan la existencia de tres tipos de inundaciones: acumulación de agua de lluvia, desbordes de cursos de agua y ascensos freáticos, a lo cual los tres suelen presentarse en ciudades y sus periferias urbanas.

Al respecto, Máyer (2002), Hernández y Vieyra (2010), menciona que, entre los factores que influyen en el proceso formador de inundaciones en las periferias urbanas (con consecuencias en las áreas urbanas centrales), destaca la ocupación de sitios susceptibles (zonas bajas que por naturaleza son inundables y sitios limítrofes o sobre ríos y cuerpos de agua desecados), y con ello, la modificación del sistema hídrico de las cuencas hidrográficas. En ese sentido, valdría la pena estudiar el fenómeno desde una perspectiva de gestión de cuencas, la cual evalúa de manera integral, multivariable y multiescala la formación de inundaciones. Además, desde su enfoque también es un sistema de gestión del agua y de sus cuencas de captación que se crea para evitar conflictos, prevenirlos y solucionarlos (Duorojeanni & Jouravlev, 1999).

La gestión de cuencas hidrográficas desempeña un papel fundamental en la reducción de riesgos, pues existe una variedad de medidas de tipo político y herramientas que se pueden utilizar con el fin de disminuir la vulnerabilidad (Saborio, 2009). De este modo, trabajar con el enfoque de cuenca en periferias urbanas asociado con inundaciones, representa cuidar cada una de las zonas funcionales, pues en ellas existe un mosaico compuesto de diversas formas de ocupación que modifica el funcionamiento de dichas zonas; la zona alta permite regular

el volumen y la escorrentía de agua, la zona media asegura el almacenamiento hídrico, favoreciendo con esto que la zona baja de la cuenca reciba una corriente con menor velocidad y erosividad; logrando con estos procesos la regulación de inundaciones (Peña, 2017).

En este punto, es de suma importancia implementar procesos, estrategias, instrumentos y medidas con el fin de evitar, reducir y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos para la población, infraestructura o el ambiente, esto también es conocido como gestión de riesgo (Lavell, 2001). Cardona (2008) también define la gestión de riesgos como el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a la intervención de la amenaza o vulnerabilidad, con el fin de disminuir o mitigar los riesgos existentes. Además, Wilches Chaux (1998 citado en Lavell, 2001) menciona que la gestión del riesgo es el proceso a través del cual una sociedad, o subconjuntos de una sociedad, influyen positivamente en los niveles de riesgo que sufren, o podrían sufrir. Lo señalado se puede lograr mediante una planificación del uso del territorio y de sus recursos naturales, si bien al considerar el riesgo de desastre no garantiza la ausencia total de eventos peligrosos, la planificación podrá acompañar decisiones racionales sobre los niveles de protección posibles, por ello es probable que se logre minimizar el daño a mediano y largo plazo y consecuentemente un tipo de desarrollo con condiciones de sostenibilidad.

Dado lo anterior, se entiende que existe una necesidad de concebir el problema de las inundaciones como un sistema complejo integrado en el nivel de la cuenca hidrográfica para consecuentemente, proponer acciones sistémicas integradas (estructurales y no estructurales), tanto de reducción de riesgo como de prevención de inundaciones (Aragón y Quezada, 2014). Franco (2010) también resalta la importancia y la necesidad de una visión integrada ambiente-planificación, no sólo para las nuevas transformaciones urbanas, sino para lo ya existente: entendiendo los impactos, ejecutando las acciones para mitigarlos e, incluso, compensando las alteraciones realizadas en el pasado; es decir, tener una gestión de riesgo adecuada en las periferias urbanas.

Romero y Vásquez (2005) mencionan la importancia de plantear escenarios futuros de cambio de uso de suelo para detectar problemas posteriores, mientras que Lafflito y Zuleta (2012) señalan la necesidad de evaluar las características estructurales y funcionales de los

espacios periurbanos, ya que suelen ser espacios que no siempre tienen una planeación urbana adecuada o que derivan de un crecimiento poco o nada controlado y proyectado.

Al respecto, Berga (2011) analiza las medidas estructurales y no estructurales de la gestión de riesgo, específicamente de las inundaciones y destaca que es necesario un conjunto de estas dos para lograr resultados favorables. Sin embargo, Velasco y Russo (2015) demuestran que las medidas estructurales podrían ser muy eficaces en términos de reducción de peligrosidad y riesgo. Además, Rivera, Solís, Jiménez y Faustino (2004) y André y Hernández (2019) mencionan que evaluar la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en las microcuencas podría ser empleado para diseñar esquemas de ordenamiento territorial y urbano.

Al respecto, Magdaleno, Cortés y Molina (2018) analizan la implementación de obras civiles para mitigar inundaciones y la infraestructura verde; aunque ambas constituyen herramientas de carácter estratégico para la adaptación y mitigación climática, se trata de medidas de diferente tipología y funcionamiento, pero que comparten atributos como la multifuncionalidad, la generación de variados servicios ecosistémicos, y su elevada capacidad de adaptación a las dinámicas territoriales y socio-ambientales. Ambas han sido aplicadas en muy diferentes ámbitos físicos y sectoriales, pero su grado de desarrollo aún se puede considerar incipiente, considerando la utilidad y eficiencia que pueden tener para resolver diversos retos ambientales. Sin embargo, Badillo (2017) indica que la adaptación de áreas verdes es una herramienta preventiva para el control de inundaciones al lograr retardar los picos de escorrentía que saturan los sistemas de drenaje convencionales, mitigando con ello el riesgo a padecer inundaciones y, por lo tanto, el daño al bienestar de la población y al entorno físico construido. A través del empleo de esta estrategia se puede hacer una diferencia en el manejo del agua pluvial de escorrentía urbana, involucrando a la arquitectura del paisaje para ofrecer una nueva perspectiva del aprovechamiento del agua pluvial, promoviendo una cultura de manejo adecuado del agua.

Como se ha mencionado anteriormente, es importante implementar obras para mitigar inundaciones, sin embargo, para llevarlo a cabo es necesaria la participación social, la cual se entiende como *“la intervención de los ciudadanos en la toma de decisiones respecto al*

*manejo de los recursos y las acciones que tienen impacto en el desarrollo de sus comunidades”* (Secretaría de Educación Pública, 2016), lo que se relaciona directamente con la administración sustentable del agua, que es una de las funciones de la CONAGUA (Díaz, 2013). Salgado (2005) menciona la importancia de la participación social, pues mediante la colaboración de los habitantes se puede tener la certeza de conocer los puntos de inundación, tener una idea de las posibles causas y conflictos que se pueden tener en la zona que mediante la simple inspección de cartografía existente.

Además, existen casos en los que se demuestra la importancia de la participación social para que las obras de mitigación funcionen adecuadamente, pues serán ellos los principales involucrados y beneficiados con ello. Si la estrategia de mitigación será operada por los habitantes de la microcuenca o zona de inundación, será de vital importancia que estén involucrados, conozcan el funcionamiento por completo y sepan resolver los problemas en caso de presentarse, así como ser los encargados de presentar mejoras a las obras o procedimientos (Morote, 2017).

### **1.3 Adaptación en torno a riesgos hidrometeorológicos**

Existe una susceptibilidad a las variaciones climáticas, esto en cuanto a los sistemas naturales y sociedades humanas, las cuales tienen una limitada capacidad de adaptación. Entre los principales eventos destacan los del origen hidrometeorológico por su frecuencia e intensidad (IPCC, 2001; 2007 citado en Hernández, 2014). Es importante mencionar que el 75% de las pérdidas y eventos por desastres están asociados a amenazas de origen hidrometeorológico (Hernández, 2014).

El IPCC (2001, citado en Hernández, 2014: 147), define adaptación como *“aquella capacidad de ajuste de los sistemas humanos o naturales (intencional o incidental) frente a los entornos nuevos o cambiantes”*; esta definición desde el enfoque de riesgo refiere a los ajustes como respuesta a estímulos climáticos y a moderar el daño que estos provoquen.

De acuerdo con Satterthwite *et al.* (2007 citado en Hernández, 2014), existen distintos tipos de adaptación (Tabla 1), sin embargo, en el presente trabajo se emplearán únicamente

la adaptación y vínculos de mitigación, ya que son las acciones para reducir la vulnerabilidad de la población en poco tiempo, mientras que la mitigación consiste en evitar los impactos adversos en tiempos prolongados, cabe mencionar que el riesgo cero no es un factor real que pueda considerarse en este tipo de adaptación.

Tabla 1. Tipos de adaptación al cambio climático

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Adaptación al cambio climático	Son las acciones para reducir la vulnerabilidad de un sistema (ciudad), comunidad (población vulnerable de una ciudad) o de forma individual a los impactos adversos, ya sea anticiparse a los cambios climáticos y/o sus efectos. La adaptación a las variabilidad del clima se encuentra en la reducción de la vulnerabilidad hacia estos shocks a un corto plazo. Así también puede presentar un co-beneficio en la población, sin embargo la adaptación individual puede minar la resiliencia colectiva o comprometer la capacidad adaptativa.
Adaptación y vínculos de mitigación	La mitigación resulta en evitar los impactos adversos del cambio climático en tiempos prolongados, mientras que la adaptación puede reducir dichos cambios en poco tiempo (pero no puede reducirla a cero). Las fallas en la mitigación resultará en el fracaso de la adaptación, por lo tanto la adaptación y mitigación no son estrategias alternativas, pero son complementarias y tienen que ser ejercidas juntas.
Déficit de adaptación	Es la falta de capacidad adaptativa para solventar los problemas de la variabilidad climática, tales como infraestructura, donde los países de bajos ingresos son los que presentan las mayores repercusiones.
Adaptación in situ	Son las acciones que permiten a la población vulnerable adaptarse con éxito al cambio climático, incluyendo aquellas adaptaciones realizadas o respaldadas por los gobiernos locales.
Capacidad adaptativa	Es la capacidad inherente de un sistema, comunidad o de forma individual/familiar de emprender acciones que puedan ayudar a evitar las pérdidas y acelerar la recuperación de cualquier impacto del cambio climático. Los elementos de la capacidad adaptativa incluyen conocimientos, capacidad institucional, recursos financieros y tecnológicos.
Adaptación autónoma	Este tipo de adaptación ocurre sin alguna planeación específica.
límites para la adaptación	La adaptación puede reducir considerablemente los impactos adversos del cambio climático pero no puede reducirlos a cero.
Mala adaptación	Son aquellas acciones o inversiones que aumentan la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático en lugar de reducirlos.
Adaptación planeada	Adaptaciones planificadas con anticipación al cambio climático potencial. En este apartado intervienen los gobiernos y la sociedad civil, sin embargo los gobiernos a menudo no cumplen con lo previsto, por lo que las organizaciones civiles son los que soportan e inician los preparativos.

Fuente: Modificado de Satterthwite *et al.* (2007, citado en Hernández, 2014: 149).

Entre los diferentes sistemas para mitigar inundaciones destacan las áreas verdes, mismas que pueden adaptarse para reducir los efectos derivados de las amenazas hidrometeorológicas y a su vez contribuir con servicios ambientales (Vásquez, 2016), esto debido a que integra o beneficia procesos hidrológicos e hidráulicos que se presentan en las áreas urbanas (Rotger, 2018). Entre los sectores primordiales para adaptar áreas verdes y contribuir en la mitigación de eventos perjudiciales asociados con inundaciones, destacan aquellos localizados en las periferias urbanas, las cuales suelen presentar una importante dinámica hídrica hacia el sector densamente urbanizado y donde cualquier alteración en su sistema acentúa los impactos. Por esa razón, en las siguientes secciones se establecerá el tipo de área verde representativa para la actividad de la presente investigación.

#### **1.4 Áreas verdes para mitigar inundaciones**

Las áreas verdes son espacios abiertos con una presencia mayoritaria de vegetación que se encuentran dentro o adyacente al área urbana (León, 2008 citado en Benítez, 2019). Flores y González (2010) mencionan que las áreas verdes que se pueden encontrar en las ciudades o aledañas a estas, se dividen en lugares públicos y privados, en el primer grupo se encuentran: corredores verdes (árboles y pastizales) a lo largo de avenidas, calles y vías del tren, parques, jardines, plazas ajardinadas, deportivos ajardinados y cementerios, mientras que en el grupo de las áreas verdes privadas se encuentran: jardines y azoteas verdes de residencias y edificios, viveros forestales, huertos, espacios agrícolas y terrenos baldíos con vegetación y cinturones verdes que rodean las ciudades.

Las periferias urbanas al ser zonas de transición rural a urbano (Bazant, 2010), es común encontrar cinturones verdes adyacentes al área urbana y proveen de beneficios ambientales, por lo mismo, cuentan con particularidades que podrían abordarse en dos sentidos, el primero donde el área verde por sí sola mantiene, mayoritariamente, elementos propios de su naturaleza con vegetación primaria o secundaria, y el segundo de condiciones artificiales, ambos casos se acompañan de actividades rurales y urbanas, por ello este trabajo utilizará el término de área verde urbana con base en los aportes de los autores antes mencionados. Además, en periferias urbanas de ciudades con acelerado crecimiento, las áreas



verdes que se encuentran en las ciudades o aledañas a estas, tienen diferentes problemas; están ante una constante presión, son susceptibles al cambio y suelen presentar deficiencias en la calidad ambiental, funcionalidad y acceso (Benítez, 2019).

Las áreas verdes son elementos indispensables en el desarrollo de las ciudades por los diversos beneficios y servicios ambientales que brindan: forestación urbana, la promoción de oxígeno, la regulación microclimática, y la captación de agua; aparte de los valores como paisaje y amenidad, por lo mismo, los planificadores, así como el público en general, perciben el potencial de los árboles y áreas verdes en ambientes urbanos para reducir la contaminación del aire, el ruido, el calor, el viento, y las inundaciones (Krishnamurthy & Rente, 1998).

Evitar la urbanización del suelo inundable y preservar las áreas con cobertura vegetal, reduce significativamente el nivel de riesgo y las inversiones destinadas a la adecuación de la infraestructura pluvial, a lo cual es necesario elaborar estrategias que permitan proteger los sectores todavía no urbanizados de los vasos de inundación (Zimmermann, Bracalenti y Onocko, 2015).

De acuerdo con Zimmermann y Bracalenti (2014), la pérdida de áreas verdes ocasiona que el hidrograma de crecida en cuencas se modifique, por lo cual se presentan caudales pico más altos y tiempos de ascenso más cortos; diversos países con alto grado de urbanización y desarrollo han optado no sólo por preservar sino por recuperar espacios de infraestructura verde que hacen posible una mejor calidad de vida en las ciudades.

Diversos autores han comprobado que la adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones son todo un éxito, Badillo (2017) concluye que una metodología para llevar esto a cabo podrían ser los jardines de lluvia, ya que son sistemas alternativos de captación, aprovechamiento e infiltración de agua pluvial urbana; son una estrategia que considera pequeñas intervenciones en banquetas, camellones y espacios urbanos subutilizados, con potencial para el desarrollo de vida y aprovechamiento eficiente del agua de lluvia. Son una herramienta preventiva para el control de inundaciones al lograr retardar los picos de escorrentía que saturan los sistemas de drenaje convencionales, mitigando con ello el riesgo a padecer inundaciones y, por lo tanto, el daño al bienestar de la población y al entorno físico

construido. A través del empleo de esta estrategia se puede hacer una diferencia en el manejo del agua pluvial de escorrentía urbana, involucrando a la arquitectura del paisaje para ofrecer una nueva perspectiva del aprovechamiento del agua pluvial, promoviendo una cultura de manejo adecuado del agua.

Además, el preservar áreas verdes en cantidad, calidad y conectividad adecuadas se encuentran como uno de los métodos de la gestión del riesgo, ya que es un modo de garantizar la prestación de servicios ecosistémicos indispensables que a su vez pudieran funcionar en la mitigación de inundaciones (Coronel, Feldman, Piacentini, 2014 citados en Zimmermann & Bracalenti, 2014). Lo anterior, sin dejar de mencionar que la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera que al mismo tiempo del desarrollo de las ciudades se deben tomar en cuenta indicadores de calidad de vida urbana, entre ellos la disponibilidad de áreas verdes, y estas a su vez, podrán ser adaptarse como “depósitos inundables”, para lo cual contempla 16 m<sup>2</sup> de área verde por habitante.

Con lo señalado, el considerar áreas verdes para mitigar inundaciones podría ser una estrategia viable para que cuencas de la periferia urbana, que regularmente son las que se encuentran con sectores integrados por áreas verdes puedan funcionar o adaptarse para reducir inundaciones.

### **1.5 Reflexiones finales.**

Con lo expuesto anteriormente, se puede señalar que los riesgos naturales incrementan en la periferia urbana debido a la dinámica que se presenta en estas zonas, especialmente el riesgo a inundaciones; por lo cual, es importante trabajar desde la gestión de cuencas pues ayuda a prevenir conflictos, evitarlos y solucionarlos, sin embargo, también es necesaria la gestión de riesgo pues es donde se crean las medidas para lograr la gestión de cuencas.

Además, trabajando desde el enfoque de la gestión de riesgo, se reduciría no sólo el problema de inundaciones en la zona, sino también podría aportar al mejoramiento de la planeación urbana en la microcuenca, ya que, al ser periurbana, también se tienen asentamientos irregulares.

El trabajar con una microcuenca periurbana resulta ser una ventaja al considerar adaptar áreas verdes para mitigar inundaciones, pues una característica principal de la periferia urbana es que se tienen cinturones verdes que rodean las ciudades, los cuales, si son considerados idóneos para llevar a cabo la adaptación para mitigar inundaciones, podrían ayudar a prevenir asentamientos en zonas precarias, y se tendría una mayor superficie para proponer estrategias de mitigación, así como preservar calidad y conectividad entre las zonas funcionales de la microcuenca que aportarían a recuperar los servicios ecosistémicos que brinda, entre ellos, la regulación hídrica que favorecería a la mitigación de inundaciones.

En la gestión de cuenca también es importante la participación social, recalcando esto en la mitigación de riesgo, pues los habitantes de la microcuenca son quienes conocen su territorio, los puntos de inundación y quizá posibles causas que estén ocasionando las inundaciones, además de la historia del desarrollo urbano y conflictos sociales que podrían ser críticos para la propuesta de estrategias de mitigación.

## **2. ANTECEDENTES**

La propuesta de mitigación del riesgo de inundación y recogida de aguas pluviales mediante la adaptación de áreas verdes pudiera ser una de las medidas para evitar, reducir o mitigar inundaciones, misma que ya se ha iniciado a implementar en ciudades europeas.

En la ciudad de Alicante en España, se realizó un trabajo al respecto, mismo que se ha convertido en un referente en el modelo, gestión e iniciativas para mitigar el riesgo de inundación y el aprovechamiento de estas aguas (Hernández *et al.*, 2016 citado en Morote, 2017). Ese proyecto se encuentra en el parque La Marjal, el área verde actúa como depósito pluvial durante un máximo de 48 horas a partir del cual, mediante bombeo se drena la zona inundable, además, cuenta con un área de percolación, lo cual permite ayudar un poco más con la regulación hidrológica y un sistema de vigilancia, el cual alerta a los residentes aledaños cuando exista peligro de inundación inminente. Se tienen reportes de su funcionamiento hasta el 2017, hasta ese año se habían presentado tres eventos, el de mayor intensidad fue en el mismo año, el parque operó a un tercio de su capacidad y sin ningún

incidente reportado, se puede apreciar que la adaptación de áreas verdes para la mitigación de riesgo ha funcionado (Morote, 2017).

Existen otras alternativas como los jardines de lluvia, también conocidos como jardines de retención o drenaje urbano sostenible, que además de aportar a la mitigación de riesgo de inundación también son una estrategia paisajística para el mejoramiento de espacio público en espacios subutilizados. Los jardines de lluvia son *“depresiones en el terreno con una cubierta vegetal que captan y canalizan el agua de lluvia proveniente de escurrimientos superficiales de zonas impermeables como techos, calzadas, banquetas y estacionamientos, hacia el subsuelo permitiendo que esta se infiltre; además son de rápido funcionamiento pues mediante grava y piedras se aumenta la porosidad por lo que se frena con rapidez”* (Badillo, 2017, p. 13).

En otro caso, la urbanización en Santiago de Chile ha propiciado diversos sectores susceptibles a inundaciones, así como pérdida de recarga del agua subterránea, por lo que se considera que la infraestructura verde podría servir para mitigar el daño causado por las inundaciones y aumentar las recargas hídricas (Moyer, 2018). Desde 1996 se han presentado diversos proyectos de drenaje urbano sostenible, las cuales se enfocan a minimizar los impactos del crecimiento urbano en la calidad, cantidad de escorrentía y camuflar la red de drenaje urbano con la red natural; entre dichos proyectos destacan cubiertas verdes, pavimentos permeables y jardines infiltrantes. En Manquehue, una localidad de Chicureo (norte de Santiago), se observa que la red de drenaje ha sido armonizada con las áreas de recreación, permitiendo la retención de la escorrentía generada durante tormentas intensas; el agua es almacenada para posteriormente usarse para riego y como ecosistema para aves e insectos (Camaño & Arumí, 2018).

En México se tiene el precedente del 2017 en el cual se elaboró un modelo a escala real para evaluar la eficiencia de un sistema de biorretención y biofiltración de agua pluvial, esto fue en la Universidad Autónoma Metropolitana-Axcapotzalco (UNAM), en la CDMX, el modelo recibía descargas pluviales provenientes del área impermeable, éstas son conducidas hacia una depresión, en la cual se tendrían procesos biológicos llevados a cabo por catorce especies nativas. De este proyecto se concluyó que es un sistema que resulta

menos costoso en comparación con la infraestructura ordinaria y que es eficiente para captar, almacenar y aprovechar el agua pluvial (Badillo, 2017).

Un ejemplo de adaptación de áreas verdes en la periferia empleados para el control de inundaciones se dio en Curitiba, Brasil, donde el crecimiento de la ciudad propició amenazas para los habitantes de la cuenca del Río Iguazú, los escurrimientos superaban las estrategias de ingeniería, probando que estas eran ineficientes para contrarrestar el riesgo, por lo cual se optó por modificar las leyes de zonificación para limitar la urbanización, además de facilitar la expropiación de terrenos para la creación de parques y lagos artificiales; el resultado fue un sistema de áreas verdes que proporciona protección contra inundaciones y un área recreativa de la ciudad (Sorenson, Keipi, Barzetti & Williams, 1998).

Para los fines de este trabajo, se podrían considerar viables partes de estas propuestas, sin embargo, cada una de ellas también tienen limitaciones; por lo cual se buscaría adaptar sus metodologías a una funcional para la microcuenca San José el Alto, ya que todas fueron planeadas para zonas urbanas y la presente investigación se centra en una zona periurbana, es decir, que tiene menor planeación e infraestructura que los ejemplos anteriores.

El caso del parque La Marjal, cumple la función de regular el escurrimiento cierto tiempo en el cual las personas pueden abandonar las zonas de riesgo, no obstante, la microcuenca San José el Alto no cuenta con la infraestructura como el parque para adaptarlo y lograr este propósito.

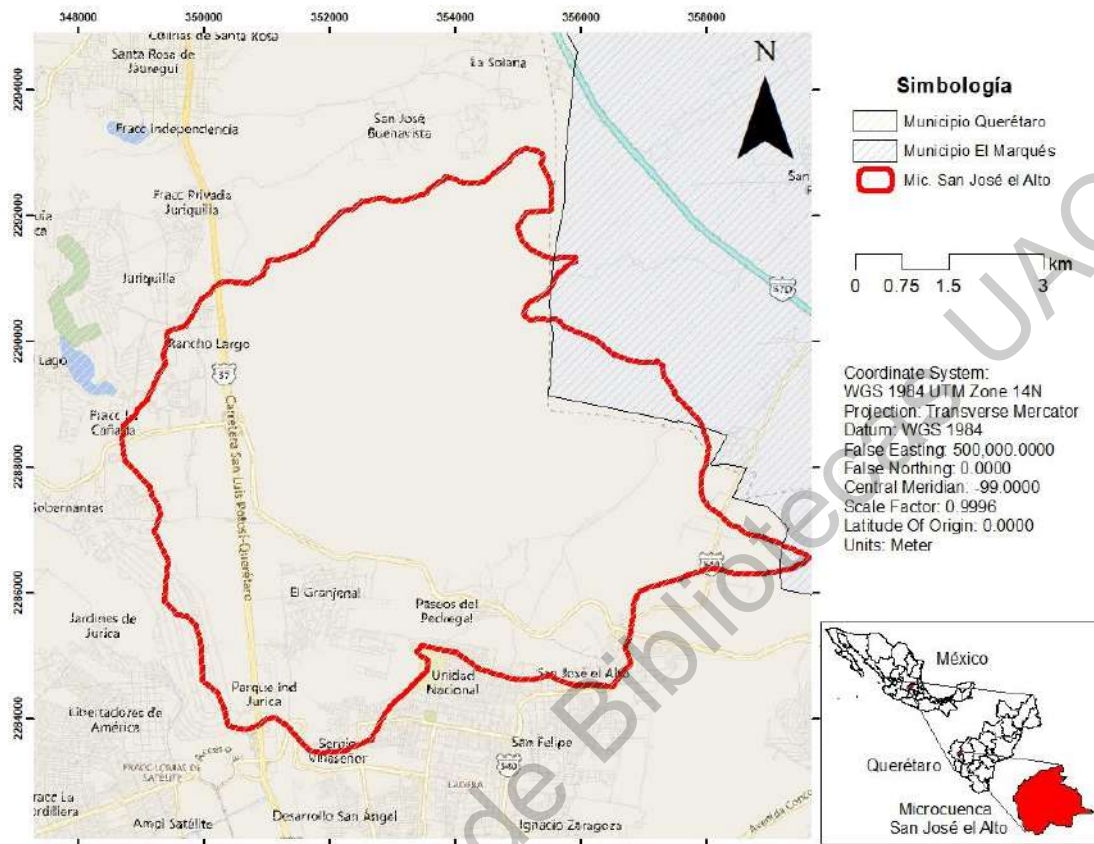
En cuanto a los jardines de lluvia, valdría la pena retomar la posibilidad de permitir las recargas hídricas, ya que de acuerdo a Olvera (2019, p. 26) la zona natural de la microcuenca es *“de gran importancia hidrológica para la recarga del acuífero del valle de Querétaro”*, sin embargo, esta opción no completamente apta para la zona, pues tiene el mismo problema que las redes de drenaje que están en armonía con el paisaje, la microcuenca San José el Alto es periurbana y al encontrarse en crecimiento y urbanización, no se tienen grandes vialidades que puedan adaptarse para mitigar inundaciones, además, también se presentan asentamientos irregulares, por lo cual, no se tiene la infraestructura necesaria para llevarlo a cabo.

Finalmente, el caso que más podría acercarse a la posible investigación sería la de Curitiba, Brasil, puesto que considera los riesgos desde una cuenca periurbana y adapta las áreas verdes que están presentes en este tipo de zonas. Sin embargo, en la microcuenca San José el Alto se presentan asentamientos irregulares, por lo que no sería totalmente posible tomar este modelo como ejemplo, además, de las dificultades que podrían presentarse en la zona para expropiar predios y destinarlos para la conservación y zonas de regulación hídrica.

### **3. ÁREA DE ESTUDIO**

La microcuenca San José el Alto, se encuentra entre los paralelos 20° 34' y 20° 43' de latitud norte; los meridianos 100° 27' y 100° 21' de longitud oeste; altitud entre los 1,760 y 2,710 m.s.n.m. (Figura 1). Pertenece a la cuenca Lerma-Chapala y a su vez a la región hidrológico-administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico. Pertenece a dos municipios: Querétaro y El Marqués. Tiene una extensión territorial de 58.10 km<sup>2</sup> y cuenta con una población de 34,721 habitantes.

Con base en los datos obtenidos de la estación meteorológica más cercana a la microcuenca (Juriquilla) la lluvia media anual es de 553.1 mm con temporada de lluvia de junio a septiembre, mientras que la evaporación anual es de 1,704.90 mm con lo que se comprueba el potencial estrés hídrico (CONAGUA, 2010). De acuerdo a la información de la carta de uso de suelo que tiene INEGI (1973a), en el área se tienen diversos tipos de uso de suelo y vegetación, sean cuerpos de agua, bancos de material, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, pastizal inducido, agricultura de temporal, matorral crasicaule, zonas urbanas y vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia.



*Figura 1. Ubicación de la microcuenca San José el Alto*

Fuente: Elaboración con información del INEGI (2015).

Respecto a la demografía, la extensión total de los asentamientos humanos equivale a 4.37 km<sup>2</sup>, los cuales concentran una población de 34,721 habitantes y con los siguientes rangos de edades, 29.4 % menores de 15 años, 65 % entre 15 y 64 años, 2.8 % mayores de 60 años, mientras que el 2.7 % tiene algún tipo de discapacidad o no son clasificables; la cual tiene actividades económicas tales como mano de obra en industrias, comerciales, hoteles, zonas residenciales como empleadas domésticas, construcción y agricultura.

La morfometría de la microcuenca San José el Alto, según la interpretación de Farbán, Urbina, Ferreira y Brandan (2010) y Córdova (2016), tiene una forma oval-oblonga, respuesta de moderada a rápida, esto es, evacuación rápida de escurrimientos, con un tiempo de concentración de 96.62 minutos. La pendiente media de la cuenca es de 11.139%, lo que

indica que tiene un relieve medianamente accidentado y, además, cuenta con una densidad de drenaje alta (Tabla 2).

Es importante mencionar que dentro de la microcuenca San José el Alto se encuentra una sección del 64.21% de Peña Colorada (CONANP, 2014), la cual es una zona que se encuentra en conflicto desde el 2014, para ser decretada como Área Natural Protegida (ANP). Al respecto, desde el 2014 se cuenta con un Estudio Previo Justificativo, donde se especifica que cuenta con 257 especies de plantas, de las que 6 se enlistan dentro de alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010, además de 171 especies de insectos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, de los cuales 10 se encuentran en la norma mencionada anteriormente. En cuanto a la situación jurídica de la tenencia de la tierra, Peña Colorada incluye propiedad ejidal y pequeña propiedad, los ejidos ubicados en la propuesta de ANP son: Jurica, San José Buena Vista, El Salitre, San Pablo, San Pedrito El Alto, Santa Rosa Jáuregui, Tierra Blanca, Chichimequillas y San Vicente Ferrer.

*Tabla 2. Morfometría de la microcuenca San José el Alto*

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
Área (km <sup>2</sup> )	58.100	-
Perímetro (km)	40.030	-
Longitud axial (km)	9.510	-
Factor de forma	0.744	Ensanchada
Coefficiente de compacidad	1.427	Oval – oblonga
Razón de alargamiento	0.973	Regiones llanas
Longitud del cauce principal (km)	12.982	-
Longitud total de cauces (km)	124.164	-
Orden de cauces	5	Alta
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	2.159	Intermedia
Pendiente media	11.14%	-

Fuente: Elaboración con información del INEGI (2015b).



Los motivos prioritarios por los cuales se busca decretar Peña Colorada como ANP se explican en el EPJ (CONANP, 2014): *“la recarga del recurso hídrico en el área de Peña Colorada permite el abastecimiento del acuífero; la disminución de la pérdida de suelo y escorrentía; reducción del riesgo por inundación en las partes bajas de la mancha urbana...”*.

A pesar de contar con un EPJ, se han presentado diversos conflictos alrededor de Peña Colorada, el 8 octubre de 2019 los ejidatarios, mediante el coordinador nacional de la Central Campesina Cardenista, solicitaba a las autoridades competentes una reunión para aclarar los términos de la ANP, pues de acuerdo con su opinión, los propietarios de la tierra, no conocen a quienes administrarían el área natural, además de recalcar que los ejidos están en contra del decreto pues no conocen los detalles del proyecto (Navarro, 2019). En días posteriores a esta noticia, se anunció que SEMARNAT estaba dando seguimiento al decreto de Peña Colorada, además, indicaba que se busca un esquema de conservación y de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, además de no tener una connotación expropiatoria (Payán, 2019).

En febrero del 2020, nuevamente se habló de Peña Colorada, pues el Cabildo de Querétaro autorizó un cambio de uso de suelo a habitacional, el cual presuntamente afecta la zona del ANP, a lo cual, Genaro Montes Díaz, secretario de Desarrollo Sostenible del Municipio de Querétaro, aseveró que el cambio de uso de suelo es viable, pues se encuentra a 1.3 km del polígono de Peña Colorada (Ruiz, 2020).

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En la presente investigación se desarrolló una estrategia mediante la cual se adaptaron áreas verdes con la finalidad de mitigar el riesgo de inundación en la periferia de la ciudad de Querétaro, especialmente en la microcuenca San José el Alto. Para lo cual se llevó a cabo un estudio tanto físico como social para analizar cuáles son los puntos con mayor susceptibilidad y aquellos que deben ser prioritarios.

En la metodología se contempló el manejo de información cualitativa y cuantitativa, pero sin perder de vista la cuenca hidrográfica con algunos de los subsistemas más representativos de la misma, como lo son: el social, económico, institucional, cultural, físico y biológico. Tomando como base los objetivos del presente trabajo, la metodología estuvo conformada por tres fases: I) Identificación de zonas de inundación; II) Determinación de escorrentía e identificación de áreas verdes prioritarias; y III) Diseño de una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca San José el Alto (Figura 2).

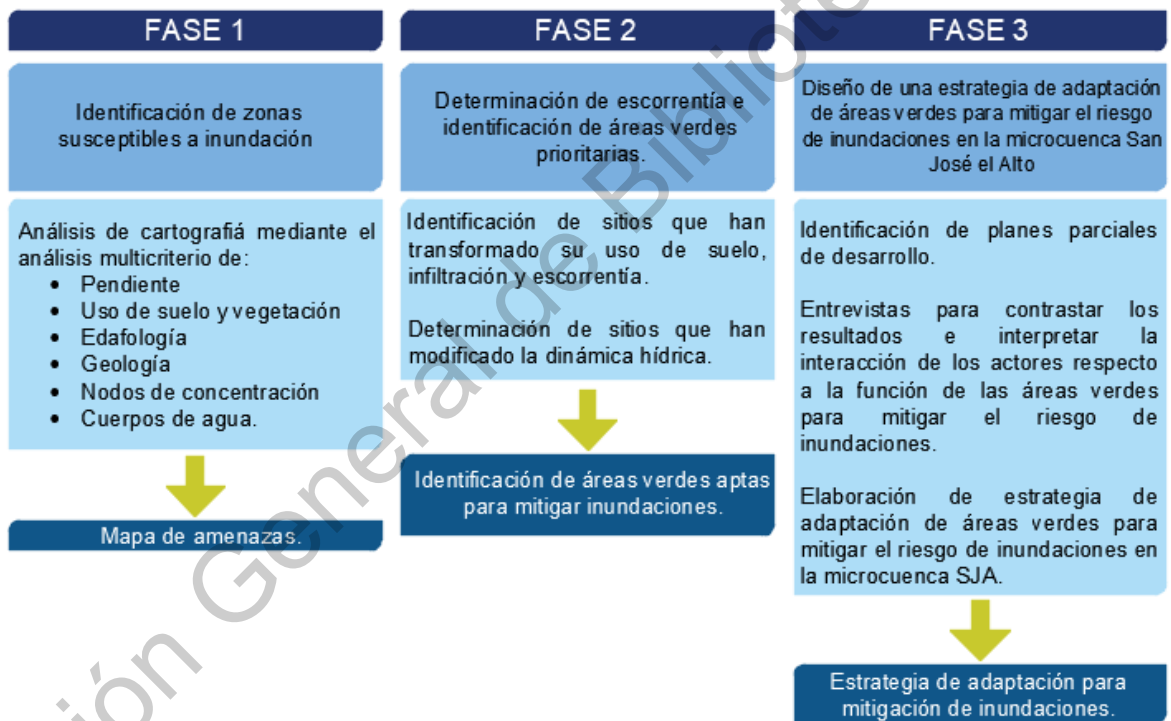


Figura 2. Diagrama del proceso metodológico

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1 Identificación de zonas susceptibles a inundación.**

En esta fase se identificaron las zonas susceptibles a inundaciones de la microcuenca San José el Alto, a partir del índice de vulnerabilidad biofísica (IVBF) construido con criterios ponderados del análisis multicriterio implementando Sistemas de Información Geográfica, para ello se utilizó y adaptó la técnica empleada por Hernández y Vieyra (2010).

Se llevó a cabo una evaluación multicriterio (EMC) pues *“puede ser considerada como el conjunto de técnicas que apoyan en el proceso de toma de decisión dentro de una amplia variedad de posibilidades”* (Gómez, Delgado y Barredo, 2006 citado en Buzai, 2015, p. 100) se empleó la metodología propuesta por Buzai (2015), los pasos para aplicar el modelo se detallan a continuación:

Creación de base de datos espacial: aplicado al uso de SIG, se generaron capas con información relevante para obtener el objetivo buscado. Para ello, se realizó la búsqueda de datos digitales en la carta topográfica de la zona norte del municipio de Querétaro con clave F14-C65, con escala 1:50 000 (INEGI, 2015b), de la cual se obtuvieron las curvas de nivel a cada 10 metros de la zona de estudio y se obtuvo el modelo digital de elevación para finalmente tener el grado de inclinación de las pendientes. Lo anterior se llevó a cabo empleando el programa de cómputo ArcGIS.

El resto de las capas se eligieron de acuerdo a la literatura consultada, López y Sánchez (2011 citados en Chávez, Binnquist y Salas, 2017, p. 98) menciona que *“las inundaciones están determinadas por el tipo y uso de suelo, cobertura, grado de inclinación de la pendiente, distancia a los cuerpos de agua y geología”*; las capas se obtuvieron de la base de datos del INEGI, las cuales fueron: edafología (INEGI, 2007) con escala 1:250000, uso de suelo y vegetación, pendiente (INEGI, 2013) con escala 1:250000 y cuerpos de agua (INEGI, 2015b) con escala 1:50000. Esta cartografía se complementó con los mapas de distancia de los nodos de concentración, la cual fue elaborada a partir de la metodología empleada por Peña (2017), donde se analizaron los escurrimientos naturales y la pendiente buscando los puntos de acumulación de agua; es decir, donde los órdenes de cauce fueron mayores y la pendiente menor, por lo que se creaban zonas de anegación que podrían provocar o aumentar riesgo de inundaciones.

Determinación de preferencias: Se relacionó cada factor con el objetivo a través del conocimiento teórico sobre la problemática. “*El procedimiento corresponde al proceso de toma de decisión mediante procesos de colaboración entre expertos*” (Buzai, 2015, p. 107). Para realizar el índice de susceptibilidad biofísica se emplearon criterios de la jerarquía afín al juicio de expertos como Chávez, Binnqüist y Salas (2017) de la pendiente, edafología, uso de suelo y vegetación, geología, distancia de cuerpos de agua y distancia de nodos de concentración. Cada uno de estos criterios se dividió en cinco distintas clases acorde al riesgo que representan para provocar inundaciones.

La inclinación de la pendiente se dividió de 0° a 6°, 6° a 15°, 15° a 25°, 25° a 35° y 35° a 42.59° (Tabla 3), la edafología se dividió en vertisol pélico, vertisol pélico con luvisol plántico, vertisol pélico con litosol y luvisol, vertisol pélico con litosol y podzol, litosol con vertisol pélico, zona urbana y litosol con phaeozem háplico, el uso de suelo y vegetación se dividió en zona urbana, matorral crasicaule, agrícola pecuaria forestal, pastizal inducido y selva baja caducifolia, en cuanto a la geología se definieron zona urbana, aluvial, basalto, andesita y toba ácida, finalmente los rangos para las distancias de los cuerpos de agua se empleó y distancia de nodos de concentración se emplearon las escalas que se muestran en la Tabla 3.

Aplicación de la regla de decisión y reclasificación de resultados: Se obtiene el valor de ponderación de cada uno de los factores. Empleando el programa de cómputo *Super Decisions*, se determinaron criterios e indicadores mediante matrices de comparación por pares de cada nivel de jerarquía, con base en el juicio de Chávez, Binnqüist y Salas (2017). En cada una de las matrices se tuvo inconsistencia menor al 0.10 con lo cual se obtuvieron los pesos relativos para cada una de las capas (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de vulnerabilidad biofísica y sus pesos relativos

CRITERIO	PESO RELATIVO	INDICADOR	PESO RELATIVO
PENDIENTE	0.23	0° - 6°	0.5157
		6° - 15°	0.2628
		15° -25°	0.1304
		25° - 35°	0.0503
		35° - 42.59°	0.0409
DISTANCIA DE NODOS DE CONCENTRACIÓN	0.10	0 - 96 metros	0.5128
		96 - 192 metros	0.2615
		192 - 288 metros	0.1290
		288 - 384 metros	0.0634
		384 - 480 metros	0.0333
USV	0.38	Zona Urbana	0.5157
		Matorral Crasicaule	0.2412
		Agrícola pecuaria forestal	0.1005
		Pastizal Inducido	0.1005
		Selva Baja Caducifolia	0.0422
EDAFOLOGÍA	0.14	Vertisol Pélico	0.2545
		Vertisol Pélico + Luvisol plíntico	0.2545
		Vertisol Pélico + litosol + luvisol	0.2545
		Vertisol Pélico + litosol / podzol	0.1197
		Litosol + vertisol pélico	0.0628
		Zona Urbana	0.0340
		Litosol + phaeozem háplico	0.0200
GEOLOGÍA	0.15	Zona urbana	0.5016
		Aluvial	0.2566
		Basalto	0.1058
		Andesita	0.1058
		Toba ácida	0.0302

Fuente: Elaboración con bases en Chávez, Binquíst y Salas (2017).

Esta misma metodología menciona que para llevar a cabo la ponderación de cada una de las capas analizadas se emplea la Ecuación (1):

$$A_i = \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde,  $A_i$  es la ponderación total de la suma lineal de las capas,  $p$  es la ponderación como proporción de cada factor y  $x$  el calor específico de cada clase de cada factor.

Empleando ArcGIS se asignaron los pesos relativos a cada una de las categorías de las capas, posterior a lo cual se convirtieron a formato ráster para correlacionarlas mediante álgebra de mapas, con lo cual se obtuvo el mapa de susceptibilidad a inundaciones de la microcuenca San José el Alto.

#### 4.1.1 Polígonos de Thiessen

Para determinar los polígonos de Thiessen, se llevó a cabo el procedimiento definido por Bateman (2007), para el cual es necesario definir las estaciones climatológicas más cercanas a la zona de estudio. Se definió el área de influencia de cada estación climatológica, para ello, todas las estaciones contiguas se conectaron mediante líneas rectas, de forma que se conformaran triángulos. Posteriormente, de cada una de las líneas se trazaron mediatrices perpendiculares, las cuales se prolongaron hasta que interceptaran con otras mediatrices. Finalmente, los polígonos que se trazaron con las mediatrices fueron las áreas de influencia de la estación que quede dentro.

Posteriormente, se empleó la Ecuación (2) para definir la precipitación de la microcuenca:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * A_i}{\sum A_i} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:  $P_i$  es la precipitación puntual de la estación  $i$ ,  $A_i$  es el área de influencia de la estación  $i$ .

## 4.2 Determinación de escorrentía e identificación de áreas verdes prioritarias

Se determinaron los caudales medio, coeficiente de escorrentía y módulo específico de acuerdo con las condiciones climáticas de la microcuenca para determinar la escorrentía; para llevarlo a cabo se empleó el procedimiento propuesto por Sandoval y Agüera (2014).

### 4.2.1 Tiempo de concentración

Se empleó el método de Kirpich (1940), el cual se basa en la Ecuación (3):

$$T_c = 0.000323 \left( \frac{L^{0.77}}{P_c^{0.385}} \right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde: L es la longitud del cauce principal en metros y P la pendiente del cauce principal.

### 4.2.2 Caudal de diseño

Este método supone que la precipitación es constante de intensidad y que cae homogéneamente sobre la microcuenca. Además, no considera el tiempo, ya que es un cálculo en régimen permanente y se calcula el caudal constante. Se calcula mediante la Ecuación (4):

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde C es el coeficiente de escurrimiento, I la intensidad en mm/h, A el área en km<sup>2</sup> y el 3.6 un factor de conversión de unidades.

### 4.2.3 Caudal con coeficiente de uniformidad

Se calculó a partir del Método Racional Modificado de Témez, el cual, tiene como condicionantes:  $0.25 < T_c < 24$  horas y  $1 < A < 3,000$  km<sup>2</sup>; para que el método aplique a cuencas de esas dimensiones agrega Coeficiente de Uniformidad, esto por la variabilidad

espacial de las precipitaciones en cuencas con área mayor a 1 km<sup>2</sup>, de tal forma que la fórmula modificada queda de la siguiente manera:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} * K \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$K = 1 + \frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25} + 14} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde C es el coeficiente de escurrimiento, I la intensidad en mm/h, A el área en km<sup>2</sup>, Tc el tiempo de concentración en horas y K el coeficiente de uniformidad, el cual es adimensional.

#### 4.2.4 Hidrograma Unitario Triangular

De acuerdo con la SIAPA (2014), Mockus desarrolló el método del hidrograma unitario triangular, como se muestra en la siguiente figura.

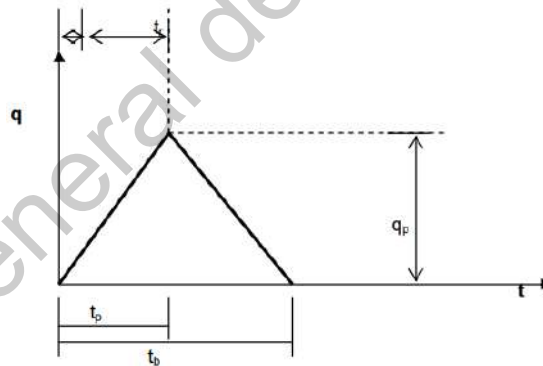


Figura 3. Hidrograma Unitario Triangular

Elaboración por SIAPA (2014)

Para el cálculo del gasto de una cuenca empleando tiempo de concentración y área de la misma. Menciona que se obtiene a partir de la Ecuación (7):

$$q_p = \frac{0.555A}{t_p} \quad \text{Ecuación (7)}$$



Dónde:  $q_p$  es el caudal pico en  $m^3/s/mm$ ,  $A$  el área de la cuenca en  $km^2$  y  $t_p$  el tiempo pico en horas.

Además, Mockus concluyó que el tiempo base y el tiempo pico se relacionan mediante la Ecuación (8):

$$t_b = 2.67t_p \quad \text{Ecuación (8)}$$

De la figura anterior, el tiempo pico se expresa como se muestra en la Ecuación (9):

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad \text{Ecuación (9)}$$

Dónde:  $t_p$  es el tiempo pico en horas,  $d_e$  la duración en exceso en horas y  $t_r$  el tiempo de retraso en horas.

El tiempo de retraso está en función del tiempo de concentración, pues es 0.6 del mismo, lo cual también ocurre para la duración en exceso, pues se puede calcular:

$$d_e = 2\sqrt{t_c} \quad \text{para cuencas grandes}$$

$$d_e = t_c \quad \text{para cuencas pequeñas}$$

De acuerdo a las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$q_p = \frac{0.208A}{t_p} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$t_b = \sqrt{t_c} + 0.6t_c \quad \text{Ecuación (11)}$$

#### 4.2.5 Balance hídrico

De acuerdo con Pladeyra (2003, citado en Ordoñez, 2012), el balance hídrico es la forma en que el agua se recibe y reparte, esto entre la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración; los cuales se relacionan mediante la Ecuación (12):

$$I = P - ETR - Q \quad \text{Ecuación (12)}$$

Infiltración (Recarga natural) = Precipitación – Evapotranspiración – Escurrimiento superficial.

Para el análisis de la precipitación y la temperatura se emplearon los datos proporcionados por CONAGUA (2018b) en la información de las estaciones climatológicas, se emplearon aquellas más cercanas a la microcuenca San José el Alto y las que tuvieran al menos 30 años de información: Juriquilla, Presa Jalpa, El Obraje, Ameche, ETA 128 Carrillo, Plantel 7, Nogales, El Zamorano, El Charape. Se consultó la información normal climatológica de cada estación para obtener los valores medios anuales; posterior a ello, se llevó a cabo una interpolación de los datos mediante el método IDW, obteniendo la temperatura y precipitación media anual para la microcuenca de estudio.

Respecto a la evapotranspiración, se analizó de acuerdo al método propuesto por Chow (1994), el cual consiste en una relación entre la temperatura y precipitación, mismas que se indican en la Ecuación (13) y la Ecuación (14):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde: P es la precipitación media anual en mm/año, T la temperatura media anual en °C.

Para calcular la evapotranspiración se requirió emplear álgebra de mapas con las capas vectoriales de la temperatura y precipitación media anual.

En cuanto al escurrimiento superficial se empleó el método propuesto por la UNESCO (2006), quien propone calcularlo mediante la Ecuación (15):

$$Q = Ce * P \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde: Ce es el coeficiente de escurrimiento y P la precipitación mensual.

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento, se consideró las características del uso de suelo y vegetación, para lo cual es necesario conocer el parámetro K, que se calculó de acuerdo a la Tabla 4.

Una vez que se cuenta con el coeficiente K para cada zona de la microcuenca se calculó un valor de K ponderado para obtener el K promedio de toda la zona de estudio; esto fue obteniendo una relación entre el área de cada coeficiente K y el área total; con lo anterior se obtuvo un valor de 0.288 para el coeficiente K promedio.

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos.
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable o bien arcillas

VALORES DE K			
Uso de suelo o cubierta vegetal	Textura de suelo		
	A (arena, 1)	B (limo, 2)	C (arcilla, 3)
<b>Cultivos:</b>			
En hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de praderas	0.24	0.27	0.30
Granos pequeños	0.24	0.27	0.30
<b>Pastizal (% de suelo cubierto/pastoreo):</b>			
Más del 75% / Poco	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75% / regular	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% / mucho	0.24	0.28	0.30
<b>Bosque:</b>			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26

VALORES DE K			
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
<b>Otros usos:</b>			
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30
Barbecho, áreas sin cultivo o desnudas	0.26	0.26	0.30
Cascos y zonas con edificaciones	0.26	0.29	0.32
Caminos (incluyendo derecho de vía)	0.27	0.30	0.33

Fuente: Martínez (2006).

Posteriormente, se empleó álgebra de mapas para calcular el coeficiente de escurrimiento de la microcuenca. Se emplearon dos fórmulas para calcular el Ce, la Ecuación (16) para cuando K es mayor que 0.15 y la Ecuación (17) para cuando es menor.

$$C_e = \frac{K(P - 250)}{2000} + \frac{K - 0.15}{1.5} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$C_e = \frac{K(P - 250)}{2000} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Donde P es la precipitación media. Cabe mencionar que este método es válido para precipitaciones medias anuales entre 350 y 2150 mm.

Finalmente, con la Ecuación (12 se calculó la infiltración mediante álgebra de mapas.

#### 4.2.6 Determinación de sitios que han modificado la dinámica hídrica

Empleando el software ArcGis (ESRI, 2013), se digitalizó el mapa de crecimiento de 1970-2018 del IMPLAN (2018a) y una imagen satelital de la condición urbana actual de la microcuenca San José el Alto Querétaro, para lo cual se siguió el método de Cortés, Cortés y Rodríguez (2015), el cual consiste en georreferenciar imágenes y digitalizarlas empleando Sistemas de Información Geográfica.

El análisis de calidad ambiental, función y distribución espacial de las áreas verdes es necesario para tener la certeza de cuáles son las prioritarias, mismo que se deriva de los métodos de Castro (2005) y Hernández (2015). Se analizó la superficie de áreas verdes en relación con la población de la microcuenca, además de la distancia que existe entre las mismas. Estos elementos serán correlacionados empleando álgebra de mapas de un SIG con el fin de determinar sitios prioritarios.

### **4.3 Diseño de una estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones en la microcuenca San José el Alto**

#### *4.3.1 Identificación de planes parciales de desarrollo*

Se empleó el método de Cortés, Cortés y Rodríguez (2015) para digitalizar los Planes Parciales de Desarrollo Urbano de las delegaciones que comprende la microcuenca San José el Alto: Epigmenio Gonzales, Santa Rosa Jáuregui y Félix Osores Sotomayor, así como el mapa de asentamientos irregulares y marginación del IMPLAN (2018b). Además, se corrigieron y digitalizaron los polígonos mediante análisis de imágenes satelitales, mismas que se obtuvieron de *Google Earth* (2021) y se elaboró la cartografía en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para tener una definición de su delimitación y georreferenciación, cabe mencionar que la digitalización sólo se llevó a cabo dentro de los límites de la microcuenca San José el Alto, además, se consideraron únicamente los polígonos de zona urbana, vialidades, cuerpo de agua, Peña Colorada, áreas verdes, asentamientos irregulares y zona industrial.

#### *4.3.2 Entrevistas para determinar zonas prioritarias para la adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones*

Se llevaron a cabo cinco entrevistas para la identificación de la percepción del riesgo a inundaciones en la microcuenca. Los entrevistados se seleccionaron con base en su experiencia y conocimiento sobre el tema de inundaciones en la microcuenca, por esa razón, fue necesario contar con la participación de un representante de la población afectada, servidores públicos y organizaciones civiles. Las entrevistas fueron aplicadas a actores clave seleccionados de acuerdo a su cargo y relación con la zona de estudio, los cuales fueron: presidenta de la asociación de colonos, un ejidatario, personal de protección civil, un trabajador de la delegación y un residente de la microcuenca.

El cuestionario de la entrevista se construyó con 20 preguntas abiertas (Anexo I). A partir de este instrumento se analizó la magnitud de los fenómenos, la recurrencia de los mismos,

el apoyo de autoridades antes, durante y después de las inundaciones, las medidas que toman los colonos para prevenir daños y, finalmente, se evaluó la posible aceptación de adaptar un área verde con el fin de mitigar las inundaciones.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Zonas susceptibles a inundación

La estación climatológica de Juriquilla (CONAGUA, 2018a), es la más cercana a la microcuenca al estar ubicada a 5.6 km, los datos obtenidos de la lluvia máxima anual en la zona demuestran que entre el 2007 y 2010 se presentó un incremento significativo de lluvia (*Figura 4*); se tiene un registro hasta el 2018 y, a excepción de ese último año, las precipitaciones desde el 2007 han sido mayores que los presentados en años anteriores; lo cual puede repercutir directamente en el incremento de inundaciones. Por estos datos y los históricos de la zona, se puede deducir que una lluvia de entre 40 y 60 mm son suficientes para causar inundaciones, sin embargo, aunque entre 2007 y 2010 se presentaron lluvias con mayor intensidad, en aquella ocasión se trataron de lluvias atípicas, las cuales no ocasionaron daños al presentarse un solo evento y no recurrentes como en 2013 y 2017.



*Figura 4. Lluvia máxima (mm) por año de la estación climatológica Juriquilla*

Fuente: Elaboración propia con datos de información de CONAGUA (2018a).



Respecto a los resultados de los polígonos de Thiessen (Figura 6), se puede apreciar que las estaciones climatológicas con influencia sobre la microcuenca son: Juriquilla, ETA 128 Carrillo y Plantel 7. Sin embargo, destaca la primera de ellas, pues tiene una influencia en el 80% de la zona de estudio por su cercanía con la zona de estudio.

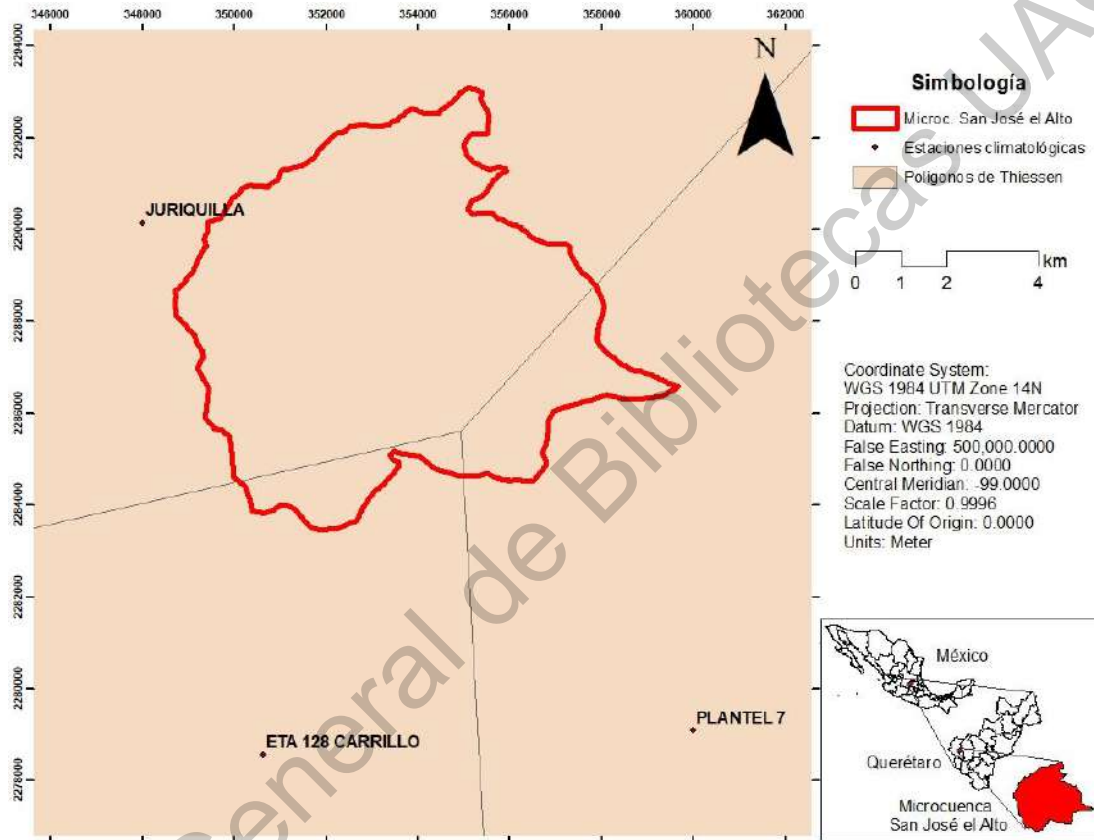


Figura 6. Polígonos de Thiessen de la microcuenca San José el Alto

Fuente: Elaboración con datos de CONAGUA (2018b).

Es importante recalcar que las estaciones Juriquilla y ETA 128 Carrillo tienen una precipitación media anual más elevada que Plantel 7 (Tabla 5), lo cual se relaciona directamente con las zonas susceptibles a inundación (Figura 7), pues estas zonas se encuentran situadas geográficamente en la colindancia de ambos polígonos de Thiessen. De forma que, para elaborar la estrategia de adaptación para la mitigación de inundaciones, es necesario considerar la magnitud de la precipitación en las zonas susceptibles, pues se trata de un factor constante.



Tabla 5. Precipitación media de la microcuenca San José el Alto

ESTACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA (km <sup>2</sup> )	PMA
JURIQUILLA	46.744	553.10
ETA 128 CARRILLO	7.152	559.20
PLANTEL 7	4.2006	515.50
<b>Precipitación media</b>		<b>551.132</b>

Fuente: Elaboración con datos de CONAGUA (2018b).

En cuanto a las zonas susceptibles a inundación de la microcuenca San José el Alto, cabe decir que se encuentran, principalmente, en la zona baja de la microcuenca (Figura 7), también es donde se ubican las colonias El Salitre y Jurica Pinar, las cuales han presentado inundaciones en años anteriores, las más catastróficas fueron en 2013 y 2017, eventos en los que se tuvieron pérdidas materiales y, desafortunadamente, humanas.

La susceptibilidad a inundación de la zona baja de la microcuenca puede deberse a la acumulación de ciertos factores, pues en esa zona es donde se tienen pendientes entre el 0% y 9.63%, mientras que la promedio de toda la microcuenca es de 11.139%, lo cual, está relacionado con el tiempo de concentración de la microcuenca, que es de 96.62 minutos. Lo anterior deriva que cuando se presenta una tormenta, rápidamente los escurrimientos se conducen hacia la zona baja de la microcuenca que, también es el punto de salida de todos los cauces, los cuales alcanzan un orden 5 de acuerdo con la clasificación de Horton que, además, coincide con tener un tipo de uso de suelo urbano, por lo mismo, al ser impermeable no permite infiltración y, por ende, se acumula agua superficial, es decir, se presentan inundaciones.

La superficie de la microcuenca San José el Alto es mayormente vegetal (53.92 km<sup>2</sup>), sin embargo, las inundaciones que se presentan son notorias debido a que los puntos susceptibles coinciden con las zonas urbanizadas (4.17 km<sup>2</sup>), es decir, donde se tienen presencia de población (Figura 7). Con base en la cartografía empleada, la sección urbanizada de la microcuenca coincide con la zona funcional baja (Figura 7), es decir, donde se tiene

susceptibilidad a inundaciones. Además, se puede deducir que las zonas funcionales de la microcuenca no brindan los servicios ecosistémicos de regulación y almacenamiento hídrico, al menos no como se esperaría de una zona con cobertura vegetal tan amplia, según lo que menciona Peña (2017: 3-4); la zona alta permite regular el volumen y la esorrentía de agua, la zona media asegura el almacenamiento hídrico, favoreciendo con esto que la zona baja de la cuenca reciba una corriente con menor velocidad y erosividad. Por lo tanto, para reducir el riesgo de inundaciones en la zona urbana de la microcuenca, es importante recuperar las funciones de las zonas media y alta, además, considerar que la parte con cobertura vegetal de la microcuenca se encuentra principalmente en estas zonas y si en condiciones naturales se están presentando inundaciones en la parte baja. Es crucial recuperar y mantener las funciones de la microcuenca de forma que se logre mitigar las inundaciones en la zona urbana.

La falta de regulación del volumen en la zona alta puede deberse a las pendientes que se presentan (promedio de 42 %), ya que favorecen al rápido escurrimiento y perjudica directamente a la infiltración hídrica, además, la edafología en esa zona tampoco es favorable para la percolación, debido a que predomina el vertisol, es decir, arcilla expansiva, las cuales se consideran prácticamente impermeables. En cuanto a la zona media, el almacenamiento hídrico tampoco se puede llevar a cabo favorablemente, si bien, la pendiente es favorable (entre 9.62 % y 18.91 %), en cuanto a la edafología, se presenta litosol, es decir, un tipo de suelo pedregoso, lo que favorece la percolación, lo que, al tener los escurrimientos de la zona alta y ser una cuenca de respuesta rápida, no es suficiente la vegetación en la zona para captar el total de los escurrimientos.

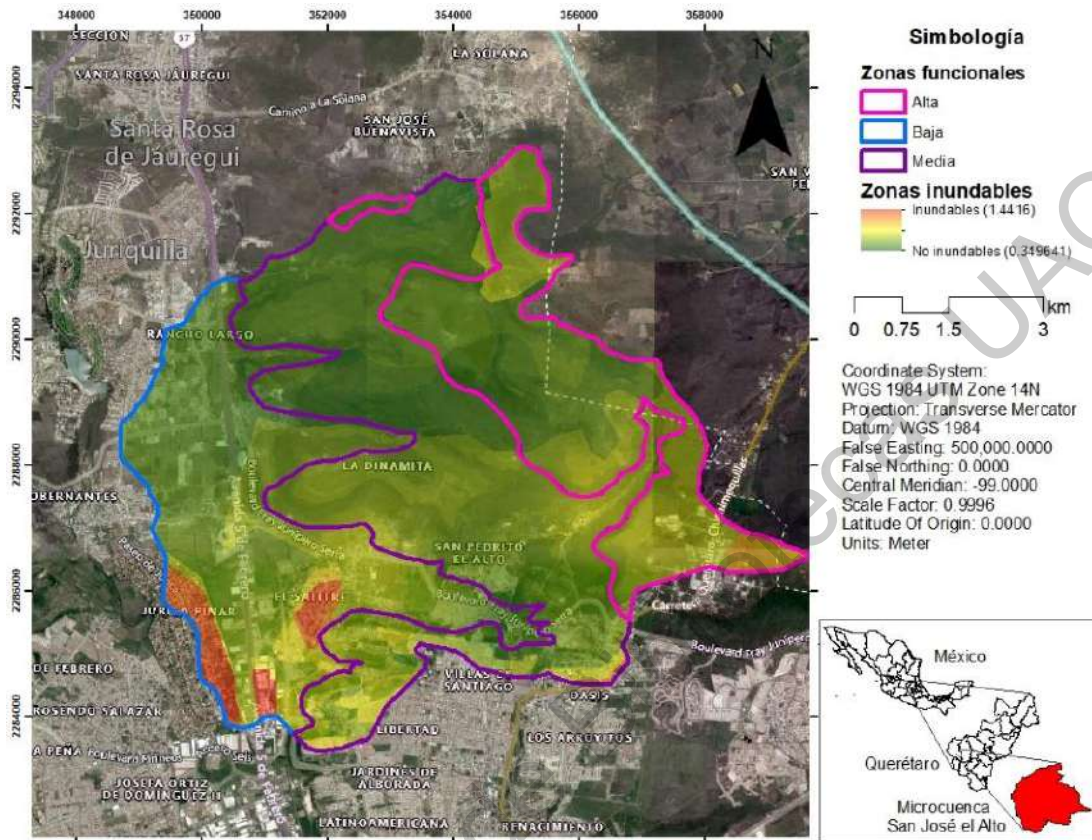


Figura 7. Zonas susceptibles a inundaciones en la microcuenca San José el Alto

Fuente: Elaboración a partir del método de Buzai (2015).

Por lo anterior, en la zona baja, aunque se presentan menores velocidades debido a la pendiente (entre 0% y 9.63%), es que se presentan inundaciones al no tener un sistema de retención o infraestructura pluvial para captar los escurrimientos de las partes alta y media de la microcuenca. Debido a ello, la zona media y zona baja son las más aptas para llevar a cabo una adaptación de área verde, pues si bien, la zona media no presenta actualmente las condiciones necesarias para la mitigación de inundaciones, el tipo de suelo presente en esta área es favorable para la percolación, por lo que además de mitigar los escurrimientos que lleguen a la zona baja, permitiría la recarga de mantos acuíferos de la microcuenca. En cuanto a la zona baja, sus pendientes son las más favorables para reducir la velocidad de los escurrimientos, lo cual permitiría realizar obras de captación para aumentar el tiempo de respuesta que se pudiera tener en la zona urbana.

Se entiende la necesidad de implementar estrategias para mitigar inundaciones en la microcuenca San José el Alto, especialmente involucrando áreas verdes y que estén directamente relacionadas con la planeación urbana de la zona pues, aunque la zona con cobertura vegetal es de aproximadamente el 93% de la microcuenca, las áreas susceptibles a inundación se están presentando en la zona urbana, por ello es que la estrategia debe considerar aportar hacia la captación y regulación de escurrimientos aguas arriba de la mancha urbana, de forma que la zona baja de la microcuenca reciba menor aportación pluvial que provoquen inundaciones. Por lo anterior, se entiende la necesidad de trabajar bajo el enfoque de cuencas la estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones, pues si bien, los daños se presentan especialmente en la zona baja, misma que coincide con la zona urbana, también se puede apreciar que el problema proviene de aguas arriba, por lo que se debe buscar mejorar o recuperar la captación y regulación hídrica en la zona alta y media de la microcuenca.

## **5.2 Determinación de escorrentía e identificación de áreas verdes prioritarias**

### *5.2.1 Tiempo de concentración*

Si bien, la pendiente del cauce principal es relativamente baja, se puede apreciar que, de acuerdo con el tiempo de concentración (Tabla 6), la microcuenca es de respuesta rápida, lo cual es un factor que aporta hacia las inundaciones que se presentan en la zona de estudio, pues como se analizó en el apartado de zonas susceptibles a inundación, el tipo de suelo no es totalmente favorable para la infiltración, a lo cual también le resta el tiempo de respuesta de la microcuenca, pues, en el caso de aumentar el tiempo de respuesta de la microcuenca, es decir, contar con un tiempo de concentración más amplio se podrían regular los escurrimientos aguas arriba de forma que se mitiguen las inundaciones en la mancha urbana al disminuir el gasto que aportará. Sin embargo, en condiciones actuales se puede concluir que es necesario realizar obras de control para evitar que los escurrimientos lleguen tan rápido a la zona baja de la microcuenca, donde se encuentra la zona urbana, los cuales deberán llevarse a cabo en la zona media de la microcuenca.

Tabla 6. Tiempo de concentración

Longitud del cauce principal	12.982	km
Pendiente del cauce principal	4.19%	
Tc (Kirpich)	1.610	horas
	96.622	minutos

### 5.2.2 Caudal de diseño, caudal con coeficiente de uniformidad e hidrograma unitario triangular.

Los caudales de la microcuenca son un punto importante a considerar para el diseño de la estrategia de mitigación, pues este es el volumen de escurrimientos que podría presentarse en determinado momento en la microcuenca, por lo que la obra a diseñar cuenta con la capacidad necesaria para controlar el caudal de diseño, que en este caso es de 59.695 m<sup>3</sup>/s, cabe mencionar que varía entre 5 y 7 m<sup>3</sup>/s con el coeficiente de uniformidad y el hidrograma unitario triangular (66.541 m<sup>3</sup>/s y 53.95 m<sup>3</sup>/s, respetivamente), debido a los factores considerados para cada una de las distintas ecuaciones; además, habrá que considerar la edafología y el uso de suelo y vegetación de la microcuenca, para conocer el punto óptimo en el cual se podría regular los escurrimientos y al mismo tiempo, favorecer la infiltración, con lo que se aportaría hacia un punto de percolación, mitigando también el daño que se ha hecho al impermeabilizar la zona con el crecimiento de la zona urbana.

### 5.2.3 Balance hídrico

De acuerdo al análisis sobre los factores climáticos de la microcuenca (Figura 8), la precipitación es mayor hacia el Oeste, lo cual es acorde a los resultados de la evapotranspiración, pues es en ese mismo sentido donde se está presentando un mayor valor (682.78 mm/año). En cuanto a la temperatura, los valores son acorde a la literatura, pues como se mencionó anteriormente, en las zonas periurbanas suele ser menor entre 3° y 4° C que en la mancha urbana, en este caso se presenta una diferencia de 1° C aproximadamente. Sin embargo, esto se debe a que el análisis se está realizando únicamente para una de las

zonas periurbanas de la ciudad, donde se puede ver que la temperatura disminuye hacia el norte, que es donde se presenta la zona con cobertura vegetal, con lo cual se puede deducir que en las zonas funcionales alta y media se cuenta con el servicio ecosistémico de regulación de temperatura.

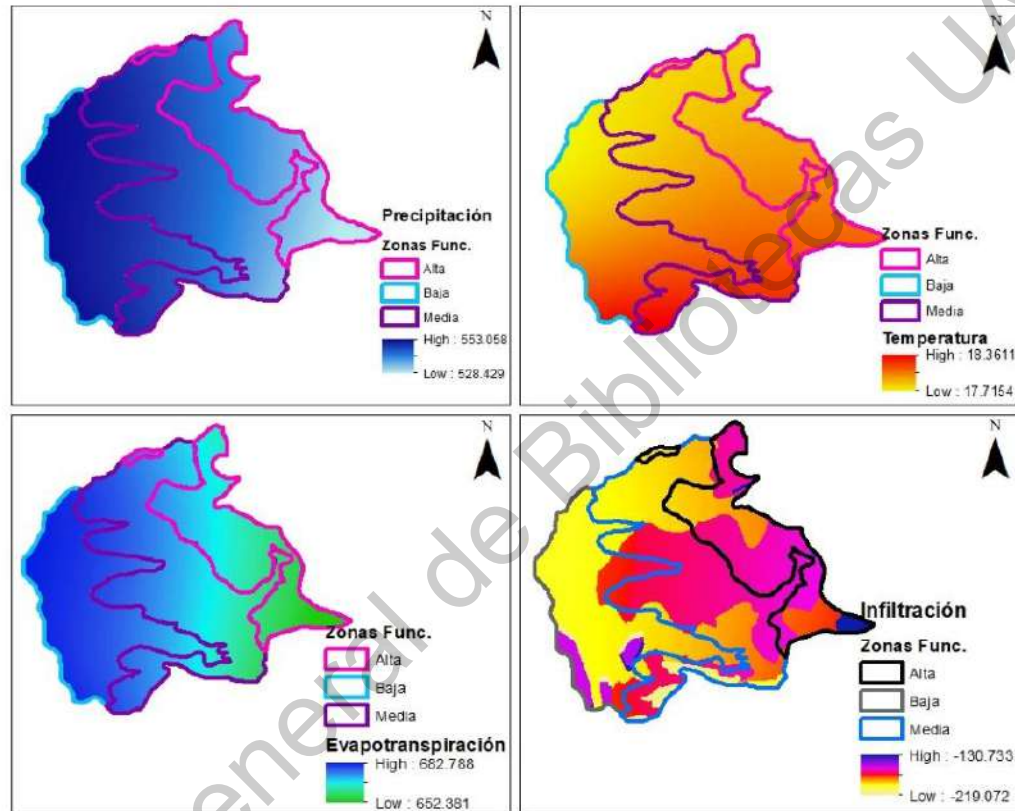


Figura 8. Factores climáticos e Infiltración

Fuente: Elaboración con datos de la CONAGUA (2018b).

En cuanto a la infiltración, se puede observar que la microcuenca presenta problemas, principalmente en zonas donde se tienen asentamientos urbanos, lo cual, se debe principalmente a la impermeabilización que resulta del cambio de uso de suelo de vegetal a urbano, pues de acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación de 1973 (INEGI, 1973b) el tipo de suelo previo a la urbanización de la microcuenca se tenía agricultura de temporal permanente, oyamel, matorral subinerme, matorral inerme, cardonal y nopalera, esto en la zona que hoy tiene uso urbano. Mientras que en la zona donde se tiene cobertura vegetal es

donde se está permitiendo infiltración, lo que podría contener gran parte de los escurrimientos, previniendo que estos lleguen a la zona urbana y se incremente el riesgo por inundaciones.

#### 5.2.4 Determinación de sitios que han modificado la dinámica hídrica

El área urbana de Querétaro ha presentado un incremento desde la década de 1970 (Figura 9), específicamente en la microcuenca San José el Alto, se nota que el crecimiento ha sido reciente, especialmente en los últimos veintiún años (2000 al 2021). Es importante notar que este crecimiento está relacionado directamente con la pérdida de áreas verdes que ha tenido en la zona, lo cual es otro factor detonante en la creación de nuevos puntos de inundación o el incremento de la magnitud de estos eventos. Cabe señalar que, en el mismo periodo del crecimiento físico de la zona, también se han presentado inundaciones con mayor frecuencia y peligrosidad en la microcuenca.

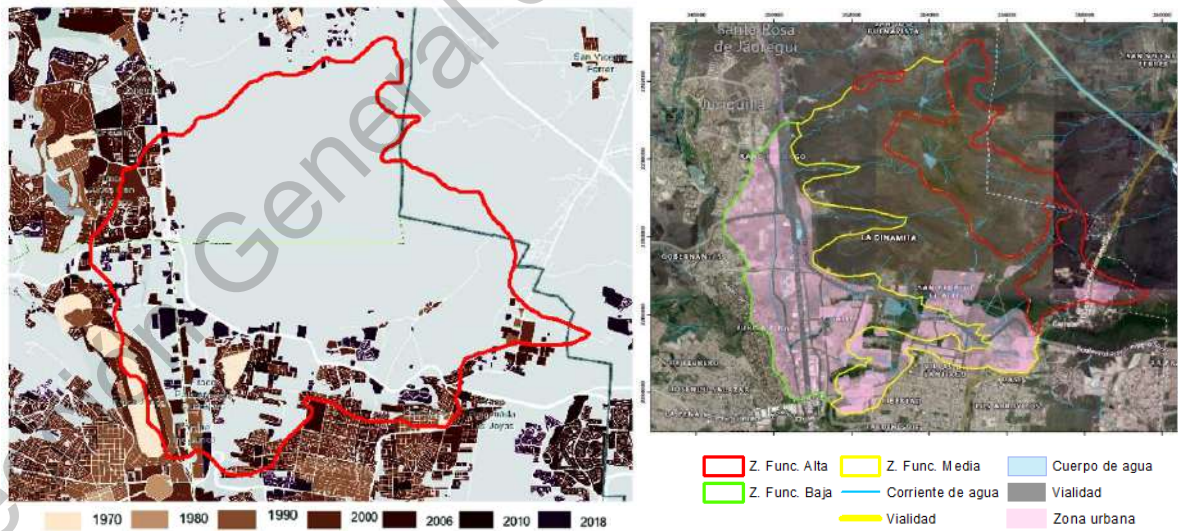


Figura 9. Fracción del mapa de crecimiento del área urbana 1970 – 2018

Fuente: Modificación con datos de IMPLAN (2018a) y Censos Generales de Población y Viviendas en los años 2000 y 2010.

Además, por la lotificación de los nuevos desarrollos se podría decir que carece de orden urbano, pues las calles y vialidades principales no tienen estructura óptima para la conducción de escurrimientos o el espacio para la implementación de infraestructura pluvial que pudiera permitirlo. Además, los nuevos puntos urbanizados no se concentran en un solo lugar o una misma dirección, también ocasionado por los asentamientos irregulares que se presentan en la zona, al no seguir el crecimiento planeado por las autoridades, no se están respetando los espacios considerados como áreas verdes, lo que disminuye la capacidad de la microcuenca de regular escurrimientos y mitigar inundaciones.

Otro factor a considerar en cuanto a la calidad de la planeación de desarrollo en la zona, es la dificultad para obtener infraestructura pluvial como bordos, canales y obras de regulación, especialmente haciendo referencia a las inundaciones, ya que por la diversidad de puntos de asentamientos y, al ser parte de la periferia urbana, en caso de no llevar a cabo ninguna estrategia de mitigación, será necesario mayor tiempo e inversión pública para proveer de infraestructura pluvial para la mitigación de inundaciones.

Es importante señalar el nivel de inversión económica que se requiere para la implementación de infraestructura pluvial. De acuerdo con el reporte de gobierno del Municipio de Querétaro (2016), se invirtieron \$35,074,671.11 en infraestructura de agua potable, drenaje sanitario y drenaje pluvial en el 2016, sin embargo, esto sólo equivale al 11% del presupuesto del Municipio. Además, en el 2017, de acuerdo con RRNoticias (2017), se invirtieron 5 millones de pesos en el desazolve del bordo El Salitre. Al respecto, el entonces Secretario de Obras Públicas Hiram Villeda señaló, *“el bordo tiene capacidad de 700 m<sup>3</sup>, pero se ha visto reducida al 15%, es decir, sólo 105 m<sup>3</sup> por el azolve”*. Además, estas obras se llevaron a cabo entre marzo y abril, sin embargo, en la temporada de lluvias de ese mismo año se presentó una de las inundaciones con mayores afectaciones que se han tenido en la zona de estudio.

Por lo anterior, se entiende la necesidad de implementar medidas de mitigación de inundación que ayuden a recuperar las funciones de regulación de escurrimientos de la microcuenca que, además, los habitantes conozcan su funcionamiento y comprendan los servicios ambientales que brinda. Asimismo, se apoyaría en hacer conciencia sobre los



riesgos de continuar desarrollando sin planeación en la zona y aportando hacia la conservación de áreas verdes las cuales, además de contribuir con las inundaciones, también serían favorables para el paisajismo de la ciudad.

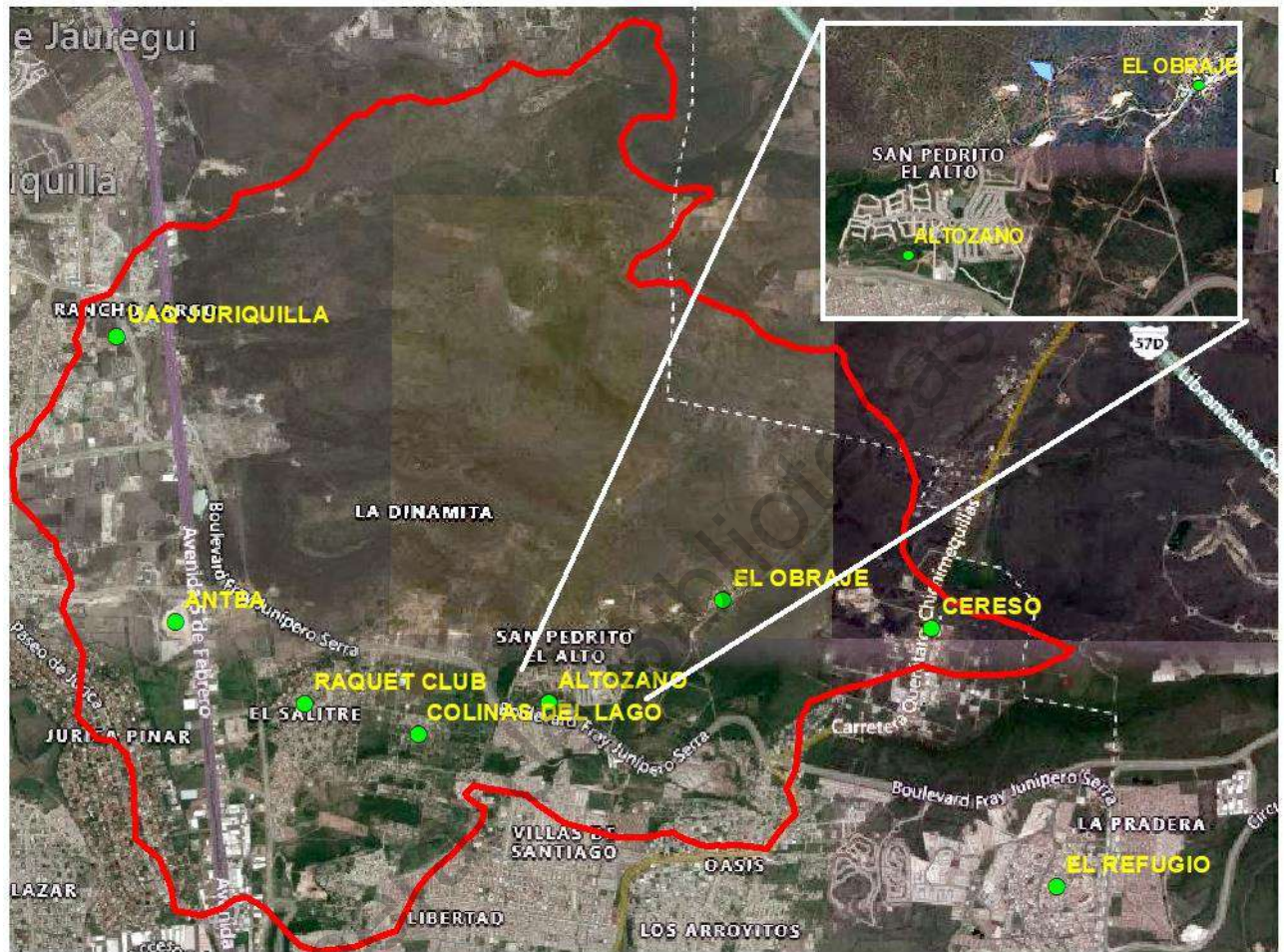
Con base en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), al tener 34,721 habitantes en la microcuenca y considerando 16 m<sup>2</sup> de área verde por cada uno, se deberían tener 55.55 Ha/AV/hab, en ese caso los planes parciales de desarrollo urbano cuentan con 56.90 Ha/AV/hab, por lo cual, al norte de la ciudad, sin contemplar el área destinada para preservación ecológica, cumple con los índices de calidad ambiental recomendados, hasta el momento, por lo que se tiene que analizar la distribución, cantidad y calidad de estos espacios respecto al crecimiento urbano futuro que tendrá la microcuenca y, por ende, los cambios de uso de suelo que se presentarán en la zona, esto acorde a los planes parciales de desarrollo. Respecto a la distribución espacial de las áreas verdes, se puede apreciar que al Oeste de la microcuenca disminuye considerablemente (Figura 10), pues sólo se tienen 5.95 Ha/AV/hab, es decir, 10.46 %, mientras que el resto de las áreas verdes se concentran en la parte sur, lo cual favorece para los fines de la presente investigación, pues coincide con las zonas susceptibles a inundación.

### **5.3 Entrevistas para determinar zonas prioritarias para la adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones**

#### *5.3.1 Identificación de planes parciales de desarrollo.*

Analizando los Planes Parciales de Desarrollo Urbano (PPDU) de las delegaciones Epigmenio González, Félix Osoreo Sotomayor y Santa Rosa Jáuregui, así como la infraestructura existente en la microcuenca San José el Alto (Figura 10), se puede apreciar que el crecimiento urbano se presenta acorde a lo considerado por el Municipio de Querétaro. Sin embargo, se tienen alteraciones que modifican la dinámica hídrica de la microcuenca, por ejemplo, en el desarrollo Altozano, de acuerdo con el PPDU de la Delegación Epigmenio González (Figura 11) se tenían contemplados seis cuerpos de agua, tres de los cuales deberían

encontrarse dentro del desarrollo, no obstante, en imágenes satelitales (



### SIMBOLOGÍA

- Puntos de referencia
- Cuerpo de agua
- Mic. San José el Alto

Figura 12) se contempla la existencia solo un cuerpo de agua ubicado al norte de Altozano, cabe mencionar que aún no se tiene desarrollado el predio en su totalidad.

En la zona media de la microcuenca, la cual se contempla como “preservación ecológica”, también se presentan asentamientos como El Obraje, los cuales no están considerados en los PPDU. Respecto a la parte baja de la microcuenca, de acuerdo con la información del IMPLAN (2018b), se puede apreciar que se cuenta con asentamientos irregulares en un área categorizada como “preservación ecológica” y que, además, es aledaña al cuerpo de agua conocido como *Presa El Salitre*.

Las modificaciones que ha tenido la microcuenca San José el Alto permiten identificar diversos factores que propician inundaciones, las más significativas son la desaparición de cuerpos de agua derivados del crecimiento urbano, lo que se presentó el desarrollo Altozano, cabe mencionar que esto repercute directamente en la disminución de la capacidad de regulación hídrica de la microcuenca, por lo que los escurrimientos al no lograr contenerse en estos cuerpos de agua, deben seguir hacia aguas abajo, es decir, el bordo que se encuentra al este de la colonia *Raquet Club*, donde existe otro factor detonante de inundaciones, pues el asentamiento irregular denominado *Colinas del Lago* está ubicado dentro de la zona de inundación del mismo, por lo que fácilmente es inundable en temporada de lluvias.

Si bien, algunos de los asentamientos irregulares se encuentran en zonas proyectadas para el crecimiento urbano, al no estar legalmente constituidas, no se les garantizan servicios como la infraestructura pluvial para mitigar inundaciones, lo que aporta al crecimiento de factores de inundación que se tienen en la microcuenca San José el Alto.

De acuerdo con la dinámica de desarrollo urbano que está teniendo la microcuenca San José el Alto, se puede apreciar que esta se concentra principalmente en la zona funcional baja, lo cual coincide con el área susceptible a inundación. Por otro lado, también se puede concluir que este crecimiento está involucrado directamente con la formación de nuevos puntos de inundación que se está presentando, especialmente en años recientes (2013 a la fecha). Si bien, los planes parciales de desarrollo urbano con los que cuenta el Municipio de Querétaro, consideran los riesgos de inundación y, es por ello, que decreta ciertas zonas como “preservación ecológica”. Actualmente el crecimiento real que se está teniendo en la microcuenca ha superado el proyectado en estos planes, por lo que se entiende la necesidad de implementar estrategias de mitigación de inundaciones.

El balance hídrico indicó que la zona funcional media de la microcuenca es la que cuenta con mayor capacidad de infiltración, la cual también se caracteriza por contar con cobertura vegetal, además, en este punto solía encontrarse el cuerpo de agua que desapareció al construirse el desarrollo *Altozano*, por lo mismo, la topografía del lugar podría conducir los escurrimientos de manera natural hacia esta zona, lo que brinda las características

adecuadas para llevar a cabo la adaptación de un área verde que pueda regular los escurrimientos que llegan a la parte baja, por lo que se mitigarían las inundaciones en la zona urbana de la microcuenca.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

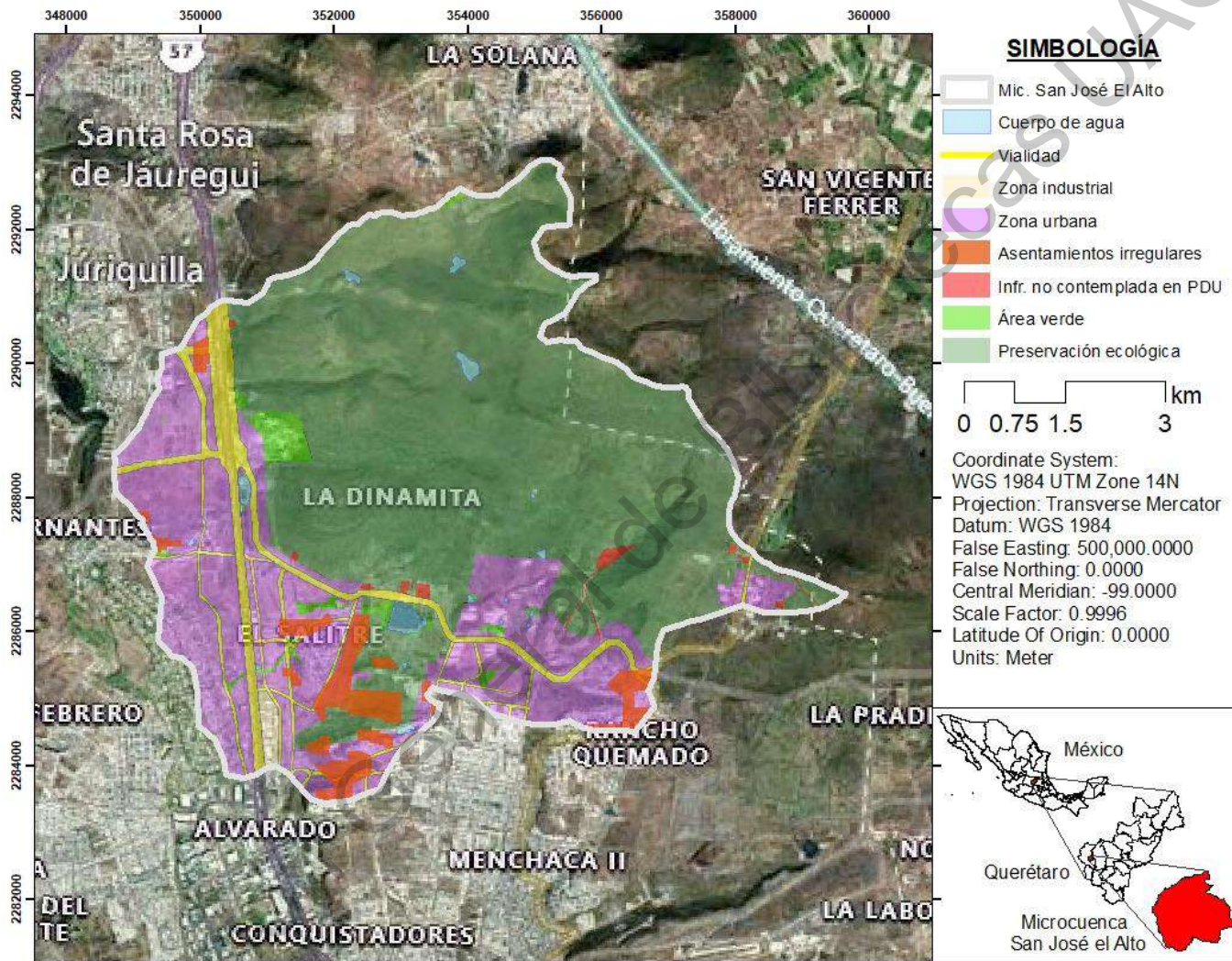


Figura 10. Planes parciales de desarrollo urbano de la microcuenca San José el Alto y asentamientos Irregulares

Fuente: Elaboración con datos del IMPLAN (2018b) y Municipio de Querétaro (2018a, 2018b y 2018c).

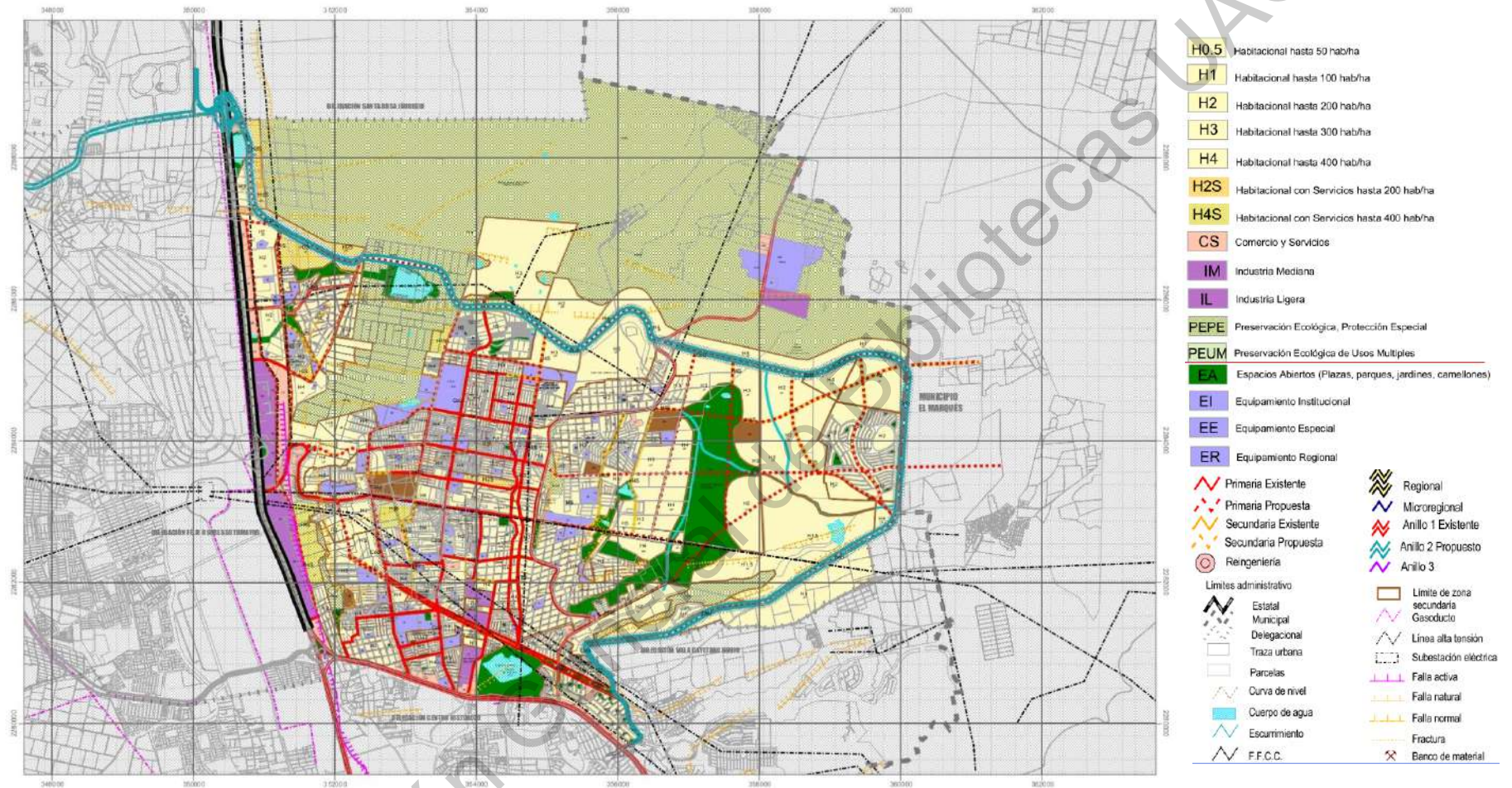
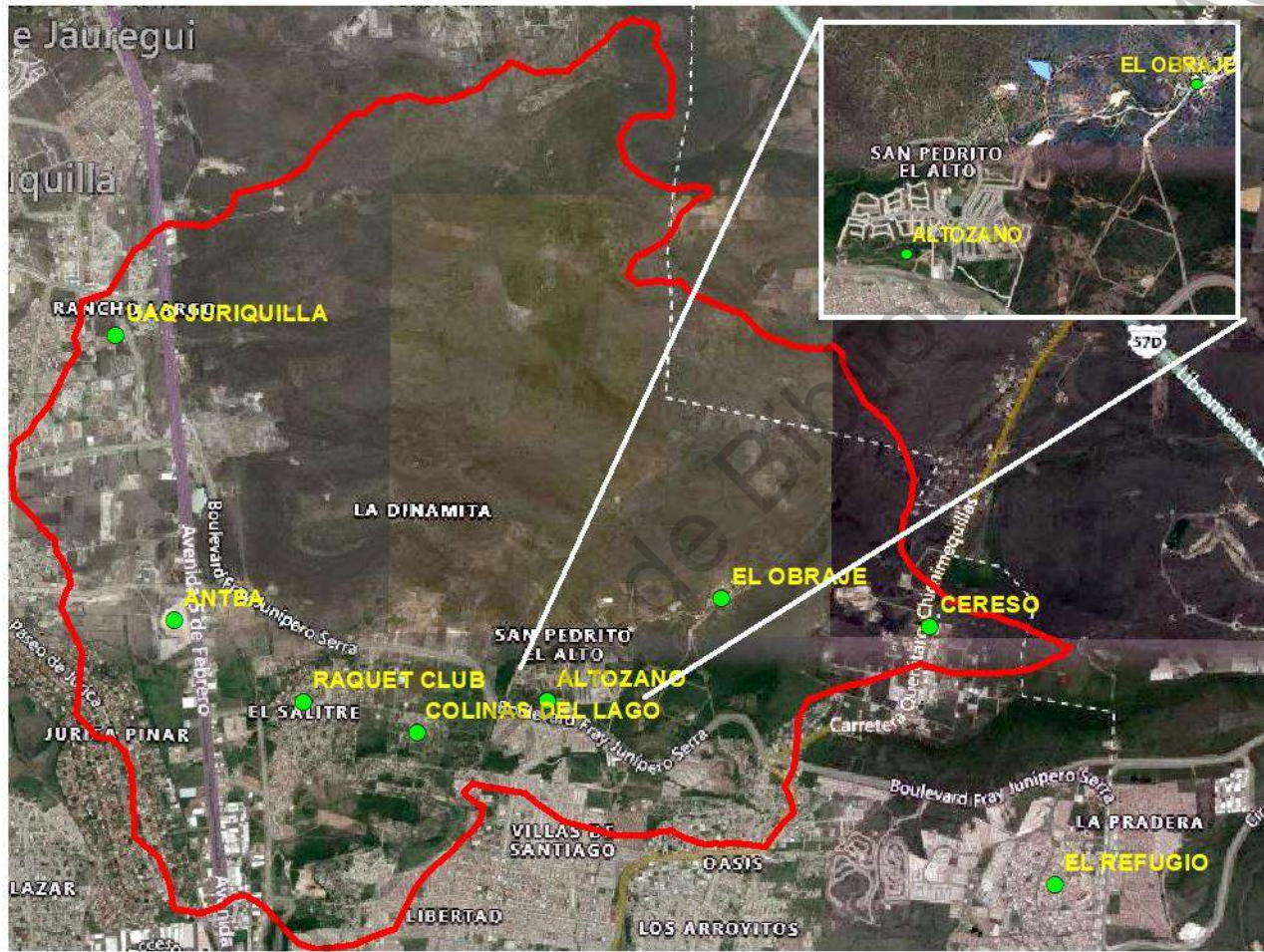



Figura 11. Plan parcial de desarrollo de la delegación Epigmenio González (Municipio de Querétaro, 2018a)



**SIMBOLOGÍA**

• Puntos de referencia

 Cuerpo de agua


 Mic. San José el Alto

Figura 12. Imagen satelital de la microcuenca San José el Alto (Google, 2021)

### 5.3.2 Entrevistas para contrastar los resultados e interpretar la interacción de los actores respecto a la función de las áreas verdes para mitigar el riesgo de inundaciones.

#### 5.3.2.1 Entrevista a presidenta de la asociación de colonos de Jurica

De acuerdo con la entrevista proporcionada por la presidenta de la asociación de colonos de Jurica, se entiende que ellos están conscientes del riesgo de inundaciones en el que se encuentran, así como de la dinámica hídrica de la microcuenca en la que residen. Ellos consideran que el principal detonante de las inundaciones es la impermeabilización que conlleva los cambios de uso de suelo que se han presentado en la zona, pues de acuerdo con ella *“los cambios de uso de suelo en la zona, además de los cambios en los cauces naturales repercuten directamente con la formación de inundaciones”*. Estos eventos han llevado a pérdidas materiales como en el 2003, año en el que se recuerda la pérdida total de los muebles, vehículos y pertenencias de la planta baja de una vivienda, pues la inundación alcanzó 1.80 metros de altura.

Menciona que una de las residentes presenta daños emocionales en cada lluvia, pues aunque no se recuerda el año del suceso, en una temporada de lluvia se inundó su vivienda, al encontrarse sola, esa vecina recientemente había enviudado y se le había diagnosticado cáncer, y al no tener escaleras hacia la azotea no pudo subir como la mayoría de los vecinos, por lo que únicamente alcanzó a subirse a la barda de su predio, lugar donde quedó atrapada por horas, en esa ocasión la inundación se debió a un colchón que se encontraba en el canal aledaño a su vivienda bloqueó el cauce, por lo que el nivel de inundación no disminuía, a partir de este evento, en cada lluvia y sin importar la intensidad, se comunica inmediatamente con la asociación de colonos para preguntar sobre el estatus de las presas y canales, saber si es seguro quedarse en su residencia e informarse sobre las medidas que se están llevando a cabo para mitigar el riesgo de inundaciones.

En cuanto al apoyo gubernamental, los residentes mencionan que no se cuenta realmente con apoyo económico por parte de las autoridades, en las inundaciones del 2003 únicamente se les otorgó unos cuantos vales efectivos para una mueblería cuyo nombre no recuerda la presidenta de la asociación de colonos, sin embargo, el apoyo que se ha tenido se



ha logrado mediante la gestión particular y la colaboración entre colonos, esto al tener comunicación constante con el Municipio y protección civil. En una ocasión, incluso, se lograron obras pluviales para la colonia, mismas que fueron valuadas en 500 millones de pesos, los cuales incluían colectores y canales.

Los colonos cuentan con diversas técnicas de mitigación de daños por inundaciones, han optado por eliminar los sótanos de las viviendas y adquirir seguros contra fenómenos hidrometeorológicos, pues están conscientes del riesgo en el que se encuentran. Además, tienen un sistema estructurado para monitorear el nivel de riesgo en el que se encuentran en época de lluvias, para lo cual solicitan a la delegación Félix Osoreo información sobre los niveles de agua de las presas aguas arriba, especialmente El Arenal. También utilizan las redes sociales como medio de apoyo para monitorear las inundaciones e informar sobre posibles problemas, por ejemplo, basura en los canales o drenes, esto a través de grupos de *WhatsApp* y *Facebook*, plataformas a través de las cuales los vecinos informan si han sufrido inundaciones, si los niveles de agua comienzan a subir o si los cauces se encuentran bloqueados por basura, de forma que se puedan llevar a cabo acciones que mitiguen lo mejor posible las inundaciones.

Debido a la historia que tienen aunada a las inundaciones en esta zona de la microcuenca, entienden y aceptarían la necesidad de implementar alguna obra de mitigación. Con la finalidad de solicitar la opinión acerca del punto óptimo para llevar a cabo esta adaptación, se mostró un mapa de la microcuenca con una retícula, en el cual se solicitó identificara donde se podría llevar a cabo esta obra, para lo cual, ellos mismos proponen que sea en la zona media de la microcuenca, menciona que la mejor área para establecer una obra para mitigar los escurrimientos que llegan a la parte baja de la microcuenca sería en el renglón 6, columnas E y F (Figura 13), pues debido a la experiencia que tienen saben que los escurrimientos se conducen directamente hacia esta zona y que es mejor contenerlos aguas arriba de la mancha urbana.

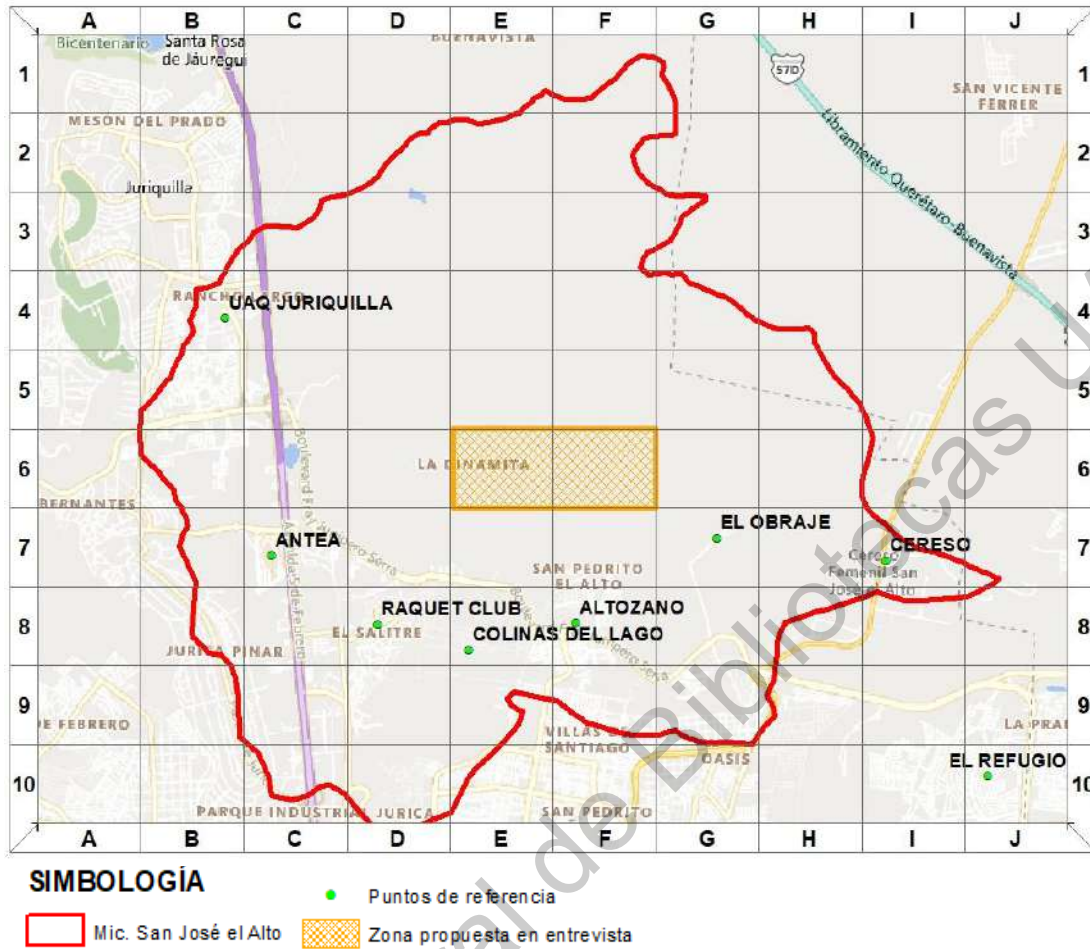


Figura 13. Mapa resultante de la entrevista a la asociación de colonos de la microcuenca San José el Alto

### 5.3.2.2 Entrevista a ejidatario de San Vicente Ferrer

Durante la entrevista a un ejidatario de San Vicente Ferrer, expresa su deseo de permanecer en el anonimato, esto debido a la disputa que se tiene entre las entidades gubernamentales y el ejido respecto a Peña Colorada. En la entrevista asegura ser al menos la tercera generación de su familia que radica en la zona, por lo que tiene conocimiento amplio del ejido.

En cuanto a la percepción del ejidatario, no sabía lo que era una microcuenca, sin embargo, una vez que se le explicó estuvo de acuerdo en que las inundaciones se tienen que gestionar desde el enfoque de cuencas pues “*el agua siempre va a reconocer las pendientes*”

*que tienen los cerros”* y con la definición que se le dio de microcuenca afirma: *“entonces, si se entiende eso, se entiende que las inundaciones se pueden prevenir analizando toda la zona, toda la cuenca”*. En cuanto a las inundaciones que se presentan en la microcuenca San José el Alto, asegura que al ejido San Vicente Ferrer no le perjudican tanto como a la zona urbana, pues sus terrenos se encuentran en la zona alta, sin embargo, él ha estado relacionado con la microcuenca por más de cuatro décadas y considera que la causa de las inundaciones es porque los asentamientos humanos se encuentran en una zona topográficamente baja, además, varios de ellos también aledaños a los arroyos y zonas de escurrimiento de la parte alta de la microcuenca.

Recuerda una inundación en el 2004, donde tuvo tal magnitud que se tuvieron pérdidas en la zona donde se tenían sembradíos o animales de pastoreo, principalmente bovinos. En ciertas zonas la lámina de agua alcanzó los dos metros de altura, también se presentaron afectaciones en viviendas y aunque estas se encuentran fuera del polígono de la microcuenca San José el Alto, menciona que varias familias perdieron por completo sus viviendas al inundarse, principalmente las que se encuentran aledañas al canal. En esa ocasión, tanto en la comunidad como en los sembradíos acudió protección civil, a lo cual señaló, *“vino protección civil, pero de entrada por salida, no hicieron, ni nos dijeron nada, ellos vinieron, pero nadie más hizo nada, los daños los pagamos nosotros, nadie nos ayudó”*.

Posteriormente, se ha solicitado apoyo a las autoridades municipales sobre la reparación y mantenimiento de las presas que pueden afectar sus predios y viviendas, sin embargo, el ejidatario piensa que sólo queda en peticiones.

El ejidatario comprende lo que es un área verde y que su propiedad en Peña Colorada funge como tal, se le explicó que también existen áreas verdes dentro de la mancha urbana, que pueden ser jardines, camellones, parques, entre otros, él considera que es posible una adaptación de área verde con la finalidad de mitigar inundaciones, pero considera de vital importancia la implementación de vegetación que pueda aportar hacia la contención de escurrimientos, pero no cree que el Estado quiera colaborar con esta obra, pues de acuerdo con la experiencia entre el ejido y autoridades menciona: *“el gobierno nunca nos ayuda gratis, si nos dan algo siempre piden otra cosa a cambio, principalmente predios”*.

En un mapa de la microcuenca con retícula alfanumérica, se le solicita que identifique donde se puede llevar a cabo la obra propuesta para mitigar inundaciones, desde su punto de vista se tiene que realizar en la parte media-baja de la microcuenca, esto para mitigar inundaciones en la zona urbana, pero sin afectar la zona vegetal de la microcuenca (Figura 14).

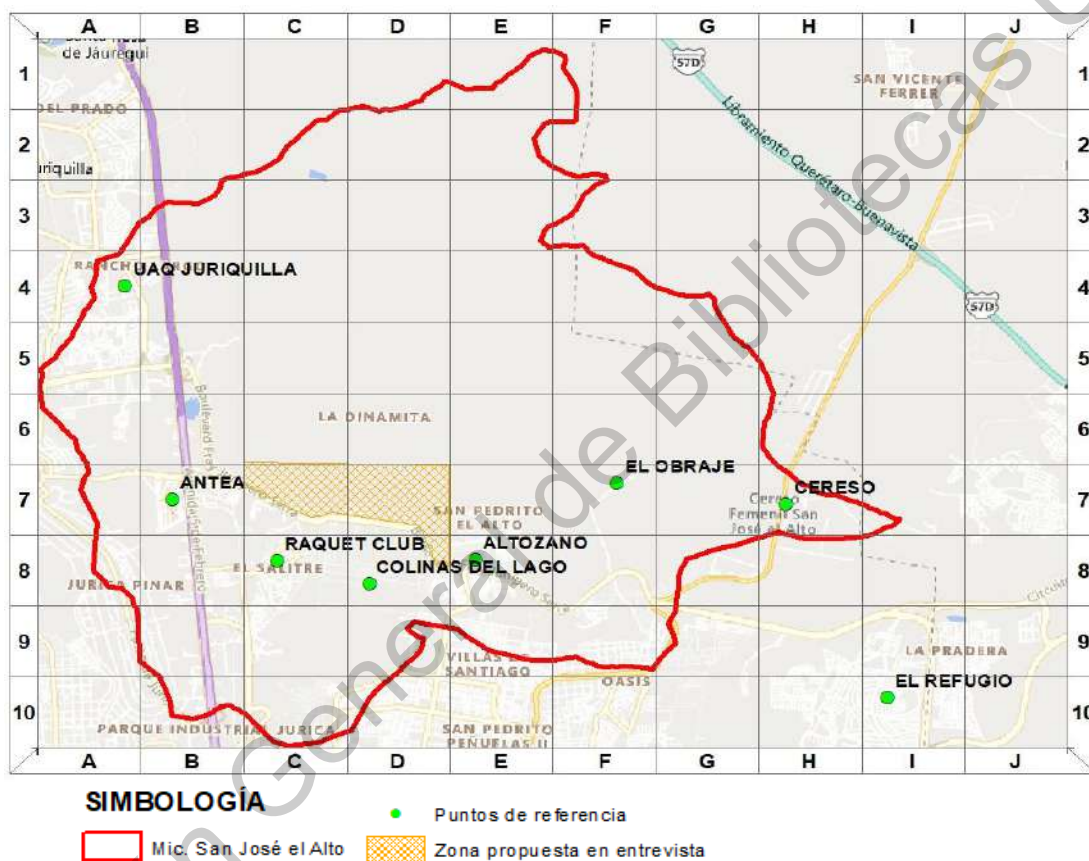


Figura 14. Mapa resultante de la entrevista a ejidatario de San Vicente Ferrer

### 5.3.2.3 Entrevista a residente de la zona afectada por inundaciones

Se entrevistó a un residente de la zona baja de la microcuenca (residente de El Salitre), quien ha vivido en esa zona por 37 años. Al iniciar la entrevista comenta que no tiene conocimiento sobre lo que es una microcuenca ni la relación que tiene con las inundaciones, por lo que se procede a explicarle que es “una zona geográfica en el que todos los escurrimientos dentro

*de ella se dirigen hacia un mismo punto, este puede ser río, lago o cualquier cuerpo de agua”*, también se le comenta que su colonia se encuentra dentro de la microcuenca San José el Alto, una vez que el entrevistado comprende esta definición, está de acuerdo en que las inundaciones se tienen que gestionar desde el enfoque de cuenca, sin embargo, también ha observado que las inundaciones se presentan con mayor frecuencia desde que la mancha urbana comenzó a crecer en esta parte de la ciudad, por lo que él considera que el crecimiento urbano y la deforestación que se tienen están directamente relacionados con la formación de inundaciones.

En cuanto a los daños que se han presentado en su colonia recuerda que los más significativos han sido la caída de bardas por el impacto directo de los escurrimientos, inundación y pérdida de las viviendas, esto en cuanto a los daños que se presentan al momento de la inundación. También mencionó que, posterior a las inundaciones, se han tenido calles intransitables por el deterioro causado por la corriente de agua y caídas de árboles por la humedad que tiene el suelo posterior a una inundación.

Menciona que otra posible causa de las inundaciones puede ser el mal manejo de las presas aguas arriba de su localidad pues, aunque no recuerda el año, dijo que *“las presas se encontraban con un 100% de su capacidad y aun tratando de desaguar, hubo desbordamientos provocando afectaciones en casas y calles”*.

En cuanto a las medidas que han tomado los residentes de la zona, menciona que son principalmente la implementación de costales de arena en temporada de lluvias, además de solicitar a las autoridades la limpieza de drenes, arroyos, desazolve de presas y la infraestructura pluvial como rejillas.

Indica que las autoridades que se presentan durante los eventos de inundación son principalmente protección civil y la guardia municipal, sin embargo, desconoce si actualmente exista algún programa gubernamental de apoyo a los afectados por inundaciones.

El actor entrevistado considera que sería viable llevar a cabo varias adaptaciones de áreas verdes en toda la zona urbana, puesto que desde su punto de vista la impermeabilización del suelo por vialidades y banquetas es lo que está causando un mayor escurrimiento

superficial y, por ende, provocando inundaciones, de forma que si las adaptaciones se distribuyen uniformemente se puedan controlar las avenidas.



Figura 15. Mapa resultante de la entrevista a residente de El Salitre

#### 5.3.2.4 Entrevista a protección civil

Se entrevista a la coordinadora de protección civil del municipio de Querétaro, así como con la encargada del área de gestión de riesgo, la Lic. Mariana Goddard y la M. en GIC. Anaí Gilio, respectivamente, las entrevistadas han estado involucradas con la microcuenca San José el Alto los últimos dos años, que es el tiempo que han ocupado esos puestos.

Comentan que para protección civil es de suma importancia el enfoque de cuencas respecto a las inundaciones, esto para saber de dónde provienen los escurrimientos y a que puntos vulnerables de la ciudad puede afectar. Mencionan que cuando hacen valoraciones de

riesgo entre la información principal que se revisa está un archivo en *Google Earth* donde se encuentran todas las microcuencas de Querétaro.

Respecto a la microcuenca San José el Alto que tiene superficie perteneciente a dos municipios la coordinación municipal de Querétaro de protección civil que no cuenta con colaboración por parte de protección civil de El Marqués, aunque la parte alta y los principales escurrimientos de la microcuenca provienen de este último municipio, comentan que esta es una de las principales desventajas que tienen las coordinaciones de todo el país: la falta de cooperación.

Consideran que las inundaciones se detonan debido a los factores antrópicos, *“desde un ordenamiento territorial que está mal planificado, esto no sólo a nivel municipio, sino a nivel nacional”*, actualmente *“se está haciendo una migración de un sistema de protección civil a un sistema de gestión integral del riesgo, la biblia es el marco de Sendai... enfocado a la prevención, mitigación y reconstrucción... se ha hecho el análisis: un dólar invertido en la mitigación equivale a siete dólares ahorrados para la reconstrucción”*. Con el fin de mitigar las inundaciones, actualmente protección civil solicita a los nuevos desarrollos análisis de impacto ambiental, esto para determinar si el crecimiento urbano impactará negativamente el entorno y en caso de hacerlo, solicitar que se lleven a cabo obras de mitigación.

La temporada oficial de lluvia es del 15 de mayo al 15 de noviembre, sin embargo, los meses con mayor recurrencia e impacto de las lluvias son agosto y septiembre, en esta temporada se recuerda que la inundación más crítica fue el 26 de septiembre de 2017, año en el que se presentaron los socavones y pérdidas humanas, en esta ocasión, el daño se presentó porque fue una gran cantidad de lluvia en poco tiempo, *“el socavón de Antea fue por una mala planeación de poner una plaza sin obras de prevención y mitigación, el agua reconoció y por eso se inundó Antea”*.

En cuanto a los daños que más se reportan son infraestructuras municipales (vialidades, colapso de drenaje sanitario y drenaje pluvial) y enseres domésticos, pérdidas de vida sólo en el socavón, ahogamientos no se han presentado hasta la fecha.

Existe un presupuesto como coordinación de 2.5 millones de pesos para la atención de emergencias para lluvias, con lo que se compra: costalera, picos, palas, impermeables, botas, arena, entre otros. Señalan a obras públicas como los responsables de la infraestructura para mitigar las inundaciones, por lo que protección civil únicamente contribuye en la atención en caso de emergencia. Mientras que el municipio de Querétaro tiene un fondo de 30 millones de pesos para desastres, en 2017 se ocupó para el incendio del mercado del Tepe y las lluvias.

Cuentan con obras de prevención próximas a implementarse, en este caso se trata de sensores en los drenes aguas arriba de la mancha urbana, que indicarán el estatus en tiempo actual, de forma que puedan prevenir a los residentes de la zona baja en caso de una inundación eminente. Estos sensores estarán conectados a algunas computadoras y celulares, de forma que den la alerta para poder actuar y prepararse para un evento.

Respecto a las asociaciones de colonos o residentes, sólo se tiene contacto directo con la asociación de Jurica, quienes se capacitan para el actuar en caso de emergencia y en lluvias se contactan directamente con protección civil para verificar si existe riesgo o no de inundaciones.

Comentan que en El Salitre hay un escurrimiento que está reconocido por CONAGUA, sin embargo, actualmente están desarrollando en esa zona y vendiendo terrenos, *“es un escurrimiento que como no ha llovido tan fuerte como en 2017 y no está delimitado, la gente le resta importancia, empieza a rellenar y vende”*, son las principales problemáticas que se tienen en la zona, la coordinadora menciona *“si realmente como ciudadanos respetáramos los derechos de paso de los cuerpos de agua, drenes y ríos, no habría inundaciones, desde una cultura de riesgo... desde ahí es empezar a trabajar”*.

Existe un apoyo para las personas que pierden bienes naturales, no por protección civil, sino por parte de desarrollo social o del DIF, hay un seguro a la vivienda que es un beneficio al pagar el predial, aunque las personas con mayor daño son las que se encuentran en un asentamiento irregular. Este apoyo consiste en la recuperación de enseres, nada es en económico, únicamente el apoyo a la vivienda.



Se cuentan con refugios a los que pueden acudir los afectados por inundaciones, se tienen albergues temporales uno en el Centro de la ciudad de Querétaro y otro en el parque Alcanfores, además de distintos puntos como las oficinas del DIF, los cuales son totalmente gratuitos y en caso de verse sobrepasados en capacidad, protección civil tiene la facultad y capacidad para montar un albergue, el cual administrará posteriormente desarrollo social y el DIF; también puede participar SEDENA, esto dependiendo de la emergencia, ellos apoyan con alimentos las primeras 24 horas, ya sea llevando la comida, o bien, montando la cocina directamente en el albergue.

En cuanto a las áreas verdes empleadas para la mitigación, opinan que dentro del área urbana apoyarían muy poco, sin embargo, podrían adaptarse varias áreas verdes para que trabajen en conjunto y puedan regular más escurrimientos o bien, recuperar y mantener las funciones de control de escurrimiento de la parte media de la microcuenca.

Se les muestra un mapa de la microcuenca San José el Alto con retícula alfanumérica para que indiquen en qué parte se podría llevar a cabo la adaptación, *“en la parte no urbanizada, preservar, mantener bien los escurrimientos y donde tengan mayor captación, ahí poner la obra”* (Figura 16).

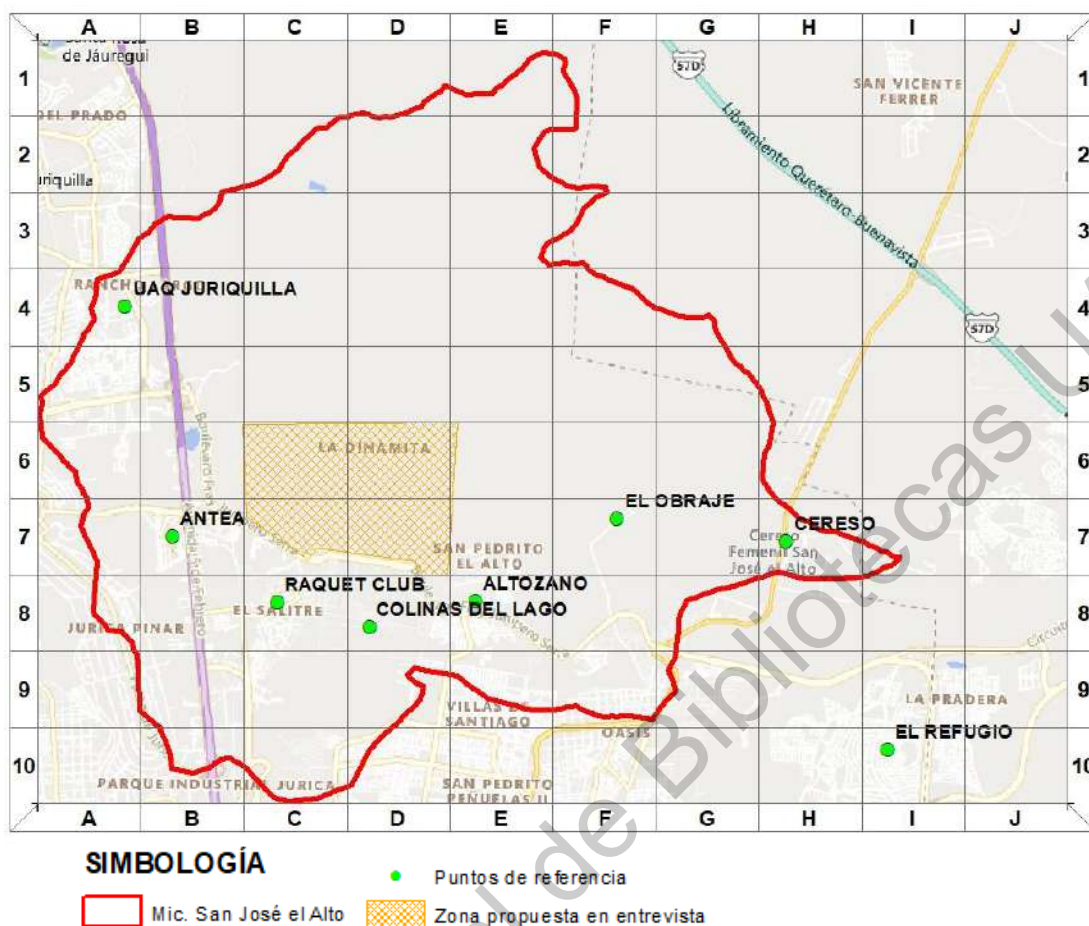


Figura 16. Mapa resultante de la entrevista a la coordinación municipal de Querétaro de Protección Civil

### 5.3.2.5 Entrevista al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

Debido a la solicitud hecha expresamente por la institución, esta entrevista es enviada vía correo electrónico y se recibe respuesta por este mismo medio. Quien responde a la entrevista fue la Ing. Nina Ramírez González, investigadora de fenómenos Hidrometeorológicos extremos, quien hace énfasis en que no reside en la ciudad de Querétaro ni está relacionada con la microcuenca San José el Alto, sin embargo, de acuerdo con su experiencia puede aportar su opinión respecto a los temas de la presente investigación.

Se encuentra totalmente de acuerdo en gestionar las inundaciones desde el enfoque de cuencas, esto debido a que “Al estudiar la cuenca nos puede describir el comportamiento de los escurrimientos y el tema de inundaciones es fundamental o prioritario analizarlo

*desde dicho enfoque. Cabe mencionar que, el estudio de inundaciones debe realizarse con base en la cuenca de interés y así se indica en la Guía de contenido mínimo para la elaboración de atlas de riesgos estatales y municipales”, de igual forma, indica que los principales factores detonantes de inundaciones además de la intensidad de precipitación y duración de la tormenta son la topografía, urbanización y cambios de uso de suelo que conllevan la impermeabilización de la cuenca.*

De acuerdo con los datos oficiales que tiene su institución “, *los meses con mayor registro de inundaciones a nivel nacional son agosto y septiembre”* y en cuanto a la inversión destinada para eventos de inundación menciona que desconoce pues es de las facultades correspondientes al municipio, sin embargo, sí existe un programa de apoyo a cargo de la Secretaría del Bienestar para los damnificados por inundaciones que consiste en entrega de vales, despensas y electrónicos. En cuanto a los refugios en caso de inundación “*cuando se tiene pronosticado evento de lluvias extremas se habilitan refugios temporales, estos se pueden encontrar en <http://www.preparados.gob.mx/>. Además, el Atlas Nacional de Riesgos cuenta con una capa georreferenciada de refugios temporales, la pueden encontrar en el apartado de Sistemas Reguladores”*.

En cuanto a las áreas verdes como mitigadoras de inundación menciona que son “*una excelente opción para disminuir el colapso de la red de drenaje y el control de escurrimientos, pero también tiene que tener mantenimiento, es decir, cuidados”* y que las que considera ideales para este fin son parques y camellones, además, indica que el CENAPRED estaría de acuerdo en la modificación de un área verde para mitigar inundaciones mientras esta sea “*avalada por un estudio hidrológico e hidráulico que contemple las condiciones de la cuenca antes y después de la implementación de las áreas verdes en puntos estratégicos”*.

Junto con la entrevista se entrega un mapa de la microcuenca San José el Alto con retícula alfanumérica para que indican en qué parte se puede llevar a cabo la adaptación, mencionan que sus opciones son basándose en la topografía y escurrimientos (Figura 17).

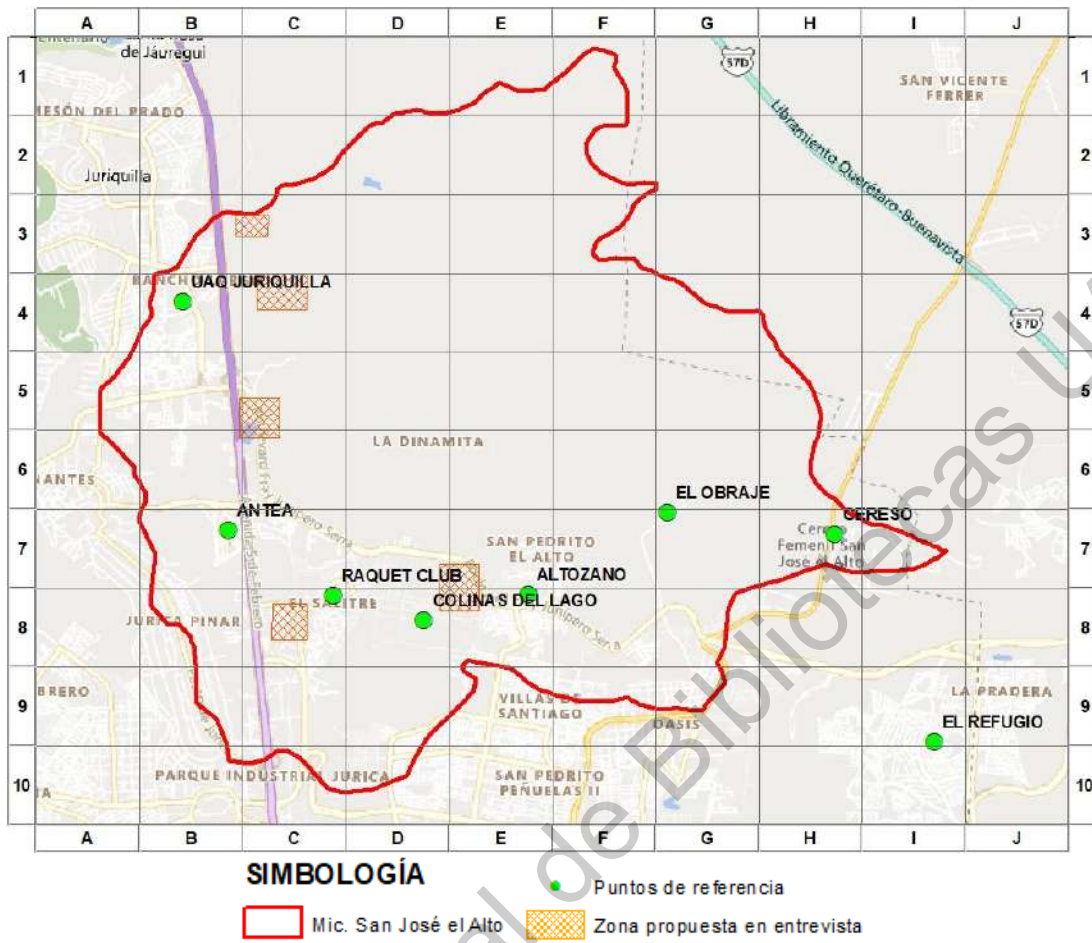


Figura 17. Mapa resultante de la entrevista al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

El mapa de la figura 18 es un concentrado de los datos obtenidos anteriormente, en este se muestran las zonas susceptibles a inundación, así como las áreas propuestas por los entrevistados para adaptar un área verde que mitigue las inundaciones.

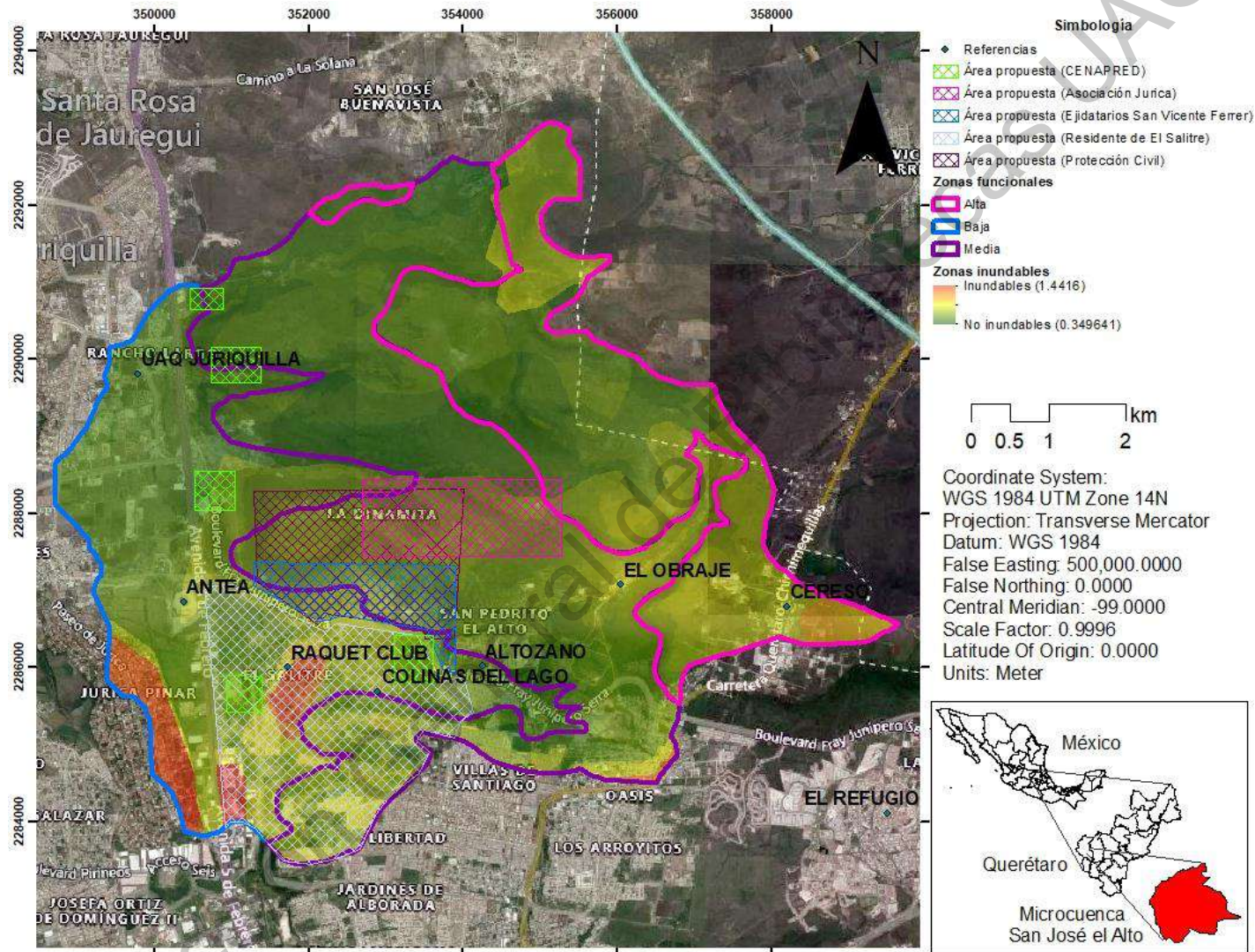


Figura 18. Mapa resultante de entrevistas, zonas susceptibles a inundación y zonas funcionales

## **6. DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN DE ÁREAS VERDES PARA MITIGAR EL RIESGO DE INUNDACIONES**

La estrategia de adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones en la microcuenca San José el Alto toma en cuenta las principales zonas afectadas en eventos previos, así como la topografía, edafología, uso de suelo y vegetación, así como los planes parciales de desarrollo urbano.

El objetivo central de la estrategia es minimizar al máximo los cambios que tendrá el área verde, esto para no interferir con el paisajismo de la zona y que la propuesta sea económicamente viable.

Dentro de la estrategia se considera la adaptación de dos áreas verdes, las cuales están en lugares estratégicos para mitigar los dos afluentes de la zona alta y media de la microcuenca que llegan a la zona urbana.

### **6.1 Ubicación de las áreas verdes**

La propuesta Oeste se ubica al norte del Hotel *World Trade Center* Querétaro (Figura 19), cabe mencionar que coincide con una de las zonas propuestas por el CENAPRED, estaría ubicada al Sur del cuerpo de agua existente, donde se tiene una zona considerada como área verde en el plan parcial de desarrollo urbano.

La propuesta al Este, queda fuera de las propuestas realizadas por los entrevistados, sin embargo, analizando la topografía y red hidrológica de la microcuenca, se aprecia que el escurrimiento que podría afectar a la zona del Salitre se encuentra justo al centro de la comunidad de *San Pedrito el Alto* y en imágenes satelitales se observa que en *Altozano* hicieron un canal que permite el acceso y libre tránsito de los escurrimientos pluviales hasta el lago del desarrollo, pero no se aprecia que haya una obra de demasías, por lo que si no se contienen los escurrimientos aguas arriba de San Pedrito el Alto, también se podrían ver afectados en caso de una avenida extraordinaria. Motivo por el cual se considera realizar obras de control de velocidad en la zona alta de este escurrimiento, tal como muros de gaviones o dentellones que disminuyan la velocidad del agua (Figura 19).

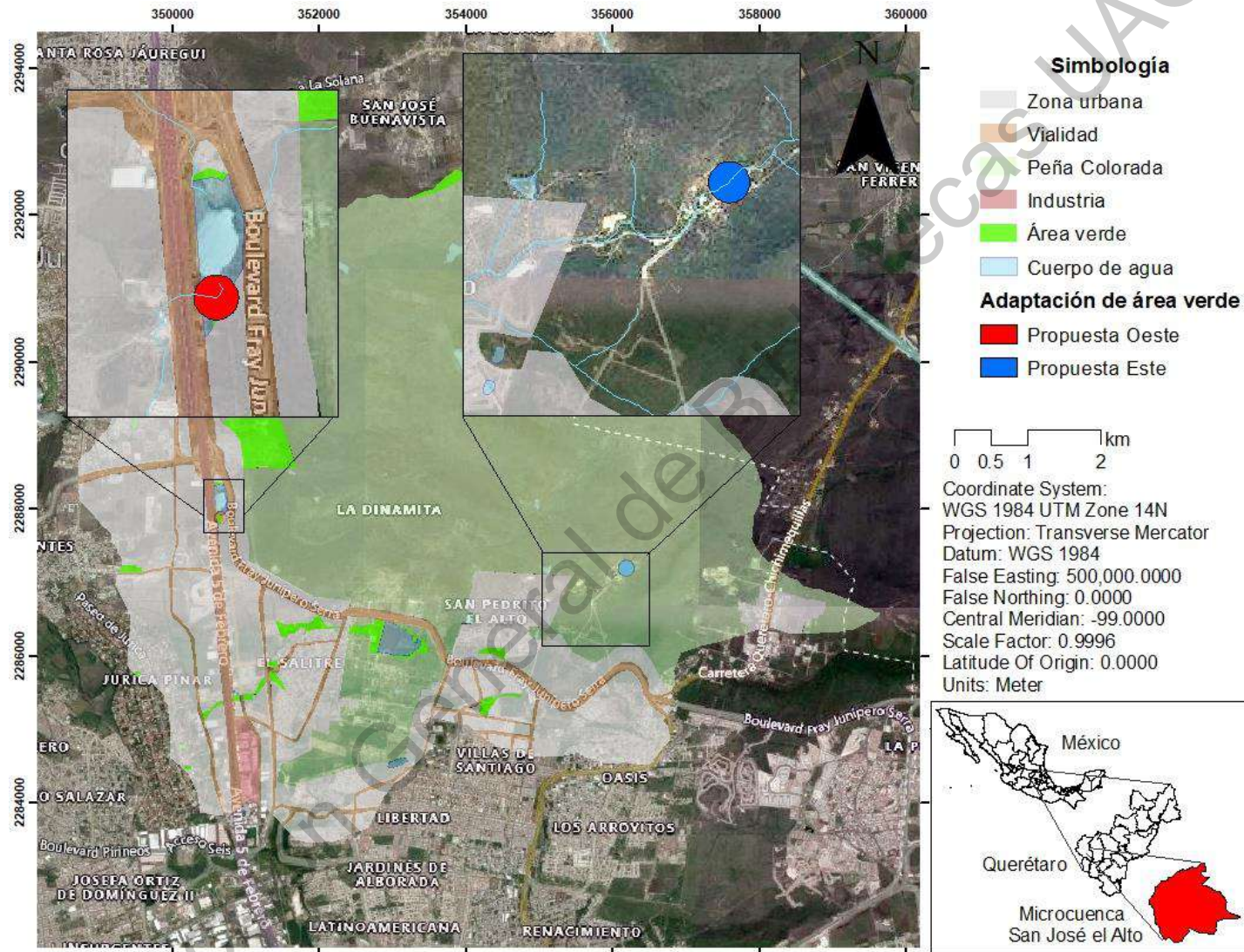


Figura 19. Ubicación de zonas de adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones en la microcuena San José el Alto

## 6.2 Implementación de pozos de absorción.

Los pozos de absorción son obras de ingeniería que permiten la recarga artificial del acuífero (NOM, 2007), por lo que esta propuesta además de aportar hacia la mitigación de escurrimientos hacia la zona urbana de la microcuenca también funcionaría para recargar el acuífero.

Esta estrategia se pretende emplear únicamente en la propuesta Oeste, donde de acuerdo con INEGI (2007) el tipo de suelo que se encuentra es vertisol pélico, el cual tiene un valor de permeabilidad de 0.4 litros/m<sup>2</sup>/día (SIAPA, 2014) por lo que tiene poca capacidad de infiltración, y, por ende, favorece las inundaciones. Con pozos de absorción se podría aumentar la capacidad de infiltración que se tiene, además, no afectarían al paisajismo de la zona y tampoco presentarían un riesgo para los habitantes ya que no es una zona de recreación.

De acuerdo con CONAGUA (2020), desde 1994 se han llevado a cabo medición de niveles y en las proximidades de El Salitre y San Pedrito el Alto se presenta profundidad del nivel estático de entre 30 a 50 m.

Para el diseño de los pozos de absorción se siguieron las recomendaciones por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2003), en donde remarca los siguientes puntos:

- La distancia entre un pozo y cualquier árbol deberá ser mayor a 5 metros.
- La profundidad mínima de 5 metros.
- El fondo del pozo deberá ser cubierto por una capa de 0.15 metros de espesor de grava gruesa.

Para garantizar la estabilidad del pozo de absorción, se indica que deberá tener una altura máxima de 30 metros.

Tomando en cuenta las recomendaciones anteriores y los diámetros comerciales de tubería ranurada de acero al carbono, se propone un pozo de 20" (50.80 cm) de diámetro que contará con una longitud total de 30 metros, de los cuales, los primeros 10 metros serán de acero liso con espesor según norma ASTM-A53, Grado B, esto con la finalidad de evitar la



saturación del estrato superior del suelo, los siguientes 20 metros serán de tubería de acero ranurado según la norma ASTM-A53, Grado B, al fondo se ubicará un tapón de grava redondeada, lavada y cribada de ¼" a ½" de diámetro.

$$\text{Diámetro del tubo} = 20 \text{ pulgadas} = 0.508 \text{ metros}$$

$$\text{Circunferencia de tubería de 20"} = \pi * 0.508 \text{ m} = 1.60 \text{ metros}$$

$$\text{Área permeable} = \text{Circunferencia} * \text{Profundidad} = 1.60 * 20 = 31.92 \text{ m}^2$$

$$\text{Permeabilidad del vertisol pélico} = 0.40 \text{ l/m}^2/\text{día}$$

*Permeabilidad del pozo*

$$= \text{Área permeable (m}^2) * \text{Permeabilidad del suelo (l/m}^2/\text{día)}$$

$$\text{Permeabilidad del pozo} = 31.92 \text{ m}^2 * 0.40 \text{ l/m}^2/\text{día} = 12.767 \text{ l/día}$$

$$\text{Volumen del pozo} = \text{diámetro} * \text{profundidad} = 0.508 * 30 = 15.24 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del pozo} = 15.24 \text{ m}^3 = 15,240 \text{ litros}$$

De acuerdo a los cálculos realizados, con el pozo se podrían infiltrar aproximadamente 12.767 litros por día, además, en el tubo se almacenarían otros 15.24 m<sup>3</sup>, es decir 15,240 litros (Figura 20).

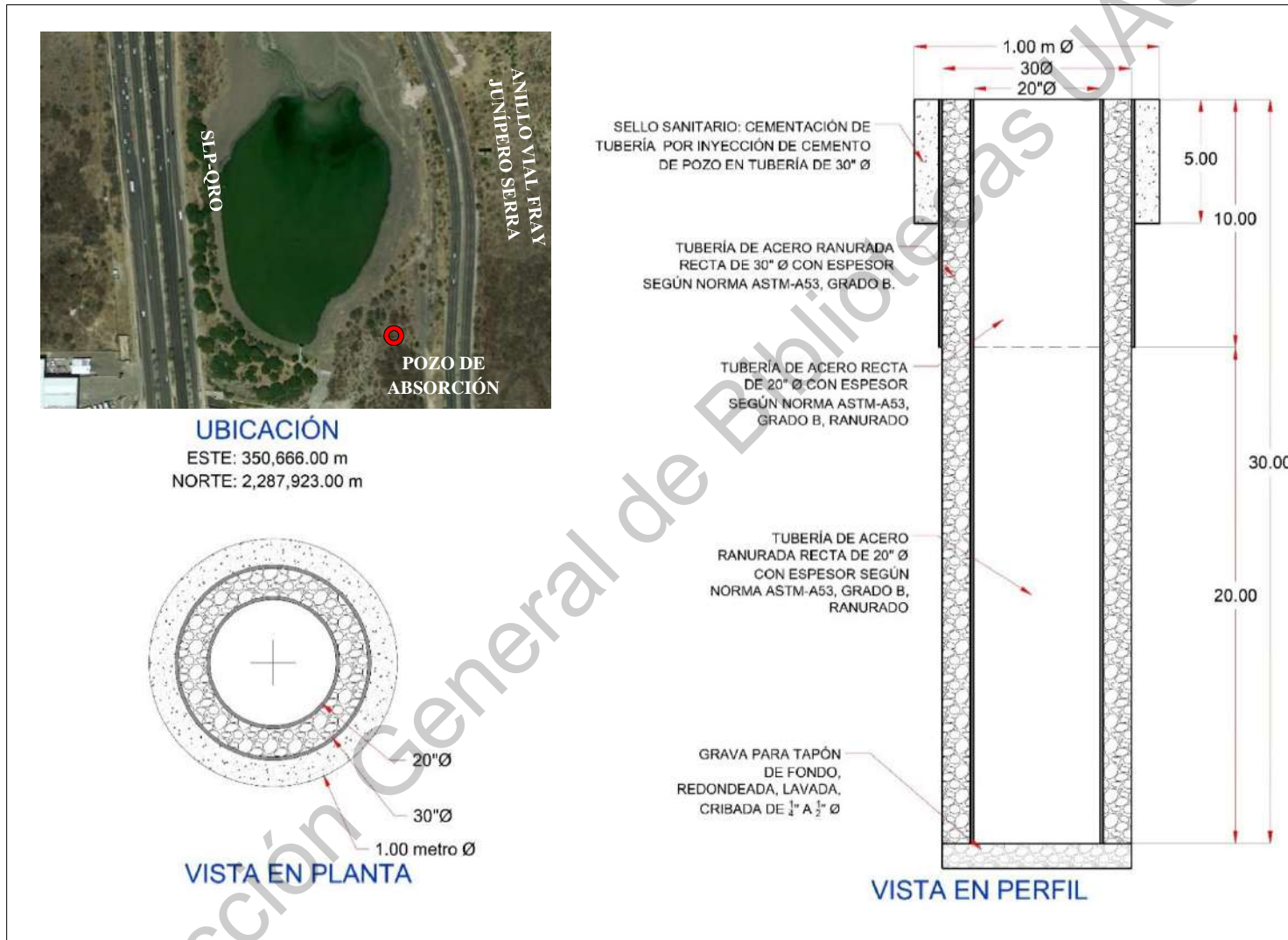


Figura 20. Esquema y ubicación del pozo de absorción

### 6.2.1 Análisis de costo de un pozo de absorción

La viabilidad económica de los pozos de absorción también es un factor determinante para su implementación como medida de mitigación de inundaciones, es por ello que se verifican los costos de suministro de materiales y ejecución del pozo (Tabla 7).

El costo total de esta obra es de \$197,930.35 (ciento noventa y siete mil novecientos treinta pesos 35/100 M.N.), por lo que si se compara contra el recurso destinado en 2016 a la infraestructura del municipio de Querétaro (2016), el cual fue de \$35,074,671.11 (treinta y cinco millones setenta y cuatro mil seiscientos setenta y un pesos 00/100 M.N.), en esta obra se destinaría el 0.56% únicamente, por lo que se considera como una propuesta óptima tanto en funcionamiento como en presupuesto económico.

Tabla 7. Análisis de costo de un pozo de absorción

<b>1. MATERIALES</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Cementación de tubería con equipo de perforación	m <sup>3</sup>	1.57	\$4,398.33	\$6,908.88
Grava cribada de 3/4" a 1/2", incluye mano de obra y equipo	m <sup>3</sup>	7.90	\$2,135.67	\$16,871.47
<b>Total de materiales</b>				<b><u>\$23,780.35</u></b>
<b>2. MANO DE OBRA, EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Suministro, colocación, perforación de 0 a 30 metros en material intermedio por el sistema de inyección de tubería de acero al carbón. Incluye: perforación, inyección de aire comprimido, agua para lavado de tubo y perforación, observación del corte geológico, suministro de materiales, acarreo, maniobras, equipo y mano de obra.	m	30	\$5,805.00	\$174,150.00
<b>Total de mano de obra</b>				<b><u>\$174,150.00</u></b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b><u>\$197,930.35</u></b>	

### 6.3 Implementación de presa de gaviones

Las presas de gaviones son “*estructuras que consisten en una caja construida con enrejado metálico, confeccionado con alambre especialmente galvanizado reforzado, estos gaviones se rellenan con canto rodado, piedra de cantera o el material más adecuado que se disponga, pero teniendo la precaución de no emplear piedras o materiales que contengan óxido de hierro, excesiva alcalinidad o compuestos salinos ya que cualquiera de esos elementos puede deteriorar el alambre a pesar de su fuerte protección de Zinc*” (Buitrago & Ochoa, 2013).

Se pretende emplear esta estrategia en la zona Oeste, para que trabaje en conjunto con los pozos de absorción, esta técnica fue elegida principalmente por sus bajos costos, tiempos de construcción y mantenimiento. Cabe mencionar que los gaviones aumentarán la capacidad de almacenamiento del cuerpo de agua, sin embargo, con la finalidad de evitar un desbordamiento repentino, se pretende que la granulometría en la parte alta de los gaviones sea de mayor tamaño para que permita el libre flujo de los escurrimientos una vez que llegue a ese nivel de tirante el bordo.

Con base en la información topográfica del INEGI (2015b), la parte baja del cuerpo de agua se encuentra en la elevación 1870 y la parte baja del área verde en la 1860, por lo que se podría implementar un muro de gaviones para aumentar la capacidad de almacenamiento del cuerpo de agua.

CONAFOR (2018) menciona diversas recomendaciones respecto a la implementación de presas de gaviones, entre las que destacan:

- Las presas de gaviones se utilizan en dimensiones mayores a los dos metros de ancho y 1.5 de profundidad.
- Se deben empotrar hasta piso firme o entre 0.50 y 1.00 metro de profundidad.
- La malla de los gaviones debe ser de triple torsión y puede ser de distintos calibres (Tabla 8).

Tabla 8. Estándares de calidad

CONCEPTO	GAVIÓN				COLCHONES PARA REVESTIMIENTO			
	RECUBRIMIENTO		RECUBRIMIENTO		RECUBRIMIENTO		RECUBRIMIENTO	
CARACTERÍSTICAS	PVC		PVC		PVC		PVC	
TIPO DE MALLA	10 por 12		8 por 10		6 por 8		5 por 7	
ABERTURA DE LA MALLA	114 X 124	114 X 124	83 X 114	83 X 114	64 X 83	64 X 83	53 X 74	53 X 74
	(4.5 X 4.8)	(4.5 X 4.8)	(3.25 X 4.5)	(3.25 X 4.5)	(2.5 X 3.25)	(2.5 X 3.25)	(2.1 X 2.91)	(2.1 X 2.91)
ALAMBRE DE LA MALLA	2.7	2.7	2.7	2.7	2.2	2.2	2.2	2.2
	(0.106)	(0.106)	(0.106)	(0.106)	(0.087)	(0.087)	(0.087)	(0.087)
ALAMBRE PARA ARISTAS REF.	3.4	3.4	3.4	3.4	2.7	2.7	2.7	2.7
	(0.134)	(0.134)	(0.134)	(0.134)	(0.106)	(0.106)	(0.106)	(0.106)

Fuente: CONAFOR (2018)

Para el diseño de la presa de gaviones se siguió la metodología de CONAFOR (2018), la cual consiste en los siguientes cálculos:

Centro de gravedad de la presa:

$$\bar{x} = \frac{\text{Centro de gravedad por el área de la presa}}{\text{Área de la presa}} = \frac{XA}{A} = \frac{14.79}{3.70} = 4.00$$

Peso de la presa:

$$W = \text{Densidad del gavión} \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \text{Área de la presa} (m^2) = \gamma_g * A$$

$$W = 3,000 * 3.70 = 11,100 \text{ kg}$$

Fuerza de empuje:

$$F = \text{Densidad del agua} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \frac{\text{altura efectiva de la cortina (m)}^2}{2} = \gamma_{\text{az}} * \frac{h^2}{2}$$

$$F = 1,000 * \frac{1.2^2}{2} = 720.00 \text{ kg/m}$$

Distancia donde cae el peso de la presa, respecto de la resultante normal:

$$L = \frac{F * h}{3 * W} = \frac{\text{Fuerza de empuje} * \text{altura efectiva de la cortina}}{3 * \text{Peso de la presa}}$$

$$L = \frac{720 * 1.2}{3 * 11,100} = 0.0259 \text{ m}$$

Excentricidad de la presa:

$e = \text{Centro de gravedad de la presa} + \text{Distancia donde cae el peso de la presa}$

$$- \frac{\text{Base}}{2}$$

$$e = \bar{x} + L - \frac{B}{2} = 4.00 + 0.03 - \frac{6.05}{2} = 0.998$$

Criterio de decisión:

$$R = 600 * \frac{\text{excentricidad de la presa}}{\text{Base}} = 600 * \frac{e}{B} = 600 * \frac{0.998}{6.05} = 98.93\%$$

La presa de gaviones se armará de forma modular, cada una tendrá un ancho de 2 metros, una base de 6.05 m y altura máxima de 1.20 metros, estará conformada por cuatro gaviones con las siguientes medidas: 2.00 x 2.00 x 1.95 m, 1.80 x 2.00 x 1.75 m, 1.60 x 2.00 x 1.40 m y 0.65 x 2.00 x 1.40 m.

Cabe mencionar que al tener dos metros de base será necesario implementar diafragmas para evitar la deformación de los gaviones, además, de acuerdo a las recomendaciones de CONAFOR (2018), se empotrará 0.75 metros para garantizar la estabilidad cuando se presente la carga de los escurrimientos pluviales. La altura se definió

con base al desnivel del bordo, el cual es de un metro de acuerdo con las curvas de nivel de INEGI (2015b).

El detalle de la presa de gaviones, así como la especificación de la malla y la ubicación exacta se puede apreciar en la Figura 21.

Dirección General de Bibliotecas UAQ



UBICACIÓN

CUADRO DE CONSTRUCCIÓN						
LADO	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST					Y	X
				1	2,288,648.1090	350,507.8100
1	2	S 09°29'59.08" E	29.290	2	2,288,618.8547	350,558.2980
2	3	S 12°06'48.81" E	19.486	3	2,287,999.8059	350,583.3535
3	4	S 06°11'34.88" E	13.661	4	2,287,986.1232	350,585.5670
4	5	S 44°40'51.98" E	17.434	5	2,287,873.7273	350,577.8265
5	6	S 47°28'13.68" E	13.976	6	2,287,964.2795	350,588.1260
6	7	S 54°36'04.07" E	18.244	7	2,287,853.7549	350,603.0283
7	8	S 64°51'50.12" E	17.761	8	2,287,848.2067	350,519.1053
8	9	S 60°24'30.21" E	12.738	9	2,287,930.9167	350,630.1816
9	10	S 71°37'30.68" E	10.823	10	2,287,938.8049	350,840.4528
10	11	N 89°42'10.82" E	11.356	11	2,287,936.5840	350,851.8518
11	12	N 71°17'29.71" E	11.329	12	2,287,840.1977	350,882.6818
12	13	N 40°12'33.17" E	12.582	13	2,287,949.8067	350,670.7047
13	14	N 28°40'32.03" E	11.686	14	2,287,960.0583	350,676.3116
14	15	N 29°43'54.58" E	9.128	15	2,287,969.4141	350,678.9451
15	16	N 18°40'37.85" E	1.887	16	2,287,970.2019	350,600.2894
16	17	N 39°19'33.44" E	10.897	17	2,287,878.8438	350,687.4806
17	18	N 63°59'40.84" E	1.415	18	2,287,879.2539	350,688.7632
18	19	N 88°32'10.20" E	10.249	19	2,287,993.0141	350,698.2904
19	20	N 60°29'11.60" E	12.361	20	2,287,988.1160	350,709.0402
20	21	N 89°09'32.85" E	12.214	21	2,287,997.8962	350,717.8338
21	22	N 34°00'38.80" E	14.505	22	2,288,009.8097	350,725.9531
22	23	N 28°22'54.87" E	15.177	23	2,288,022.8344	350,733.3992
23	24	N 26°17'02.16" E	19.406	24	2,288,036.8477	350,740.2214
24	25	N 24°14'38.48" E	19.839	25	2,288,048.8570	350,744.5488
25	26	N 23°09'38.77" E	7.834	26	2,288,053.4589	350,747.6300

LONGITUD = 322.218 m

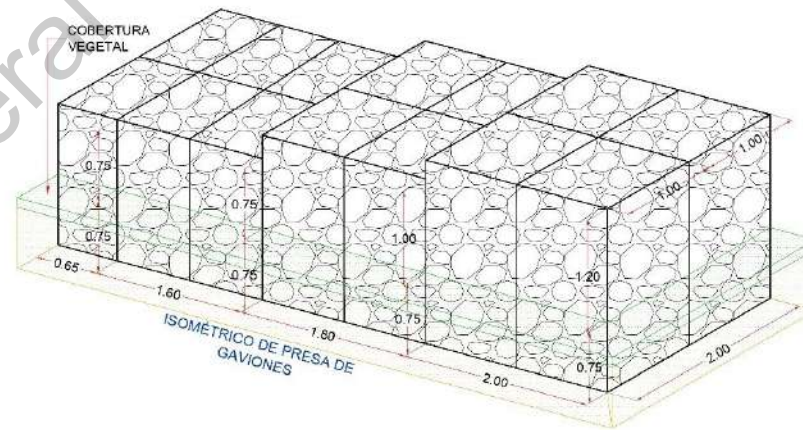
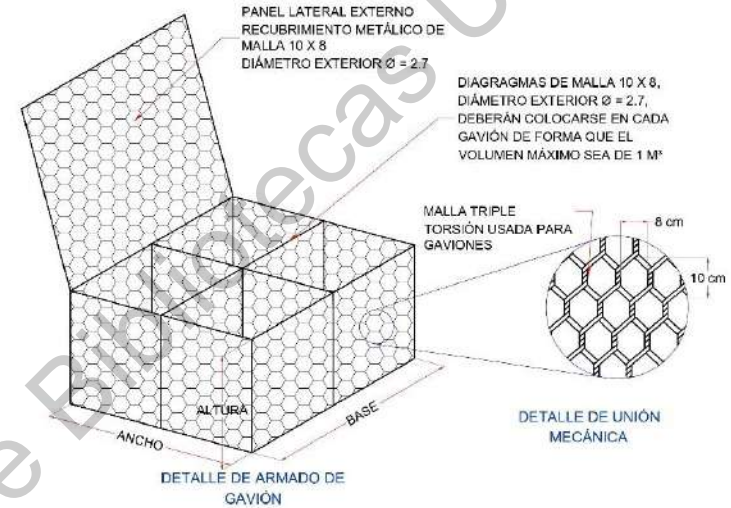


Figura 21. Presa de gaviones



### 6.3.1 Análisis de costo de la presa de gaviones

Para verificar la viabilidad económica de la propuesta de la presa de gaviones se consultaron costos de los materiales, mano de obra y maquinaria necesarios para la implementación de una presa de gaviones (Tabla 9).

Cabe mencionar que este costo es aplicable para un gavión de dimensiones 1.00 x 1.00 x 1.00 metro y de acuerdo a las dimensiones propuestas para esta estrategia, se deben considerar 20.85 m<sup>3</sup> de gaviones, por lo que el precio total sería de **\$119,303.60 (ciento diecinueve mil trescientos tres pesos 60/100 M.N.)**.

Tabla 9. Análisis de costos de la presa de gaviones

<b>1. MATERIALES</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Malla triple torsión 10 x 8 diámetro exterior 2.7	m <sup>2</sup>	8	\$430.50	\$3,444.00
Cable de acero de 2 mm	m	1.75	\$8.40	\$14.70
Barrote de pino de 3a, 2x4x8"	pza	0.25	\$74.00	\$18.50
Clavos para madera de 4 (77 piezas/kg) caja de 25 kg	kg	0.05	\$42.00	\$2.10
Piedra caliza de granulometría comprendida entre 100 y 200 mm	m <sup>3</sup>	1	\$336.00	\$336.00
<b>Total de materiales</b>				<b>\$3,815.30</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Ayudante	jornada	2.065	\$548.27	\$1,132.18
Oficial albañil	jornada	0.413	\$863.50	\$356.63
Cabo de oficios	jornada	0.0133	\$929.85	\$12.37
<b>Total de mano de obra</b>				<b>\$1,501.17</b>
<b>3. EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Retroexcavadora CAT. 436 C, 93 HP, 7120 kg, cucharón Gral. 1 m <sup>3</sup> , cucharón retro 0.20 m <sup>3</sup> , 4.93 m de profundidad	h	0.4	\$676.05	\$270.42
Andamios	%	2%	\$1,501.17	\$30.02
Equipo de seguridad	%	2%	\$1,501.17	\$30.02
Herramienta menor	%	3%	-	\$75.06
<b>Total equipo, maquinaria y herramienta</b>				<b>\$405.53</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>\$5,722.00</b>	

De acuerdo con el presupuesto de egresos (2016) el municipio de Querétaro en el 2016 destinó \$35,074,671.11 (treinta y cinco millones setenta y cuatro mil seiscientos setenta y un pesos 00/100 M.N.), por lo que en relación con el costo total de la elaboración de una presa de gaviones con las dimensiones propuestas (\$119,303.60), equivaldría al 0.34% del presupuesto para infraestructura municipal, por lo que se podría considerar como una obra viable para la mitigación de inundaciones en la zona.

#### **6.4 Implementación de presas rompe-picos**

Las presas rompe-picos *“están formadas por una cortina de poca altura, una obra de excedencia y un desagüe. La cortina generalmente es de concreto o mampostería y debe estar cimentada. Sirven para proteger poblaciones que son atravesadas por arroyos o ríos. Cuando los ríos tienen pendientes fuertes y los embalses formados son de poca capacidad, se acostumbra a colocar varias presas en cascada para abatir el gasto máximo de la avenida, hasta lograr que el gasto máximo aguas abajo del conjunto pase por el cauce sin desbordarlo.”* (CONAGUA, 2011).

Se pretende emplear esta estrategia en la zona Este con la finalidad de contener los escurrimientos antes de su llegada a la comunidad *San Pedrito el Alto*, de la cual, aunque no se tienen antecedentes de inundaciones oficialmente en imágenes satelitales se puede apreciar que cuentan con obras en el menisco que cruza la comunidad para mitigar la erosión en los cauces (Figura 22).



Figura 22. Imagen satelital de la comunidad San Pedrito el Alto

De acuerdo con CONAFOR (2018), las presas de mampostería “son consideradas como presas de gravedad, la única fuerza que se opone a la escorrentía es el peso de la estructura, por lo cual el diseño se basa en el cálculo de la base de la presa que, combinado con su sección trapezoidal, le dará el peso adecuado a la misma, para que sea resistente al embate de la escorrentía”. También menciona que es fundamental el espaciamiento, empotramiento y el tamaño de la base, la profundidad recomendable de empotramiento es de 60 cm y el diseño del espaciamiento es con criterio doble cabeza pie. Además, recomienda anclar dos dentellones o zapatas a los extremos de la base, el primero puede variar de 0.60 a 1.00 metro y el segundo, debe ser la mitad de la profundidad del primero.

Para el cálculo de la presa rompe-picos se siguió el procedimiento que indica CONAFOR (2018), el cual consiste en:

FIGURA	C	H	B	CENTRO DE GRAVEDAD (X)	ÁREA (A)	XA
CUADRADO	0.4	2.5	-	0.20	1.00	0.20
TRIÁNGULO	0.4	2.5	1.7	0.83	1.63	1.35
SUMATORIA				1.03	2.63	1.55

Centro de gravedad:

$$X = \frac{\text{Sumatoria del centro de gravedad por área}}{\text{Sumatoria del área}} = \frac{\sum XA}{\sum A} = \frac{1.55}{2.63} = 0.59$$

Peso de la presa:

$$W = \text{Densidad de la mampostería} * \text{Sumatoria del área} = \gamma_m * \sum A$$

$$W = 2,900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2.625 \text{ m}^2 = 7,612.50 \text{ kg}$$

Fuerza de empuje del agua y sedimentos:

$$F = \text{Densidad de los sedimentos} \frac{\text{Altura de la presa}}{2} = \gamma_{az} \frac{H^2}{2}$$

$$F = 1,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{2.5\text{m}}{2} = 4,375.00$$

Subpresión:

S

$$= \frac{\text{Coeficiente de subpresión} * \text{peso específico del agua} * \text{base} * \text{altura de cortina}}{2}$$

$$S = \frac{k\gamma_w HB}{2} = 708.33$$

Resultante normal:

$$R_n = \text{Peso} - \text{subpresión} = W - S = 6,904.17$$

Espaciamiento:

Z

$$= \frac{[\text{Peso}(\text{Base} - \text{Centroide}) - (F. \text{ de empuje} \frac{\text{Altura de la presa}}{3}) - \text{Subpresión}(2 \frac{\text{Base}}{3})]}{2}$$

$$Z = \frac{[W(B - X) - (F \frac{H}{3}) - S(2 \frac{B}{3})]}{2} = 0.58$$

Excentricidad de la presa:

$$e = \frac{Base}{2} - espaciamento = \frac{B}{2} - Z = 0.27$$

Criterio de decisión:

$$R = 600 \frac{\text{excentricidad de la presa}}{\text{tamaño de la base}} = 600 \frac{e}{B} = 96.26\%$$

Gasto máximo de descarga del vertedor:

$$Q = 1.45 * longitud efectiva del vertedor * carga sobre la cresta del vertedor^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 1.45 * L * H^{\frac{3}{2}} = 1.45 * 10 * 1.50^{\frac{3}{2}} = 26.64 m^3/s$$

Para el cálculo del tanque de amortiguamiento empleado para evitar la erosión en el terreno posterior a la presa, se empleó el software *Rápidas v1.0*, con el que se obtuvo el tanque que se muestra en el siguiente esquema.

El detalle de la presa rompe-picos de mampostería, así como el tanque de amortiguamiento se puede apreciar en la figura 23.

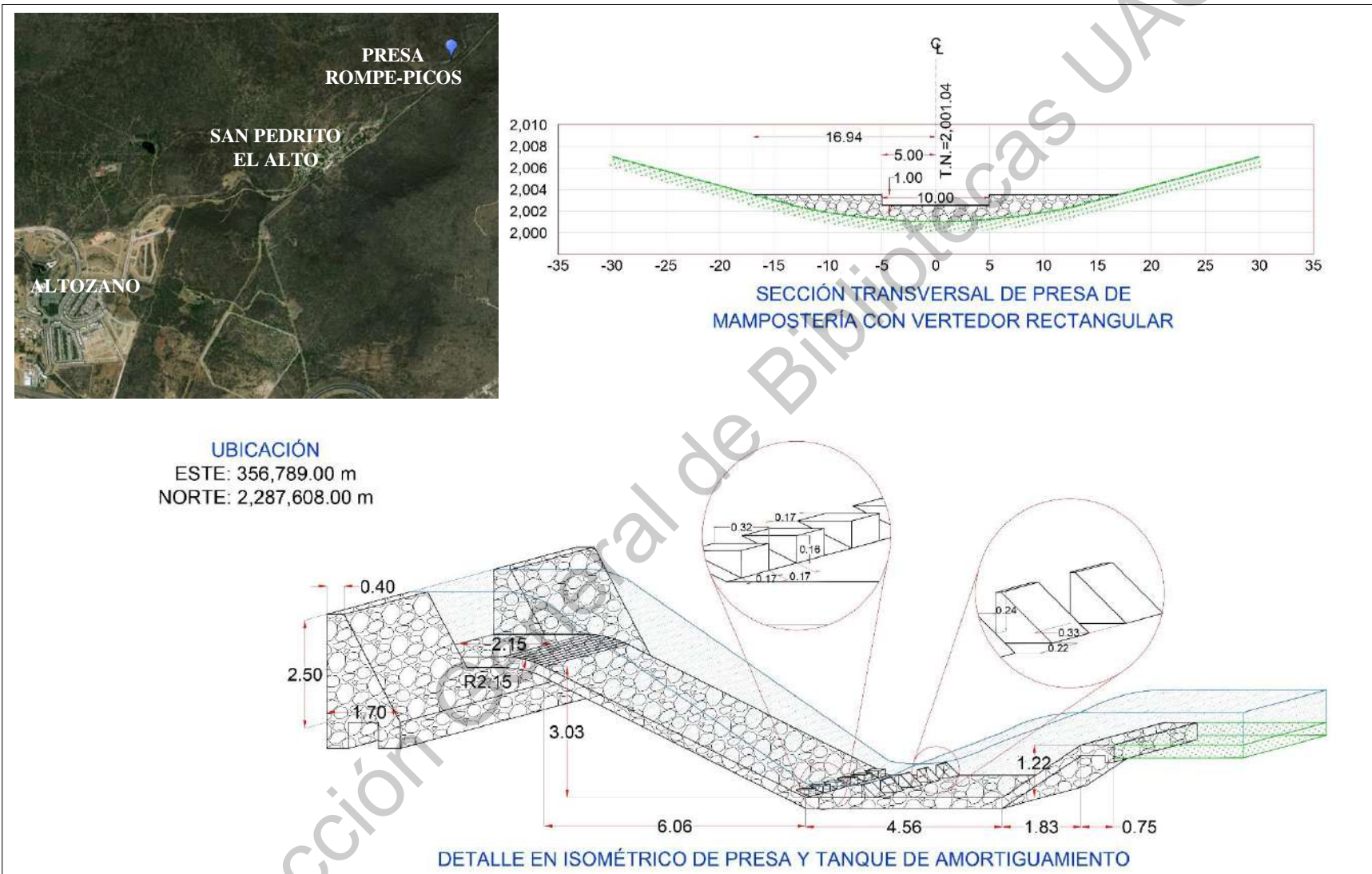


Figura 23. Presa rompe-picos de mampostería

#### 6.4.1 Análisis de costo de la presa rompe-picos de mampostería

Al igual que los puntos anteriores, se analizaron los costos que implicarían la construcción de una presa rompe-picos de mampostería, los datos requeridos fueron: materiales, mano de obra, herramienta, maquinaria y equipo (Tabla 10).

Cabe mencionar que este costo es aplicable para 1 m<sup>3</sup> de mampostería y de acuerdo a las dimensiones propuestas para esta estrategia, se deben considerar 25.83 m<sup>3</sup>, por lo que el precio total sería de **\$99,717.41 (noventa y nueve mil setecientos diecisiete pesos 41/100 M.N.)**.

Tabla 10. Análisis de costo de la presa rompe-picos de mampostería

<b>1. MATERIALES</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Agua	m <sup>3</sup>	0.3	\$28.61	\$8.58
Arena de mina	m <sup>3</sup>	1.2	\$360.00	\$432.00
Cemento (gris) Portland tipo II puzolánico	Ton	0.4	\$3,250.00	\$1,300.00
Piedra braza	m <sup>3</sup>	1.5	\$360.00	\$540.00
<b>Total de materiales</b>				<b><u>\$2,280.58</u></b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Ayudante	jornada	1	\$548.27	\$548.27
Oficial albañil	jornada	1	\$863.50	\$863.50
Cabo de oficios	jornada	0.1	\$929.85	\$92.99
<b>Total de mano de obra</b>				<b><u>\$1,504.76</u></b>
<b>3. EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Herramienta menor	%	3%	\$1,504.76	\$45.14
Equipo de seguridad	%	2%	\$1,504.76	\$30.10
<b>Total equipo, maquinaria y herramienta</b>				<b><u>\$75.24</u></b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b><u>\$3,860.58</u></b>	

Comparando el costo de la obra contra la inversión de 2016 del municipio de Querétaro para infraestructura pluvial, drenaje y agua potable de \$35,074,671.11 (treinta y cinco millones setenta y cuatro mil seiscientos setenta y un pesos 00/100 M.N.), se invertiría

únicamente el 0.28% que, en ese año, por lo que comparando esta cantidad contra los daños que se tienen recurrentemente en la microcuenca San José el Alto se vuelve una obra viable para la mitigación de inundaciones.

## 7. DISCUSIÓN

Las ciudades en constante crecimiento se caracterizan no sólo por el aumento de su población y mancha urbana, sino también por el incremento de desastres naturales, principalmente en la periferia urbana donde debido al intenso cambio de uso de suelo resalta el riesgo a inundaciones (Hernández y Vieyra, 2010 y Zimmermann y Bracalenti, 2014). El análisis de susceptibilidad a inundaciones indica que la Microcuenca San José el Alto cumple con las características anteriores, pues las áreas con riesgo coinciden con la mancha urbana, además, Pelling (2005 citado en Hernández y Vieyra, 2010) menciona que debido a la concentración poblacional este tipo de eventos pueden provocar pérdidas humanas, materiales y económicas, lo cual se ha presentado en la zona de estudio en años anteriores, tal como fue en 2014 y 2017.

Otra característica del crecimiento de la mancha urbana es el cambio constante del uso de suelo y con ello, la impermeabilización de zonas de percolación, lo que es un factor detonante para inundaciones, pues ocasiona la sobrecarga de la infraestructura pluvial, así como la pérdida de servicios ambientales, tal como la regulación de escurrimientos y de temperatura (Zimmermann y Bracalenti, 2014), el balance hídrico obtenido en el presente trabajo es congruente con lo anterior, ya que se puede apreciar que en la zona urbana de la microcuenca se presenta un aumento de temperatura y menor infiltración, principalmente en la zona funcional baja, donde se encuentra la mayor parte de la mancha urbana, en cambio en la zona funcional media y alta la temperatura es menor y la capacidad de infiltración es mayor, esto debido especialmente a la cobertura vegetal que se conserva.

Respecto a los constantes cambios de uso de suelo, Romero y Vázquez (2005) consideran necesario analizar diversos escenarios de cambio de uso de suelo para detectar problemas, sin embargo, en la microcuenca San José el Alto se han presentado situaciones que modificaron la dinámica hídrica y aportan hacia la formación de inundaciones, de lo cual



destaca la desaparición de cuerpos de agua, los cuales permitían la regulación de escurrimientos y los asentamientos urbanos dentro del vaso de inundación de bordos es otro factor detonante en la formación de inundaciones. Al respecto, Lafflito y Zuleta (2012) indican que se deben proponer estrategias estructurales específicamente para espacios periurbanos, ya que no siempre se cuenta con una planeación adecuada o bien, se presenta un crecimiento desordenado y no controlado, lo cual es el propósito de esta investigación.

Las estrategias de adaptación de áreas verdes propuestas en esta investigación están basadas tanto en la gestión de cuencas como en la gestión de riesgo, esto debido a que se busca implementar medidas que mitiguen las afectaciones que tienen los habitantes de la microcuenca San José el Alto debido a inundaciones, por lo que se cumplen los objetivos principales de cada una de las gestiones, esto de acuerdo con Dourojeanni y Jouravlev (1999).

Respecto a los actores clave entrevistados, coinciden en que el crecimiento urbano no controlado es uno de los principales factores detonantes de inundación, así como en la importancia de abordar las inundaciones desde el enfoque de cuencas. De acuerdo con la información obtenida en las entrevistas, las zonas que se inundan recurrentemente se encuentran en la zona funcional baja de la microcuenca, principalmente en las colonias El Salitre y Jurica, lo que es congruente con la cartografía obtenida en la presente investigación. La mayoría de los actores entrevistados coinciden en la importancia de llevar a cabo una estrategia aguas arriba de la mancha urbana, sin embargo, de acuerdo al análisis topográfico e hidrológico, se propusieron distintas zonas para llevar a cabo el planteamiento de la adaptación de áreas verdes, también se consideraron otros factores como la seguridad social al proponer las ubicaciones, pues al ser zonas con poco o nulo tránsito peatonal no se corre riesgo de vandalismo, accidentes o que perjudiquen el paisajismo de la zona, además, al momento de realizar las obras pertinentes, tampoco causaría molestias a la sociedad ni afectaría el tránsito vehicular.

Si bien, existe apoyo por parte de las autoridades competentes en el municipio de Querétaro en caso de desastre, este riesgo podría evitarse empleando las medidas de mitigación de inundaciones necesarias para proteger a los ciudadanos residentes de la microcuenca, pues como bien lo mencionaron los entrevistados, no solamente se trata de

pérdidas materiales, sino de daños emocionales y psicológicos, al punto de temer en cada temporada de lluvia.

Debido a lo anterior, es que para la elaboración de las estrategias y de acuerdo con la gestión de cuencas, se consideraron a los habitantes de la microcuenca, pues aportan hacia la identificación del riesgo, no sólo de inundación, sino también de las carencias de las estrategias actuales para mitigar, controlar o remediar los daños provocados por inundaciones, es decir, la gestión de riesgo implementada actualmente por las autoridades involucradas, es por ello que se opta por estrategias que requieran poco mantenimiento, además, por la red de comunicación que tienen los residentes de la microcuenca, se entiende que sería viable su capacitación para que ellos mismos dieran seguimiento a las obras y ya sea que soliciten a las autoridades competentes el mantenimiento o ellos mismos formen brigadas capacitadas adecuadamente para llevarlo a cabo pues de acuerdo a sus respuestas en la entrevista, son conscientes del riesgo en el que se encuentran en cada temporada de lluvias y están en total disposición de ayudar a mitigarlo.

El factor económico, también es un punto importante a analizar, pues de acuerdo con Protección Civil, únicamente se destinan 2.5 millones de pesos para la atención a inundaciones. Sin embargo, esta cantidad se tiene que gestionar para todo el municipio, no únicamente para la delegación Epigmenio González, en la cual se ha analizado el riesgo de inundaciones para el presente trabajo. Es importante mencionar que Protección Civil si bien, apoya en caso de inundación no cuenta con las facultades necesarias para llevar a cabo obras de mitigación como lo son las propuestas en esta investigación, la entidad encargada de hacerlo sería Obras Públicas del Municipio de Querétaro.

Las estrategias se propusieron en un corredor verde a lo largo de una avenida y el cinturón verde que rodea la ciudad, mismos que de acuerdo con Flores y González (2010) son consideradas como áreas verdes, además, de acuerdo con los Planes Parciales de Desarrollo Urbano de la zona, estas áreas actualmente ya están contempladas como área verde o bien, como área de preservación ecológica por lo que las estrategias están diseñadas para no interferir posteriormente con el crecimiento urbano.

Una adaptación es la capacidad de ajuste frente a entornos cambiantes, esto de acuerdo con el IPCC (2001, citado en Hernández., 2012), desde esta definición se plantearon

las estrategias para mitigar inundaciones, además, debido al cambio de uso de suelo y la impermeabilización que se ha presentado en parte de la microcuenca es que se optó por una propuesta que favorezca la infiltración, tal como es el caso del pozo de absorción, otro problema es el rápido tiempo de concentración, por lo que las otras dos obras propuestas aportan hacia la mitigación de velocidades en los escurrimientos y al almacenamiento, esto es las presas de gaviones y la presa rompe-picos. Como se mencionó anteriormente, llevar a cabo estas obras sería responsabilidad de gobierno Municipal, de acuerdo con las cifras publicadas en 2016, mismas que son las más recientes, se invirtieron \$35,074,671.11 en infraestructura de agua potable, drenaje sanitario y drenaje pluvial, de acuerdo con el análisis de precios elaborado en esta investigación, el costo total de las obras propuestas es de \$416,951.36, lo que significa un 1.19% de la inversión, que beneficiaría a 34,721 habitantes, por lo que se considera sería viable económicamente.

## **8. CONCLUSIONES**

Las condiciones naturales de la microcuenca por si solas pueden aportar hacia la formación de inundaciones, tal como la edafología, hidrografía y topografía, sin embargo, los factores antropogénicos pueden aportar en mayor medida, pues el crecimiento urbano desordenado o no controlado puede provocar eventos con más afectaciones, por ello se entiende la importancia de respetar los Planes Parciales de Desarrollo Urbano.

De igual manera, es importante la vigilancia por parte de las autoridades, pues, aunque apoyan a la población durante y después de las inundaciones, existe carencia de información respecto al entorno que habitan y los riesgos que puede conllevar bloquear cauces naturales o tener asentamientos urbanos en las inmediaciones de cuerpos de agua cuyo propósito es regular escurrimientos. A pesar de tener infraestructura proyectada para mitigar inundaciones, tal como el Plan Pluvial, no se cuentan con obras con capacidad para regular los escurrimientos o conducirlos efectivamente a través de la mancha urbana.

En cuanto a los habitantes de la microcuenca San José el Alto, se aprecia que en cada zona se han llevado a cabo diversas estrategias para controlar el daño causado por

inundaciones, sin embargo, pocos son los que tienen estrechas relaciones entre ellos mismos y entidades gubernamentales con la finalidad de vigilar la capacidad de los cuerpos de agua, solicitar limpieza de drenes o capacitarse para comprender la dinámica hídrica del sitio que habitan y el motivo de las inundaciones para lograr mitigarlas. Esta información no es accesible para todos los habitantes, pues no es solo una red de comunicación donde todos puedan aportar, sino que cada colonia trabaja independientemente y las autoridades sólo apoyan durante y después de los eventos, por lo que sería recomendable capacitar a los residentes afectados y con posibilidades a ser afectados por inundaciones sobre las medidas que pueden tomar para mitigar el riesgo.

Con las estrategias de adaptación de áreas verdes de este proyecto se considera importante controlar y almacenar los escurrimientos para que la zona urbana (zona baja) de la microcuenca reciba menor cantidad de agua, al mismo tiempo que pueda ser conducida eficientemente por la infraestructura pluvial, o bien, si se llega a tener una inundación, que esta sea con menor impacto que las anteriores. También se busca que tengan el menor impacto posible en cuanto al paisajismo local y aunque sólo un área quedaría expuesta ante la población, no es una zona donde se tengan actividades recreativas.

La presente investigación tiene la finalidad de ser útil para la mitigación de inundaciones en la microcuenca San José el Alto y que aporte a las autoridades y a la población en general información necesaria para comprender la dinámica hídrica de una cuenca, así como reconocer los principales factores detonantes de inundaciones en la periferia urbana y en la propia área central de la ciudad de Querétaro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, A. & Hernández, J. (2019). Vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la microcuenca Menchaca, Querétaro. *Revista NTHE*, 27, 20-26. Recuperado de [http://nthe.mx/contadores/art27-2.php?download\\_csv=1](http://nthe.mx/contadores/art27-2.php?download_csv=1)
- Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa.
- Aragón, F. y Quezada, A. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. Lima, Perú: Soluciones prácticas. Recuperado de [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19850/InundacionesCuencasUrbanasLATAM%28Aragon\\_2014%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19850/InundacionesCuencasUrbanasLATAM%28Aragon_2014%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Astudillo, R. (24 de 08 de 2017). Avanza la mancha urbana y decrecen las tierras de protección. *El universal*. Recuperado de <http://www.eluniversalqueretaro.mx/content/avanza-la-mancha-urbana-y-decrecen-las-tierras-de-proteccion>
- Badillo, C. (2017). *Jardines de lluvia una estrategia paisajística para aprovechar el agua pluvial en las ciudades caso de estudio: Azcapotzalco*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11191/5962>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada*. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos.
- Bazai, G. (2015). Potencialidad de la metodología de evaluación multicriterio aplicada con Sistemas de Información Geográfica. En *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones* (99-111). Chile: Editorial Triángulo.
- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio Abierto Venezolano de Sociología*, 19(3), 475-503.
- Benítez, D. (2019). *Calidad ambiental, accesibilidad y funcionalidad de las áreas verdes urbanas en la periferia de Querétaro. Casos de estudio Santa Rosa Jáuregui, Juriquilla y Jurica*. Tesis de licenciatura. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.

- Berga, L. (2011). Las inundaciones en España. La nueva Directiva Europea de inundaciones. *Revista de obras públicas*, 158 (3,520), 7-18. Recuperado de [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2011/2011\\_abril\\_3520\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2011/2011_abril_3520_02.pdf)
- Buitrago, C. & Ochoa, D. (2013). *Recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces* (Tesis de especialidad, Universidad Católica de Colombia). Recuperado de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1006/2/Recomendaciones\\_imple mentaci%C3%B3n\\_obras\\_protecci%C3%B3n\\_control\\_cauces.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1006/2/Recomendaciones_imple mentaci%C3%B3n_obras_protecci%C3%B3n_control_cauces.pdf)
- Camaño, J. & Arumí, J. (2018). Desafíos del drenaje urbano en Chile. *Tecnologías y ciencias del agua*, 9(5), 132-152. Recuperado de <http://187.189.183.42/ojs/index.php/tyca/article/view/2000/1465>
- Campos, D. & Román, A. (2017). Impacto de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica, periodo 2000-2015. *Geo UERJ*, (30), 440-465. Recuperado de <https://doi.org/10.12957/geouerj.2017.26116>
- Cardona, O. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En *Los desastres no son naturales* (51-74).: La Red. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19762>
- Cardona, O. (2008). Medición de la gestión del riesgo en América Latina. *Revista internacional de sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. 3, 1-20. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7056/cardona.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), (2014). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. México: Secretaría de Gobernación. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDEDESASTRESENMEXICO.PDF>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración*. Lima:

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Recuperado de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf)

Chávez, M., Binnqüist, G. & Salas, A. (2017). Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones en la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(10), 97-109. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282017000100097&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282017000100097&script=sci_arttext)

Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.

Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA), (2011). *Manual para el control de inundaciones*. México: CONAGUA. Recuperado de <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf>

Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA), (2018a). Información Estadística Climatológica [Inventario de registros por año de la estación climatológica 22045 Juriquilla]. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA), (2018b). Información Estadística Climatológica. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA), (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Querétaro (2201), Estado de Querétaro. Recuperado de [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/queretaro/DR\\_2201.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/queretaro/DR_2201.pdf)

Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA), (2010). Servicio Meteorológico Nacional Normales climatológicas [Datos de la estación climatológica 22045 Juriquilla]. Recuperado de

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL22045.TXT>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), (2014). Estudio previo justificativo para la declaratoria como área natural protegida: Peña Colorada.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), (2018). Control de la profundidad de cárcavas. En *Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales* (246-286). México: CONAFOR. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>

Córdova, M. (2016). *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. Recuperado de [https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)

Coronel, A., Feldman, S. & Piacentini R. (2014). *Efecto de agricultura y forestación urbana y peri-urbana sobre la mitigación y adaptación al cambio climático: impactos sobre la temperatura*. (Informe técnico, Universidad Nacional del Rosario).

Cortés, J., Cortés, H. & Rodríguez, Y. (2015). *Actualización cartográfica de la Reserva Hídrica de la Laguna Suesca, Cundinamarca por medio de imágenes aéreas* (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas). Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4884/CortesJohnAlexander2015.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

Díaz, J. (2013). Fortalecimiento de la participación en espacios de gestión del agua. El Grupo especializado de saneamiento del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/S99120968\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/S99120968_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dunne, T. & Leopold L. (1978). *Water in Environmental Planning*. San Francisco, USA: W. H. Freeman and Co.



- ESRI (Economic and Social Research Institute) (2013), Software “ArcGis”, version 10.0, Nueva York, ESRI.
- Farfán, F., Urbina, L., Ferreira, S. & Brandan, M. (2010). Caracterización y red de drenaje de la subcuenca del Río Tin-Tin, PN. Los Cardones, Salta. *Ciencia*, 5 (16), 7-21. Recuperado de <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v160/pdf/ciencia16-1.pdf>
- Ferrari, M. (2012). Análisis de vulnerabilidad y percepción social de las inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina. *Revista colombiana de Geografía*, 21(2), 99-116. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281823592008.pdf>
- Flores, R. & González, M. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista mexicana de cuencas forestales*, 1(1), 17-24. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S20071132201000010003&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20071132201000010003&lng=es&tlng=pt)
- Franco, F. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de ingeniería*, 31, 97-108. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121015012007.pdf>
- García, A (2008). *Historia y desastres en América Latina*. México: La Red-CIESAS. Recuperado de [http://www.academia.edu/download/33643447/turismo\\_\\_pobreza\\_y\\_dependencia\\_pdf.pdf](http://www.academia.edu/download/33643447/turismo__pobreza_y_dependencia_pdf.pdf)
- García, A. (coordinadora). (1996). Introducción. En *Historia y desastres en América Latina (11-34)*, Volumen I. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- García, A. (coordinadora). (1997). Las sequías y sus impactos en las sociedades del México decimonónico, 1856-1901. En *Historia y desastres en América Latina (219-257)*, Volumen II. Perú: La Red-CIESAS.
- Gobierno del Estado de Querétaro (2016). *¿En qué se gasta tu dinero el municipio de Querétaro?* Recuperado de <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/PresupuestoCiudadanoEnero-Diciembre2016.pdf>
- Gómez, M. & Barredo, J. (2006). *Sistemas de información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. México: Alfaomega.

Google (2021). [Imagen Satelital de la zona norte de la ciudad de Querétaro]. Recuperado el 28 de febrero 2021.

Hernández, G.J. (2014). Diagnóstico de escenarios de riesgo vinculado con eventos y amenazas de origen hidrometeorológico en el estado de Querétaro. En Suzán, A., Cambrón, S., García, R., Guevara, E., Luna, S., y González, S. (Eds.). *Elementos técnicos del programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro* (pp. 97-116). Querétaro, México: CONACYT-SEMARNAT, INE-Gobierno del estado de Querétaro, INECC.

Hernández, J. y Vieyra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace? *Revista de Geografía Norte Grande*, 47, 45-62. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022010000300003&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022010000300003&script=sci_arttext&tlng=en)

Hernández, R., Barrios, H. & Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundaciones: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n3/2007-2422-tca-8-03-00005.pdf>

Instituto Municipal de Planeación del Municipio de Querétaro (IMPLAN), (2018a). Carta Topográfica [Mapa de crecimiento del área urbana 1970 - 2018]. Recuperado de [http://implanqueretaro.gob.mx/im/st/3/art\\_cm/CrecimientoAreaUrbana1970-2018.pdf](http://implanqueretaro.gob.mx/im/st/3/art_cm/CrecimientoAreaUrbana1970-2018.pdf)

Instituto Municipal de Planeación del Municipio de Querétaro, (IMPLAN), (2018b). Carta Topográfica [Asentamientos irregulares y de marginación]. Recuperado de <http://implanqueretaro.gob.mx/im/q500/2/6/Equidad-AsentIrregularesMarginacion.pdf>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (1973a). Carta Topográfica [Carta de Uso de suelo Querétaro y Guanajuato, escala 1:50,000]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825653644>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (1973b). Carta de uso de suelo y vegetación [Carta Uso del Suelo Querétaro, escala 1:50,000]. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/Usos\\_suelo\\_hist/1\\_50\\_00/serie\\_I/702825653644.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/Usos_suelo_hist/1_50_00/serie_I/702825653644.pdf)

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250000 Serie II Continuo Nacional Querétaro.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2013). Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000, Serie V.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2015a). Dinámica de crecimiento [Censos poblacionales del Estado de Querétaro de 1900 a 2015]. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/queret/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=22>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2015b). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica F14C65 Querétaro escala 1:50000 serie III.

Kirpich ZP. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Journal of Civil Engineering*. 10(6): 362

Krishnamurthy, L. & Rente, J. (1998). *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. México: Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible UAC.

Lafflito, C. & Zuleta, G. (2012). El periurbano y la planificación de ciudades sustentables. El caso de Buenos Aires, Argentina. (Documento para cátedra, Universidad Nacional de Lomas de Zamora).

Lavell, A. (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una definición. *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS*, 4, 1-22. Recuperado de [https://www.undp.org/content/dam/undp/documents/cpr/disred/espanol/\\_glr\\_andino/docs/METODOLOGIA%20DE%20SISTEMATIZACION%20PARA%20](https://www.undp.org/content/dam/undp/documents/cpr/disred/espanol/_glr_andino/docs/METODOLOGIA%20DE%20SISTEMATIZACION%20PARA%20)

DIAGRAMAR/apuntes\_hacia\_una\_definici\_n\_de\_la\_gesti\_n\_de\_riesgo\_A\_llan\_La\_vell.pdf

- León, J. (2008). *Las áreas verdes urbanas en las ciudades de Michoacán. Estructura, tipología y criterios para su planeación y diseño*. Tesis de Doctorado. México D.F.: Universidad Autónoma de México.
- López, M. & Sánchez, L. (2011). Vulnerabilidad ante inundaciones en un sector de la Ciudad de Coro Sobre Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería Hidráulica Ambiental*, (32), 69-74.
- Magdaleno, F., Cortés, F. & Molina, B. (2018). Infraestructuras verdes y azules: estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático. *Cambio climático y sostenibilidad*, 191, 105-112. Recuperado de <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2350>
- Martínez, A. (2006). Particularización al método de los coeficientes de escorrentía. *Método de los coeficientes de escorrentía*. Marco Generalizado, 1-28. Recuperado de <http://www.oasification.com/archivos/Coefficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>
- Martínez, P., Díaz, C. & Moeller, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-1212. Recuperado de <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10502>
- Máyer, P. (2002). Desarrollo urbano e inundaciones en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1869-2000). *Investigaciones geográficas*, 28(número), 145-159. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/176/17602808.pdf>
- Michel, A. (2016). *Riesgo por escurrimiento hídrico superficial y propuesta de mitigación en La Cañada Menchaca, Querétaro*. Tesis de Maestría. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Morote, A. (2017). El parque inundable “La Marjal” de Alicante (España) como propuesta didáctica para la interpretación de los espacios de riesgo de inundación. *Didáctica Geográfica*, 18, 211-230. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/73883>

Moyer, E. (27 08, 2018). Aprovechando de la infraestructura verde en Chile [Blog]. Recuperado de <https://www.nrdc.org/es/experts/erika-moyer/aprovechando-infraestructura-verde-chile>

Municipio de Querétaro, (2016). Presupuesto de egresos 2016. Recuperado de <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/PresupuestoCiudadanoEnero-Diciembre2016.pdf>

Municipio de Querétaro, (2018a). Plan parcial de desarrollo [Delegación Epigmenio González]. Recuperado de <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/PPEpigmenioGonzalez.pdf>

Municipio de Querétaro, (2018b). Plan parcial de desarrollo [Delegación Santa Rosa Jáuregui]. Recuperado de <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/PPSantaRosaJauregui.pdf>

Municipio de Querétaro, (2018c). Plan parcial de desarrollo [Delegación Félix Osores Sotomayor]. Recuperado de <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/PPFelizOsores.pdf>

Navarro, M. (08 de 10 de 2019). Ejidatarios de Peña Colorada exigen transparencia. *El Universal Querétaro*. Recuperado de <https://www.eluniversalqueretaro.mx/sociedad/ejidatarios-de-pena-colorada-exigen-transparencia>

Norma Oficial Mexicana (NOM), (2007). Infiltración artificial de agua a los acuíferos, características y especificaciones de las obras del agua. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/NOM-015-CONAGUA2007.pdf>

Olvera, K. (2019). *Acceso, distribución y disponibilidad del agua en la microcuenca San José el Alto, Querétaro*. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro).

OMM/UNESCO, (Organización Meteorológica Mundial / Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), (2012). *International glossary of hydrology*. Zwitterland: World Meteorological Organization. Recuperado de

[https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef\\_0000221862&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach\\_import\\_222e0600-9fe8-4900-ab95-20a7820ab75e%3F\\_%3D221862qaa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000221862/PDF/221862qaa.pdf#%5B%7B%22num%22%3A1391%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2Cnull%2C0%5D](https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000221862&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_222e0600-9fe8-4900-ab95-20a7820ab75e%3F_%3D221862qaa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000221862/PDF/221862qaa.pdf#%5B%7B%22num%22%3A1391%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2Cnull%2C0%5D)

Ordóñez, J. (2012). *Balance Hídrico Superficial*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/balance\\_hidrico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), (2007). *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. Roma: FAO.

Paniagua, F. (19 de 08 de 2014). Daña 500 casas en Querétaro. *El Diario MX*. Recuperado de [http://diario.mx/Nacional/2014-08-19\\_4b6bc62b/dana-lluvia-500-casas-en-queretaro/](http://diario.mx/Nacional/2014-08-19_4b6bc62b/dana-lluvia-500-casas-en-queretaro/)

Payán, A. (13 de 10 de 2019). Que SEMARNAT ya tiene el caso de Peña Colorada. *Diario de Querétaro*. Recuperado de <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/que-semarnat-ya-tiene-el-caso-de-pena-colorada-4308514.html>

Pelling, M. (2005) Measuring vulnerability to urban disaster risk. *Open House International on managing urban disasters*, N° 1, p. 125-132.

Peña, A. (2017). *Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José el Alto, Querétaro*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

Pérez, A., Gil, S. & Olcina, J. (2015). Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish south-eastern coast (1975–2013). *Journal of Flood Risk Management*, 11(2018), 302-313. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jfr3.12207>

Pladeyra, D. (2003). Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma-Chapala.

- Rivera, L., Solís, H., Jiménez, F. & Faustino, J. (2004). Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente*, 43, 125-131. Recuperado de [http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/6269/Evaluacion\\_de\\_la\\_amenaza\\_y\\_vulnerabilidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/6269/Evaluacion_de_la_amenaza_y_vulnerabilidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Romero, H. & Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *Revista Eure*, 31(94), 97-117. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612005009400006&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612005009400006&script=sci_arttext)
- Rotger, G. (2018). Mitigación del riesgo de inundación a partir de la planificación del paisaje. Caso: Arroyo del Gato. Gran la Plata (Buenos Aires, Argentina). *Urbano*, 21(37), 44-53. Recuperado de <https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.37.04>
- RRNoticias (16 de febrero de 2017). Arranca limpieza de dren El Salitre y obras pluviales en el Centro Histórico. *RRNoticias*. Recuperado de <https://rrnoticias.mx/2017/02/16/arranca-limpieza-dren-salitre-obras-pluviales-centro-historico/>
- Ruiz, V. (01 de 02 de 2020). Peña Colorada otra vez en polémica. *Diario de Querétaro*. Recuperado de <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/pena-colorada-otra-vez-en-polemica-4778324.html>
- Saborio, J. (2009). Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque del riesgo integral. *Revista Geográfica*, 43, 25-350. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744817002.pdf>
- Salgado, R. (2005). *Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del Río Gila, Copán, Honduras* (Tesis de posgrado, Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza). Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5256/Analisis\\_integral.pdf;jsessionid=F8588A5F59009AA73B15EDA06D644CF2?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5256/Analisis_integral.pdf;jsessionid=F8588A5F59009AA73B15EDA06D644CF2?sequence=1)

- Sandoval, W. & Agüera, E. (2014). Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica. *Revista Ciencia UNEMI*, 2, 100-110. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5210356.pdf>
- Santillán, E., Dávila, G., Anda, J. & Díaz, J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazonas, Veracruz, México. *Revista Ambiente y Agua*. 8(3), 104-117. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n3/v8n3a09.pdf>
- Secretaría de Educación Pública (SEP), (2016). Qué es la participación social. Recuperado de <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/que-es-la-participacion-social#:~:text=Es%20la%20intervenci%C3%B3n%20de%20los,una%20concesi%C3%B3n%20de%20las%20instituciones.>
- SIGEMA SA de CV. (2015). *Atlas de Riesgos del Municipio de Querétaro 2015 (3.1)*. Recuperado de <http://72.14.184.134/municipio/archivos/trans/Atlas%20de%20Riesgos%20de%20Queretaro.pdf>
- Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA), (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades. Infiltración pluvial*. (Capítulo 5. Infiltración pluvial). Recuperado de [https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo\\_5.\\_infiltracion\\_pluvial.pdf](https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_5._infiltracion_pluvial.pdf)
- Soldano, Á., Giraut, M. & Goniadzki, D. (2007). Mapa de susceptibilidad urbana ante inundaciones, caso: Ciudad de Goya, Provincia de corrientes. *XII Congreso de la asociación española de teledetección*. Recuperado de <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg60.pdf>
- Sorenson, M., Keipi, K., Barzetti, V. & Williams, J. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment División. Recuperado de [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/80827/mod\\_resource/content/1/Manejo%20de%20las%20areas%20verdes%20urbanas\\_BM\\_1997.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/80827/mod_resource/content/1/Manejo%20de%20las%20areas%20verdes%20urbanas_BM_1997.pdf)



- Taboada, M. A., Damiano, F., & Lavado, R. S. (2009). Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. En *Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*, (149-184). Argentina: Facultad de Agronomía. Recuperado de [http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/82-Inundaciones\\_en\\_la\\_region\\_pampeana.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/82-Inundaciones_en_la_region_pampeana.pdf)
- Universidad Autónoma de Querétaro. (2009). *Actualización del plan maestro pluvial de la zona metropolitana de Querétaro 2008-2025*. Recuperado de <http://implanqueretaro.gob.mx/im/st/5/2/1/PlanMaestroPluvial2008-2025.pdf>
- Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 63-86. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022016000100005&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022016000100005&script=sci_arttext)
- Velasco, M. & Russo, B. (2015). Análisis coste beneficio de medidas de adaptación para reducir los impactos del cambio global en inundaciones urbanas: aplicación en el caso de estudio de Barcelona. *Córdoba: IV Jornadas de Ingeniería del Agua. La precipitación y los procesos erosivos*. Recuperado de <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2015/c/c010.pdf>
- Vigil, R., Rodríguez, L. & Córdova, A. (27 de 09 de 2017). Se abre socavón en Querétaro por lluvias; reportan inundaciones. *El Universal*. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/estados/se-abre-socavon-en-queretaro-por-lluvias-reportan-inundaciones>
- Wilches, G. (1993). La vulnerabilidad Global. En *Maskrey, A. Los desastres no son Naturales*. Colombia: La Red, ITDG. Tercer Mundo Editores.
- Zimmermann, E. & Bracalenti, L. (2014). *Reducción de riesgo de inundación urbana mediante incremento de áreas para la agricultura y la forestación urbana y periurbana*. IV Taller de Regionalización de Precipitaciones Máximas. Recuperado de <https://www.ruaf.org/sites/default/files/Reduccion%20de%20riesgo%20de%20inun>

dacion%20mediante%20incremento%20de%20%20areas%20de%20la%20agricultu  
ra%20urbana%20y%20peri-urbana%20Final.pdf

Zimmermann, E., Bracalenti, L. & Onocko, A. (2015). Infraestructura verde como alternativa sustentable para reducir el riesgo hídrico en áreas urbanizadas. *Cuadernos de Curiham*, 21, 55-69. Recuperado de <http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/7138/Infraestructura%20verde%20como%20alternativa%20sustentable%20.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## ANEXOS

### Anexo I. Entrevista



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

#### Entrevista a colonos y residentes

#### Adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones

##### Datos Generales:

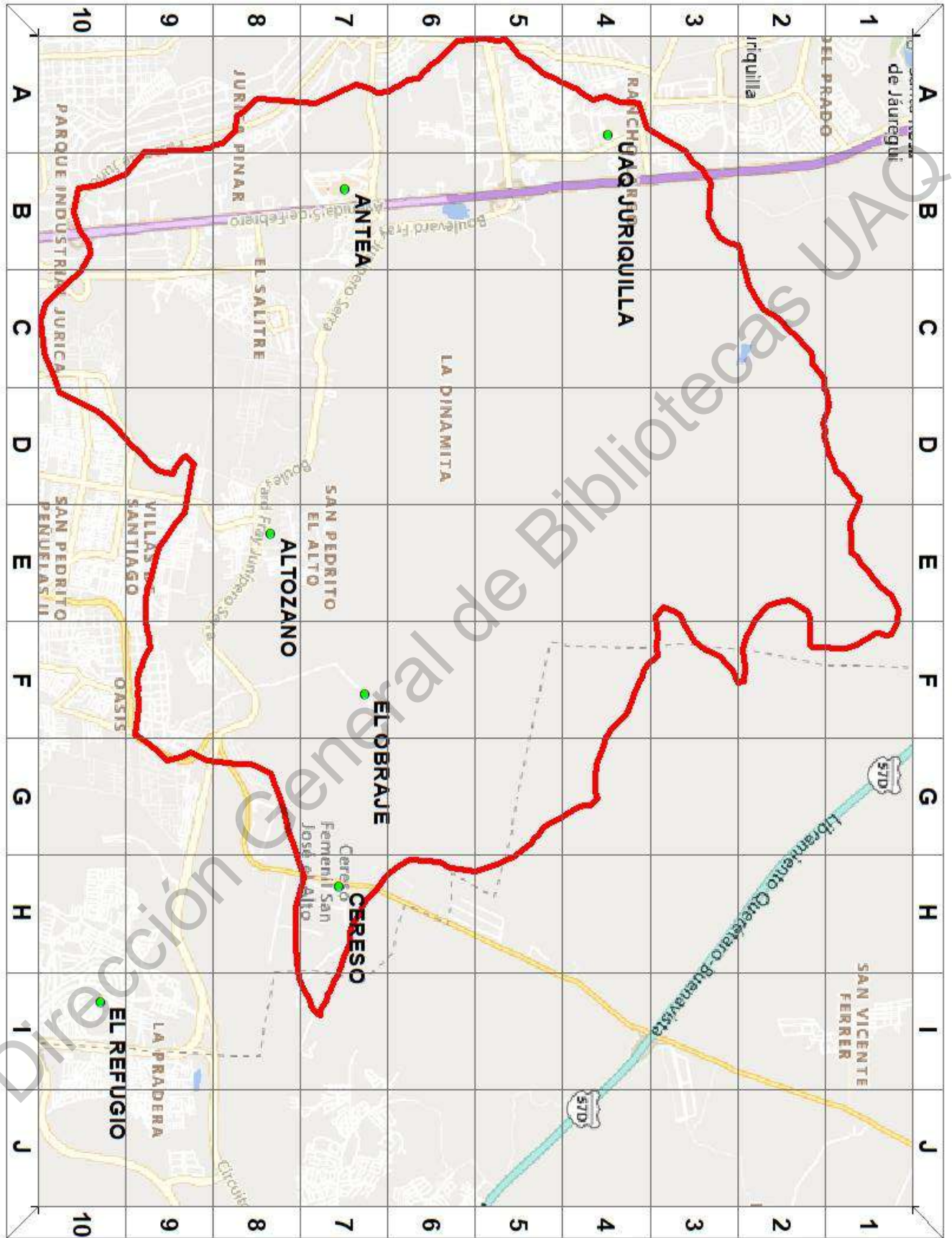
<b>Nombre:</b>	
<b>Fecha:</b>	/ /
<b>Colonia:</b>	
<b>Institución:</b>	
<b>Cargo:</b>	

1. ¿Sabe que es una microcuenca y en cuál se encuentra la zona norte de la ciudad de Querétaro?  
Explicar dónde se encuentra y los límites de la microcuenca San José el Alto para que se entienda la pregunta 3.
2. ¿Considera importante que las inundaciones se tengan que gestionar desde el enfoque de cuencas?
3. ¿Cuánto tiempo ha vivido o ha estado relacionado con la microcuenca San José el Alto?
4. ¿Cuál cree que sea la causa de inundación?
5. ¿En qué meses se presentan las lluvias y aproximadamente con qué frecuencia de presentan inundaciones?
6. ¿Cuál es la inundación más crítica que recuerde y qué afectaciones se presentaron?

7. ¿Cuáles son los daños y pérdidas que se han reportado por inundaciones?
8. ¿Cuáles son las medidas y estrategias que realizan para enfrentar el temporal de lluvias y estas les afecten lo menos posible?
9. ¿Existe algún apoyo para las personas que pierden bienes materiales durante las inundaciones? ¿Cuál?
10. ¿En su colonia, se han tenido que cubrir gastos debido a que la salud o viviendas se hayan visto afectadas por las inundaciones? ¿A cuánto asciende este monto?
11. ¿Cuáles son las autoridades que antes, durante y después de ocurridos los eventos de inundación acuden al lugar?
12. ¿Existe algún programa gubernamental para prevenir inundaciones en la zona? ¿Cuál es el nombre?
13. ¿Cómo colonia ha demandado a las autoridades se les apoye con obras o infraestructura para mitigar las inundaciones? ¿Cuáles han sido? ¿Se les han brindado?
14. ¿Los colonos toman alguna medida para desempeñar sus labores o actividades cotidianas tanto en su vivienda como con su familia cuando se presentan las inundaciones? (por ejemplo, costales de arena, elevar el nivel de la vivienda, pórticos anteriores a la vivienda, entre otros)
15. ¿Sabe que es un área verde?
16. ¿Cree que un área verde se podría adaptar para mitigar las inundaciones?
17. ¿Qué tipo de áreas considera que serían las ideales para regular avenidas y mitigar inundaciones?  
Zona vegetal ( ) Parques ( ) Jardines ( )  
Baldíos ( ) Camellones ( )

18. ¿Estaría de acuerdo en tener el área verde elegida en la opción anterior inundada en época de lluvias si con ello se logra mitigar los escurrimientos que llegan a su vivienda?
19. Según su experiencia, ¿existe la posibilidad para que el Estado quiera modificar un área verde para mitigar inundaciones?
20. Del siguiente mapa, ¿en qué zona del cuadrante y dentro del polígono considera se podría llevar a cabo esta adaptación?

Dirección General de Bibliotecas UAQ





### Entrevista a entidades gubernamentales

#### Adaptación de áreas verdes para mitigar inundaciones

##### Datos Generales:

<b>Nombre:</b>	
<b>Fecha:</b>	/ /
<b>Colonia:</b>	
<b>Institución:</b>	
<b>Cargo:</b>	

1. ¿Sabe que es una microcuenca y en cuál se encuentra la zona norte de la ciudad de Querétaro?  
Explicar dónde se encuentra y los límites de la microcuenca San José el Alto para que se entienda la pregunta 3.
2. ¿Considera importante que las inundaciones se tengan que gestionar desde el enfoque de cuencas?
3. ¿Cuánto tiempo ha vivido o ha estado relacionado con la microcuenca San José el Alto?
4. ¿Cuál cree que sea la causa de inundación?
5. ¿En qué meses se presentan las lluvias y aproximadamente con qué frecuencia de presentan inundaciones?
6. ¿Cuál es la inundación más crítica que recuerde y qué afectaciones se presentaron?
7. ¿Cuáles son los daños y pérdidas que se han reportado por inundaciones?
8. ¿Aproximadamente cuánto se invierte o se destina anualmente para los eventos de inundación de la zona?

9. ¿Las personas del sitio se muestran interesadas, proponen o respetan las acciones que se realizan para mejorar su entorno y mitigar la problemática de inundación?
10. ¿Existe algún apoyo para las personas que pierden bienes materiales durante las inundaciones? ¿Cuáles?
11. ¿Existen refugios a donde la gente pueda asistir? ¿Cuáles son y dónde están?
12. ¿Sabe que es un área verde?
13. ¿Cree que un área verde se podría adaptar para mitigar las inundaciones?
14. ¿Qué tipo de áreas considera que serían las ideales para regular avenidas y mitigar inundaciones?  
Zona vegetal ( ) Parques ( ) Jardines ( )  
Baldíos ( ) Camellones ( )
15. ¿Estaría de acuerdo en tener el área verde elegida en la opción anterior inundada en época de lluvias si con ello se logra mitigar los escurrimientos que llegan a su vivienda?
16. ¿Considera que su dependencia estaría de acuerdo en la modificación de un área verde para mitigar inundaciones o implementar alguna obra de regulación en la zona alta de la microcuenca?
17. Del siguiente mapa, ¿en qué zona del cuadrante y dentro del polígono considera se podría llevar a cabo esta adaptación?



