



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Estrategias para la mitigación de riesgo por inundaciones en la microcuenca Santa Rosa
Jáuregui, Querétaro, México

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para
Obtener el Grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta
Dulce Sonia Oreano Hernández

Dirigido por:
Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero

Querétaro, Qro., a octubre de 2020



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

Estrategias para la mitigación de riesgo por inundaciones en la
microcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Dulce Sonia Oreano Hernández

Dirigido por:

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero
Presidente

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza
Secretario

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Vocal

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez
Suplente

Dra. Diana Patricia García Tello
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Octubre, 2020
México

RESUMEN

Dentro los diversos problemas de los impactos por inundaciones, han emergido propuestas estructurales como las alteraciones de drenes, así como estrategias no estructurales a través de elaboraciones de planes y programas. Sin embargo, las problemáticas han tenido ejes comunes, el desentendimiento de la trayectoria del agua sobre una microcuenca y la desvinculación de las propias leyes y normas para mitigar los impactos de las inundaciones en zonas vulnerables. Las estrategias estructurales y no estructurales están interrelacionadas; permiten la conservación del funcionamiento de una microcuenca y que haya asentamientos fuera de inundaciones. El objetivo fue elaborar estrategias para mitigar la formación del riesgo por inundación de la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui, al norte de la ciudad de Querétaro. Los métodos utilizados fueron las delimitaciones de unidades hidrogeomorfológicas para identificar las zonas de inundaciones, el método de multicriterio para la determinación de la probabilidad del riesgo y la aplicación de entrevistas focales para las estrategias no estructurales, todo en el contexto de las unidades de zonas funcionales de la microcuenca. Los resultados obtenidos de las estrategias estructurales fueron los diseños con material mixto para el aprovechamiento de las características de la zona media y baja, y con ello mitigar las zonas de Santa Rosa Jáuregui y la zona de Juriquilla. Las estrategias no estructurales fueron hacia la incorporación de considerar la microcuenca y zonas funcionales en los artículos de las leyes que ya hacen mención. Las estrategias de mitigación estructurales y no estructurales servirán para conservar los escurrimientos de diferentes órdenes, aportar agua al acuífero y disminuir la velocidad de flujos de agua hacia las partes bajas susceptible de la microcuenca, deseando que las estrategias sean un complemento para los planes, programas y atlas de riesgo mediante la conservación de las zonas media y alta de la microcuenca.

Palabras clave: Riesgo; Inundación; Microcuenca; Zona Funcional; Mitigación.

ABSTRACT

Within the various problems of flood impacts, structural proposals such as drainage alterations have emerged, as well as non-structural strategies through the elaboration of plans and programs. However, the problems have had common axes, the lack of understanding of the path of the water over a watershed, and dissociation of the laws and regulations themselves to mitigate the impacts of floods in vulnerable areas. Structural and non-structural strategies are interrelated; they allow the conservation of functioning of a watershed and settlements outside of floods. The objective was to strategies to mitigate the formation of flood risk in the Santa Rosa Jauregui watershed, north of the city of Querétaro. The methods used were delimitation of hydrogeomorphological units to identify flood zones, the multicriteria method for determining the probability of risk, and the application of focal interviews for non-structural strategies, all under the functional zones of the watershed. The results obtained from structural strategies were designs with mixed material to take advantage of characteristics of the middle and lower functional zone, and thereby mitigate the areas of Santa Rosa Jauregui and Juriquilla. Non-structural strategies were towards the incorporation of the watershed and functional zones in regulations of the laws already mentioned. Structural and non-structural mitigation strategies will serve to conserve runoff of different orders, provide water to aquifers and slow down the flowing water to susceptible parts of the micro-watershed, hoping that strategies are a complement to plans, programs, and risk atlas through conservation of middle and upper in the functional zone of the watershed.

Keywords: Risk; Flood; Watershed; Functional Zone; Mitigation

Dedicatorias

A mis padres y hermanos, por alentarme siempre.

A mi hermano Vicente, Gaby y su familia, por su gran impulso a través del ejemplo.

A mi compañero de vida, Ricardo.

Agradecimientos

Agradezco durante este periodo de mi formación, a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que a través de la Facultad de Ciencias Naturales y la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MGIC), me brindaron apoyo en espacios y servicios para mi formación profesional.

Al grupo académico y administrativo de la MGIC, que se esfuerzan para construir y gestionar proyectos a través del Área de Investigación y Posgrado, que son fundamental en la formación de los programas y los proyectos entre universidades e instituciones. Lo cual agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), UNAM, por el apoyo económico brindado durante el proceso de la tesis, el cual se sustenta en el proyecto titulado Nuevas geografías de la urbanización en México: Transformaciones territoriales y medios de vida de sectores sociales y vulnerables en las periferias de ciudades medias (clave: AG300319).

Asimismo, se agradece el apoyo brindado al proyecto Estrategias de respuesta y adaptación a riesgos socio naturales en la periferia urbana de la ciudad de Querétaro, México (FNB 202009) de la UAQ para la culminación de la tesis.

Lo anterior escrito, no se habría realizado sin el trabajo, la experiencia y dedicación del profesor investigador, el Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero, quien me guío paso a paso como alumna, con paciencia y tolerancia, quien además de apréndele lo profesional, también aprendí que no es solo trabajar, más bien es hacer el trabajo con pasión. Estoy sumamente agradecida por brindarme su confianza y aceptarme como su tesista.

Al Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza por el apoyo brindado, en aceptar a formar parte del grupo sinodal y aceptarme en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) en la Facultad de Ciencias, UNAM, para realizar la movilidad académica, donde tuve la oportunidad de conocer un poco más acerca de las actividades que involucra la

multidisciplinaria. Gracias por toda la contribución. Y también mi sincero agradecimiento al Dr. Raúl Francisco Pineda por las aportaciones en la tesis, a través de compartir sus experiencias y conocimientos de la gestión integrada de cuencas.

A mi tutora y síndico, la Dra. Diana Patricia García Tello, quien me brindó apoyo por medio de algunas lecturas recomendadas, contribuyó a mi entendimiento del entorno social. Juntamente le doy gracias a la Dra. Tamara Guadalupe Osorno, por las observaciones y recomendaciones hechas a la tesis y como profesora de quién le aprendí a respetar a los seres vivos que no tienen voz.

Agradezco al Mtro. Anthony Philippe André Michel Bourbon por tomarse el tiempo en leer mi trabajo y aportar observaciones hacia el tema, mismas que fueron de ayuda. Aprecio el apoyo brindado de manera incondicional.

Valoro las aportaciones de cada tomador de decisión gubernamental por medio de las aplicaciones de entrevistas, a Protección Civil Municipal de Querétaro, Comisión Estatal del Agua, La Delegación de Santa Rosa Jáuregui y el Representante de la Colonia La Solana, a quienes agradezco por la información brindada.

Y claro, a mis compañeros de grupo, cada uno con una formación profesional diferente, a Marce, Ali, Arlene, JL, Marcos, Alejandro, Hugo y Lalo, de quienes podría listar cada esencia aprendida, pero solo lo puedo resumir en decir: muchas gracias por existir, por su tolerancia hacia mi persona y por formar parte de mi aprendizaje en el camino profesional, pero, sobre todo, gracias por las vivencias compartidas con cada uno de ustedes.

A todos aquellos quienes estuvieron en este espacio y tiempo, a compañeros alumnos, administrativos y profesores, ¡gracias!

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del problema.....	3
Preguntas de investigación.....	5
Justificación.....	6
Objetivo general.....	6
1. GESTIÓN INTEGRADA DEL RIESGO POR INUNDACIONES EN CUENCAS PERIURBANAS.....	7
1.1 El riesgo por inundación en cuenca.....	8
1.2 El riesgo por inundación en cuencas periurbanas.....	10
1.3 Factores del riesgo asociado a una cuenca.....	12
1.4 Gestión de riesgo por inundación en cuencas periurbanas.....	15
2. LAS INUNDACIONES Y ESTRATEGIAS GENERADAS PARA SU MITIGACIÓN.....	19
2.1 La gestión integrada del riesgo por inundación en cuencas a escala global.....	20
2.2 Planes para la mitigación del riesgo por inundación en cuencas periurbanas a nivel nacional ...	23
2.3 Consideraciones para la mitigación de riesgo por inundación en Querétaro.....	24
2.4 La gestión de riesgo por inundación en la microcuenca Santa Rosa Jáuregui.....	26
3. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS.....	30
3.1. Identificar zonas de inundación por zona funcional en la MSRJ.....	31
3.1.1 <i>Condiciones biofísicas</i>	32
3.1.2 <i>Distribución social de inundaciones registradas</i>	42
3.2 Evaluación de vulnerabilidad de objetos amenazados en zonas de inundación.....	44
3.2.1 <i>Evaluación de las zonas vulnerables</i>	45
3.2.2 <i>Análisis de condición socio residencial</i>	46
3.2.3 <i>Determinación de riesgo por inundación por zonas funcionales</i>	48
3.3 Determinación de las zonas prioritarias para la mitigación.....	50
3.4 Estrategias estructurales y no estructurales.....	52
3.4.1 <i>Estructurales</i>	53
3.4.2 <i>No Estructurales</i>	54
4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA SANTA ROSA JÁUREGUI.....	56
4. 1 Condiciones biofísicas de la MSRJ.....	57
4.1.1 <i>Geología</i>	57

4.1.2 Geomorfología	59
4.1.3 Edafología	62
4.1.4 Uso de suelo y vegetación	64
4.1.5 Rasgos morfométricos de la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui	66
4.1.6 El clima y las inundaciones registradas en la MSRJ	69
4. 2 Las zonas funcionales de la microcuenca y las inundaciones	76
4.2.1 La permeabilidad de las zonas funcionales	77
4.2.2 Las inundaciones en las zonas funcionales	79
4.3 El riesgo por inundaciones en la microcuenca	81
4.3.1 Zonas vulnerables.....	82
4.3.2 Distribución de la susceptibilidad socio residencial	84
4.3.3 Distribución del riesgo en la microcuenca	86
4.4 Zonas prioritarias la mitigación de riesgo por inundación.....	88
5. ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIONES	93
5.1 Estrategias estructurales.....	94
5.2 Estrategias no estructurales	103
CONCLUSIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
ANEXOS	130
I.- Esquema de fichas de campo (A)	130
I.- Esquema de fichas de campo (B)	131
II.- Entrevista a actores clave	132
III.- Tabla de datos de campo.....	133

Índice de figuras

Figura 1. Marco de evaluación integrada del riesgo de inundación en cuencas hidrográficas.	13
Figura 2. Índice para el riesgo por inundaciones.	14
Figura 3. Componentes del riesgo.	15
Figura 4. La integración horizontal y vertical de las actividades de planificación.	19
Figura 5. Ubicación de la microcuenca con respecto a la ciudad de Querétaro de Arteaga.	28
Figura 6. Secuencia metodológica aplicada.	31
Figura 7. Secuencia para identificación de zonas de inundaciones.	32
Figura 8. Diagrama para la construcción de las estrategias.	53
Figura 9. Secuencia para diseñar el tipo de intervención en las estrategias estructurales.	54
Figura 10. Secuencia para el diseño de las estrategias no estructurales.	55
Figura 11. Geología.	59
Figura 12. Geomorfología.	61
Figura 13. Edafología.	63
Figura 14. Uso de suelo y vegetación.	64
Figura 15. Distribución de porcentajes de uso de suelo y vegetación.	66
Figura 16. Perfil del cauce principal.	68
Figura 17. Climogramas.	69
Figura 18. (a) Distribución de escurrimiento y (b) Infiltración.	70
Figura 19. Curva de precipitación, duración y periodo de retorno de la estación Juriquilla.	73
Figura 20. División de la microcuenca en unidades de escurrimientos.	75
Figura 21. Zonas funcionales con unidades hidrogeológicas.	78
Figura 22. Zonas de inundación por zonas funcionales.	79
Figura 23. Zonas de inundación por zonas funcionales.	81
Figura 24. Áreas de incidencia de las inundaciones.	83
Figura 25. Secciones a detalle y las áreas vulnerables a inundarse.	84
Figura 26. Incidencia de inundaciones en la población susceptible.	85
Figura 27. Distribución del riesgo por inundaciones en las zonas funcionales.	87
Figura 28. Zonas prioritarias a mitigar, círculos color amarillo.	90
Figura 29. Características superficiales y del subsuelo de la zona prioritaria tres.	91
Figura 30. Desvinculación en la aplicación de construcciones de obras para mitigación.	95
Figura 31. Construcción de diques sobre en el Dren de Santa Rosa Jáuregui.	96

Figura 32. Área de acumulación de agua para el funcionamiento de un humedal.	98
Figura 33. Características biofísicas de la ZFB. Secciones transversales.	99
Figura 34. Diseño de obra tipo bordo y encausamiento con gaviones para la mitigación de riesgo por inundación de aguas abajo del Dren de Juriquilla.	101
Figura 35. Estructuras propuestas para la mitigación de riesgo por inundaciones en la U1.....	103
Figura 36. Ausencia de transversalidad entre programas para mitigar las inundaciones.	106
Figura 37. Proyección de los usos de suelo con base en las UGAs sobre las zonas funcionales. ...	112
Figura 38. Estrategias no estructurales para la mitigación de riesgo por inundación.....	113

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la MSRJ.	33
Tabla 2. Rangos de valores de porosidad (n).....	34
Tabla 3. Índice de escurrimiento por tipo de uso de suelo.....	39
Tabla 4. Datos considerados para corroboración en campo.	44
Tabla 5. Factores considerados para el análisis de la vulnerabilidad.	46
Tabla 6. Tasas e índices para la diferenciación social.	48
Tabla 7. Asignación de valores de cada indicador de los componentes del riesgo.	49
Tabla 8. Asignación de valores para priorizar las zonas de riesgo por inundaciones.	51
Tabla 9. Datos morfométricas en las inundaciones.	67
Tabla 10. Series de excedentes anuales mediante el criterio de interpolación.	72
Tabla 11. Valores de periodo de retorno corregidos.....	72
Tabla 12. Precipitación en tiempo y periodo de retorno.	73
Tabla 13. Q y Tc de cada unidad de escurrimiento.	75
Tabla 14. Parámetros del subsuelo de las zonas funcionales.	78

INTRODUCCIÓN

El manejo y gestión de riesgo asociado con inundaciones dentro de una cuenca hidrográfica permite considerar la potencialidad de los factores ambientales para mitigar los efectos del riesgo, a la vez que acompaña la planificación y proyección de actividades económicas, socio políticas y culturales (Cervantes *et al.*, 2009; Peña, 2017). En ese sentido, el uso adecuado y la conservación de las zonas funcionales en una cuenca (Zona alta de captación, Zona media de transporte y almacenamiento, Zona baja de descarga o depósito) contribuyen en el diseño de estrategias de mitigación de inundaciones a corto y largo plazo que beneficien la propia funcionalidad de la cuenca y la gestión del riesgo (Valdés y Guerreiro, 2018).

Algunas áreas donde se forman inundaciones, sea por acumulación de agua o desbordamientos de escurrimientos y en algunos casos por fallas en infraestructura, se relacionan con las características físico-geográficas de las zonas funcionales de la cuenca, y también por las modificaciones producto de las actividades y condiciones humanas, sean acelerados cambios de uso de suelo, coberturas de suelo poco permeables y la ocupación o transformación de lugares susceptibles (ríos y cuerpos de agua) (Arreguín y Cervantes, 2017). En ese contexto, es importante conocer y evaluar la distribución espacial de la amenaza (fenómeno físico perjudicial), los sistemas vulnerables (social o biofísico), los objetos amenazados (exposición de daños y pérdidas) y las modificaciones en las zonas funcionales de cuencas hidrográficas por cambio y uso de suelo, todo ello bajo un proceso de gestión del riesgo.

El proceso de gestión del riesgo involucra mitigación, preparación, respuesta y recuperación; en la mitigación y preparación abarcan las estrategias estructurales y no estructurales, las primeras son todas aquellas obras que puedan mitigar y/o prepararse para el posible impacto de la inundación, y la segunda se refiere a planes y programas que promuevan la participación pública al informar y orientar a la población de modo que pueda contribuir en la reducción del riesgo (Dwyer, Zoppou, Nielsen, Day y Roberts 2004; Chardon y González, 2002).

Al respecto, en espacios rurales o naturales se suelen considerar estrategias estructurales que favorezcan las funciones de las cuencas, sea a través de obras que fomenten la retención de agua como presas de gaviones, cercas de especies vivas, bordos longitudinales, bordos perimetrales y espigones (Comisión Nacional del Agua, 2013; Zamora, 2017). En el caso de cuencas con coberturas urbanas las estrategias estructurales suelen incluir obras hidráulicas que, al ser costosas, no se culminan o no siempre cumplen con el objetivo, por lo mismo se apuesta también por las estrategias no estructurales como ordenamientos de territorios que incluyan plan de manejo de cuencas, mapas de riesgos, normas para uso de suelo tomando en cuenta la zonificación de la cuenca; concientización donde consideren la ubicación del área de inundación con respecto a la llanura y planicie de inundación, así como planes de emergencia y respuesta (Hernández y Vieyra, 2010; García y Hernández 2015; Zamora, 2017).

Por otro lado, cuando se menciona el problema de inundaciones en cuencas periurbanas, las estrategias no son numerosas como en el espacio urbano o rural debido a sus propias características y condiciones como: la acelerada dinámica y transformación, los cambios de uso de suelo, la poca accesibilidad, la ocupación de suelos inseguros, la mínima o nula disponibilidad de servicios e infraestructura urbana y escasa vigilancia e inseguridad social (Hernández y Vieyra, 2010). La complejidad de las cuencas periurbanas requieren de la implementación de estrategias estructurales y no estructurales propias para mitigar el riesgo por inundación, o bien, contrarrestar el problema en aquellas áreas que ya presentan el problema, además de forma transversal se pueden generar políticas públicas, mejoras en la planeación urbana y programas dirigidos a la conservación de recursos naturales en distintas zonas funcionales de recarga y distribución de agua (Walker *et al.*, 2016; Jáuregui, Aversa y Salas, 2017; Fu, Jang, Huang, Lin y Yeh, 2018).

En relación a los conceptos previos, el presente escrito muestra una investigación que aborda los espacios periurbanos con problemáticas de ocupación de áreas irregulares y con riesgo por inundaciones, éste se desarrollará en la periferia norte de la ciudad de Querétaro con el propósito de diseñar estrategias de mitigación de riesgo por inundaciones en la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui (MSRJ), mismas que servirán como herramienta para disminuir el impacto del riesgo hacia las zonas vulnerables en tiempo, espacio y a

escala, asimismo, servirá como base de herramienta para los tomadores de decisiones en la planificación territorial y para la protección de los recursos naturales que sirven de regulación y provisión de servicios.

Planteamiento del problema

México año con año es afectado por recurrentes y peligrosas inundaciones que ocasionan importantes pérdidas materiales y/o humanas, las cuales en el periodo de 2000 al 2015 alcanzaron cifras aproximadas de \$18,950 millones de dólares (Arreguín y Cervantes, 2017). Por otro lado, en las periferias urbanas se tiene poco conocimiento de cuánto ascienden los daños o pérdidas que ocasionan las inundaciones, aunque se reconocen trabajos que señalan su fragilidad y susceptibilidad, así como las obsoletas acciones de atención y deficientes estudios con enfoques de políticas públicas de prevención y gestión del riesgo (Allen, Davila, Hofmann, 2006; Hernández y Vieyra, 2010; Hernández, 2016).

Ese fenómeno se acentúa en cuencas con ciudades de rápido crecimiento y densificación poblacional que se acompañan de reconfiguraciones territoriales poco planeadas. En el periodo 2005–2015, la tasa anual de crecimiento poblacional en México fue de 1.2%, mientras que en el centro del país fue de 2% o superior, destacan ciudades como León (2.3%), Toluca (2.2%), Guadalajara (1.8%), San Luis Potosí (2.0%), Monterrey (1.9%) y Querétaro (2.9%) (Consejo Nacional de Población CONAPO, 2017). A pesar de ello, las afectaciones son incuantificables y la mayoría de estudios refieren a la zonificación del riesgo y representación de la vulnerabilidad, pero son mínimos los trabajos sobre estrategias de mitigación, menos aun tomando en cuenta a la cuenca como unidad estratégica (Hernández, Barrios, Ramírez, 2017; Zamora, 2017; Peña, 2017).

Con base en las ciudades señaladas, Querétaro se encuentra con 1.7% por encima de la tasa de crecimiento nacional y es el lugar con mayores eventos de inundaciones de la entidad, pues en el periodo de 2000 al 2018 se registraron 145 eventos de inundaciones en el Estado de Querétaro, los cuales 99 ocurrieron en la ciudad (Hernández, 2012). Algunos estudios señalan, sin cuantificar daños o pérdidas, que el problema de las inundaciones se acentúa conforme existe el distanciamiento entre centro y periferia, especialmente hacia el norte de la ciudad, donde se observan aceleradas configuraciones y reconfiguraciones

territoriales en cuencas frágiles de importantes funciones hidrológicas que al ser modificadas, también favorecen problemas transversales como disminución de la disponibilidad de agua, conflictos sociales, degradación ambiental y reducción de la biodiversidad (Miranda, 2007; García y Hernández, 2015; Peña, 2017).

En la ciudad de Querétaro, el proceso de gestión del riesgo se apoya de una serie de instrumentos. A través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se utiliza un manual para control de inundaciones que se relaciona con las metodologías que emite el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) para la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales. Asimismo, se tienen los programas estratégicos que establece el Programa Nacional de Protección Civil (PNPC) como son el Plan Estatal para la Atención de Riesgo por Fenómenos Hidrometeorológicos que emite la Unidad Estatal de Protección Civil de Querétaro (UEPCQ), el Atlas de Riesgo del Municipio de Querétaro que enmarca la Unidad Municipal de Protección Civil (UMPC), el Código Urbano del Estado de Querétaro, el Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) y los planes parciales de desarrollo urbano de las delegaciones administrativas. También se utiliza el Plan Maestro Pluvial de la Zona Metropolitana de Querétaro (UAQ, 2009), mismos que se vinculan para cumplir el objeto del artículo 84 de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en el sentido de realizar obras hidráulicas que mitiguen el riesgo por inundaciones (LAN, 2016).

En los instrumentos mencionados están encaminados hacia las consideraciones de obras hidráulicas, en áreas de concentración poblacional, sin embargo, se requiere que la mitigación de riesgo por inundación sea a través del funcionamiento de una cuenca donde involucre la periferia urbana, ya que al considerar el espacio de cuenca abarca espacios con características específicas del lugar y ésta podría ser una alternativa para ser abordada desde una perspectiva distinta. Un estudio elaborado por Peña (2017), aborda la mitigación del riesgo por cuenca en la periferia de la ciudad de Querétaro, específicamente en la microcuenca San José el Alto (MSJEA) donde menciona la necesidad de abordar el tema de inundaciones bajo el contexto del manejo racional de las funciones de la cuenca como elemento integrador para la prevención y mitigación de riesgo.

Adyacente a la MSJEA se encuentra la microcuenca Santa Rosa Jáuregui (MSRJ), otra microcuenca con problemas anuales en su funcionalidad hídrica que provocan

peligrosas y frecuentes inundaciones. Esa microcuenca es una de las zonas con mayor dinámica en las últimas dos décadas (1990-2015), debido que es uno de los polos direccionales del crecimiento urbano de la ciudad (García, 2016) el cual se desencadenaron perturbaciones ambientales, sociales, económicas y políticas, exponiendo a la población a riesgos por inundación por las altas precipitaciones.

La recurrencia de inundaciones en la MSRJ se ha registrado desde 1999, en las cercanías a las estructuras hídricas Santa Catarina, El Nabo y el Cajón, así como en la inmediación del Dren Santa Rosa Jáuregui, dentro de las cuales marcan en riesgo a seis colonias como San Miguelito, Montenegro, Santa Rosa Jáuregui, Las Lajitas, Fraccionamiento El Pedregal, y la zona centro de Juriquilla, afectando principalmente a escuelas y casas habitacionales (Miranda, 2007; UMPC, 2015; García y Hernández, 2015). Tan solo en Santa Rosa Jáuregui centro se han inundado 13 veces de las cuales solo se han mitigado cuatro de ellas desde 1999, asimismo solo se ha invertido \$877.6 miles de pesos en conceptos de estudio. Estas zonas en riesgo están alejadas dentro de los 31 puntos críticos de áreas desbordables e inundables definidos en la zona urbana del municipio de Querétaro (CEA, 2005, citado en UAQ, 2009), mismo que deja a lado la consideración de un plan estratégico que mitigue el riesgo por inundación donde se consideren las zonas funcionales de la microcuenca a mediano y largo plazo. Es por ello que la gestión de mitigación de riesgo por inundación debe de abordar mediante la unidad de microcuenca, misma que permite diseñar planes estratégicos estructurales y no estructurales en las zonas periurbanas y que sirvan como herramienta principal para el plan de desarrollo que puedan emplearse en los planes y programas de protección civil estatal y municipal.

Preguntas de investigación

¿Cuáles son las zonas funcionales de la microcuenca que presentan inundaciones?

¿Cómo es la vulnerabilidad de la infraestructura en las zonas de inundaciones?

¿Cuáles son las zonas prioritarias para la mitigación de riesgo por inundación?

¿Cuáles son las estrategias de mitigación por riesgo de inundación en zonas funcionales en la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui?

Justificación

El proyecto de investigación está enfocado a la temática de la mitigación de riesgo en zonas periurbanas dentro de la MSRJ y sus zonas funcionales, con las características hidrológicas, demográficas y técnicas adecuadas que permitan realizar un plan estratégico estructural y no estructural para la reducción de riesgo por inundaciones y aumentar la resiliencia de los habitantes ante los efectos del cambio climático global y al dinamismo poblacional destinado al desenfreno de los asentamientos de la ciudad de Querétaro.

El plan estratégico estructural y no estructural, estará conformados por mapas de zonas prioritarias y de riesgo, materiales de apoyo técnico que indiquen las zonas de mayor vulnerabilidad así como el escenario del crecimiento periurbano y su influencia en el comportamiento del flujo hídrico; esto permitirá observar las zonas más propensas a la inundación, áreas óptimas donde se planteen medidas de prevención y conservación, así como las posibles afectaciones a la población en un determinado espacio y tiempo.

Los resultados contribuirán con datos de investigación académica relacionados a las áreas periurbanas y el desarrollo recomendable de plan de estrategias de mitigación de una microcuenca mediante el aprovechamiento y conservación de las zonas funcionales. Contribuirán además a la generación de un plan estratégico, servirá de información para los pobladores actuales locales, para la planeación política municipal y estatal en la proyección del asentamiento periurbano. Será como un referente para la incorporación de medidas estratégicas en la metodología de los atlas de riesgos que evalúa el CENAPRED. La información técnica y científica será aplicada a otras microcuencas con rasgos similares a la problemática.

Objetivo general

Proponer estrategias para mitigar el riesgo por inundaciones en la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui (MSRJ).

Objetivos particulares

- Identificar zonas de inundación por zonas funcionales en la MSRJ.

- Diagnosticar la vulnerabilidad de los objetos amenazados en zonas de inundación.
- Determinar zonas prioritarias para la mitigación de riesgo por inundaciones.
- Diseñar propuestas de estrategias estructurales y no estructurales para la mitigación por riesgo de inundación en las zonas funcionales de la MSRJ.

1. GESTIÓN INTEGRADA DEL RIESGO POR INUNDACIONES EN CUENCAS PERIURBANAS

La relación del conocimiento local y formas modernas expertas en ambientes con características específicas, ha dado pasos hacia recuentos cada vez más sofisticados sobre la construcción de la naturaleza elaborada por la gente. No podemos interpretar los mapas nativos (no modernos) de lo social y lo biológico en términos de nuestros conceptos de naturaleza, la cultura y la sociedad (Holbraad y Pedersen, 2009).

El análisis de riesgo por inundación en una cuenca mediante evaluación integrada permite considerar patrones de interdisciplinariedad, procesos de combinación, integración e interpretación de diversas disciplinas científicas para entender el fenómeno complejo (Yi y Xiao, 2015). La perspectiva de los múltiples factores del riesgo por inundación puede ser vista desde un problema de riesgos múltiples. La inundación de un área urbana o las llanuras de inundación que son agrupadas como zonas de peligro, es multiescalar, pero sus características no son iguales (Jiang, Yang y Tatano, 2019).

Las inundaciones están caracterizadas por altas descargas de agua a los cauces, ríos, lagos o zonas bajas que pueden formar un tributario con desbordamientos o sitios de anegación de una cuenca, donde algunas áreas suelen estar ocupadas por asentamientos humanos y durante las descargas de agua pueden ocurrir desastres o pérdidas de vidas humanas y daños materiales (Marsalek, Jiménez y Goldenfum, 2007), por lo tanto, también dependerá de las características estructurales de las áreas urbanas, periurbanas o rurales (Cardoso y Fritch, 2012; Gunnell, Mulligan, Francis y Hole, 2019). Las inundaciones están determinadas por las fallas de drenajes, la topografía urbana, la intensidad de la

lluvia, entre otros, lo que el riesgo por inundación necesita considerar múltiples factores, tanto de una zona urbanizada, como las propias de una cuenca (Jiang *et al.*, 2019).

En este capítulo se analizan las diferentes bases teóricas que involucran a la gestión integrada de riesgos por inundaciones mediante los componentes físicos y las acciones antropogénicas, así también, se analizan aquellos factores que integran la gestión del riesgo por inundación en cuencas periurbanas, caracterizadas como zonas susceptibles y cómo de ello se desprenden medidas de mitigación acorde a las características específicas dentro de las cuencas periurbanas.

1.1 El riesgo por inundación en cuenca

La estimación del riesgo por inundación en una determinada zona, considera dos componentes básicos, el cambio (o probabilidad) de un evento ocurrido y el impacto (o consecuencia) asociada con el evento (Sayer *et al.*, 2013) por lo tanto:

Riesgo= R (probabilidad de inundación y la consecuencia asociada).

Dentro de los componentes básicos de la probabilidad de inundación y sus consecuencias se puede desglosar en sus componentes:

(A) Probabilidad de ocurrencia de inundación. Éste refleja tanto la probabilidad de la ocurrencia de un evento inicial y la probabilidad que el agua de las inundaciones alcancen un lugar particular en la llanura de inundación, teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema de intervención del sistema de humedales, canales, presas, diques, muros de inundación y otras estructuras y (B) la consecuencia que ocasiona la inundación, refleja tanto la vulnerabilidad de los receptores y el cambio en un receptor dado en un sistema expuesto a las inundaciones, dónde:

- 1.- El sistema expuesto cuantifica el número de propiedades o personas, o áreas de hábitat.
- 2.- La vulnerabilidad describe el potencial de un receptor dado por experimentar daños durante un evento de inundación. Se divide en cuatro aspectos necesarios: 1) La susceptibilidad, que es la propensión de un receptor a experimentar daños durante un evento de inundación; 2) Incluyen la destrucción de recursos materiales, flora, fauna y pérdidas humanas; 3) El valor del utilizado para expresar el grado de daño de un receptor; y 4) La resiliencia que describe la habilidad del receptor que ha sido dañado por un evento de

inundación dado para recuperarse sin ayuda, sea éste por recuperación natural o intervenida por programas institucionales (Sayer *et al.*, 2013).

En el campo del análisis del riesgo, algunos solo cubren la evaluación del riesgo o áreas relacionadas (Sociedad para análisis de Riesgo SRA, 2015). Dentro del campo o disciplina científica, el desarrollo del análisis del riesgo considera la relación de fenómenos y procesos, eventos desencadenados, eventos encadenados, entre otros; así como conceptos nuevos (modificados), métodos y modelos como la combinación de ideas de diferentes disciplinas, como la política y el medio ambiente (Sayer *et al.*, 2013; SRA, 2015). Así también, algunos autores consideran la importancia del análisis de riesgo por inundación aplicable a cuencas (Sayer *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2017).

El problema del riesgo por inundaciones en la cuenca, está basado sobre las interacciones complejas como meteorológicas, geológicas y factores socio económicos, mismas que se componen en tres capas dentro de las cuales considera; los factores causantes del desastre, atributos socio económico y condiciones biofísicas.

Jakubinsky, Bacova, Svobova, Kubicek, y Herber (2014); consideraron que el riesgo por inundación es el resultado de las alteraciones de los servicios ecosistémicos, en general el estado de las zonas de cauces de las microcuencas. Esta aproximación involucra un amplio rango de servicios basados sobre el paisaje relacionado directamente con la presencia de cuerpos de agua. Consideran, una aproximación transdisciplinaria con métodos básicos geográficos en geomorfología, hidrología y áreas naturales formadores de riesgo, donde el agua junto con las llanuras aluviales son ecosistemas que están particularmente expuestos a un alto estrés antropogénico. Los impactos de la actividad humana pueden ser estudiados de muchas formas, una es sobre los parámetros morfológicos de las pequeñas corrientes como un indicador ambiental. La expresión del estado del curso del agua y la zona ripiara son algunas bases de indicadores ecológicos, como una aproximación para un enfoque comprensivo sobre el riesgo de inundaciones en los cauces.

Es importante considerar las áreas de inundaciones naturales, como lo hicieron Bouaakkaz, Morjani, Bouchaou y Elhimri (2018), quienes analizaron el riesgo por inundación en una cuenca, al tiempo que consideran que las inundaciones están acentuadas

por la rápida evolución demográfica, uso incontrolable del uso de suelo, acciones antropogénicas (como urbanización incontrolada, invasión del dominio público hidráulico, pastoreo excesivo y deforestaciones) así como el comportamiento físico del ambiente.

Analizar el riesgo por inundación, se trata de una temática con diferentes enfoques, tanto del comportamiento físico del medio ambiente como acciones antropogénicas, enfoques desde definir la escala de trabajo hasta el análisis de pertenencia de los elementos que conforman el ecosistema. Considerar los diferentes factores que integran para sus análisis, se vuelve un estudio multidisciplinario y transdisciplinario, en el que para su determinación se definen para cada área específica. Esto conduce a la selección de los principales factores que intervienen en el análisis de riesgo por inundación en una cuenca.

1.2 El riesgo por inundación en cuencas periurbanas

La urbanización de las cuencas, es la superficie ocupada por las ciudades que crece sobre paisajes ambientalmente sensibles de los lechos y bordos de los cauces fluviales, reemplazan la vegetación natural y el suelo por concreto, asfalto y otras superficies impermeables, por lo tanto, cuando se presentan las lluvias es menos probable que el agua se infiltre y fluya a los cauces de ríos, desencadenando inundaciones (Vidal y Romero, 2010; en Álvarez, 2019).

Estos espacios ocupados por el dinamismo de las ciudades afectan avances irregulares entre distintos puntos de las cuencas que abarcan toda la ciudad, formando espacios periurbanos definidos como la transformación crucial del suelo rural entre una transición urbano y rural que genera un patrón incoherente en los usos de suelos en las áreas con situaciones degradadas de lo urbano y residual en lo agrario, se caracteriza por situaciones de marginalidad de uso de suelo y por el hábitat disperso carente de servicios públicos (Cardoso y Fritschy, 2012).

Los espacios periurbanos son clave para las ciudades, ya que éstos dependen de los ecosistemas rurales debido a la variedad de los servicios ecosistémicos, en particular, la regulación y control de avenidas e inundaciones, donde las capacidades de los ecosistemas reducen el riesgo e impacto. Sin embargo, se conoce que el desarrollo en diferentes cuencas significara que las áreas urbanas y rurales tendrán diferentes niveles de vías de

infraestructura de drenajes, esto significa que los modelos hidrológicos no pueden hacerse de la misma forma, por lo tanto, los diferentes niveles de desarrollo en las cuencas, significa que las áreas rurales y periurbanas tendrán diferentes niveles de drenaje a través de la infraestructura (Gunnel *et al.*, 2019).

Analizar el ambiente urbano y la interacción entre los ambientes rurales y urbanos, se vuelve importante para el análisis, planificación, desarrollo y manejo del sistema de agua (Marsalek *et al.*, 2007). El análisis de la gestión del agua en una zona urbana debe estar basado en el ciclo del agua que llega a la ciudad, que es una aproximación basada sobre la conservación del agua, donde uno de los componentes más importantes es la protección de drenaje y zonas de inundación naturales, dentro de la cual implementa medidas de manejo integral, incluyendo el reúso de agua de las tormentas. La combinación de los efectos de la urbanización, industrialización y el crecimiento demográfico afecta naturalmente al paisaje y la repuesta hidrológica de una cuenca (Marsalek *et al.*, 2007).

Actualmente parte de la literatura científica se ha enfocado ampliamente a las áreas rurales más específicos, área urbana en contexto de pertenencia y algunos investigan sobre las experiencias y las realidades afrontadas mediante desastres en la zona periurbana. La investigación sobre la infraestructura y los servicios urbanos como el agua y drenaje han examinado algo de la estructura exploratoria y factores históricos para la escasez en la provisión de servicios en centros urbanos y periurbanos (Schaer, 2015).

La formación de los espacios periurbanos requiere de planeación, un análisis de datos puntuales para una propuesta de programa de manejo donde el uso de suelo en la zona periurbana se vuelve esencial para la planeación y con ello se promueva preservar de tierras agrícolas y cualquier tierra que sustente la biodiversidad, la calidad de agua y la recarga de los acuíferos, así como la consideración de áreas frágiles (Organización de las Naciones Unidas, ONU 2016).

Tradicionalmente los enfoques de las diferentes disciplinas y áreas científicas, han tenido un propósito de reducir el factor de la probabilidad del riesgo por las inundaciones a través de las construcciones de diversas estructuras de defensa y control. Adicionalmente se reconoce que las acciones como planes y programas, ofrecen una contribución vital para la

reducción de la probabilidad del riesgo; ambas acciones deben estar estructuradas dentro de un proceso de gestión de riesgo por inundaciones donde contemple líneas básicas y prerequisites para informar a los tomadores de decisiones sobre la prevención y mitigación del riesgo dentro de las etapas antes, durante y después del evento de un sitio determinado.

1.3 Factores del riesgo asociado a una cuenca

Pensar en un sistema completo para una aproximación de riesgo por inundación, emplea un número de demanda adicional sobre el análisis en comparación con métodos tradicionales. Esto incluye entender y representar las siguientes aproximaciones (Sayer *et al.*, 2013): 1) Extremas articulaciones como las tormentas que pueden ocurrir junto con una lluvia local; 2) Coherencia espacial de los eventos de inundación, como pueden ser los impactos de toda una región o cuenca; 3) Coherencia temporal con eventos de inundación; y 4) El comportamiento de todo el sistema involucra entender el sistema de riesgo e interacciones entre las fuentes, formas y receptores.

Estas consideraciones dentro de un sistema también se pueden englobar generalmente el sistema físico y organizacional que influyen o son influenciados por las inundaciones. El sistema físico incluye atributos físicos de la superficie de la Tierra donde involucra el ciclo del agua, por ejemplo, los procesos de lluvia, escurrimientos e inundaciones en llanuras fluviales (Sayer *et al.*, 2013).

Yi y Xiao, (2015) evalúan la problemática con aproximaciones del análisis de multicriterio, aproximaciones de probabilidad, y las aproximaciones del conocimiento básico. Para la evaluación del riesgo por inundación se basa en la información de indicadores, índices y sus propiedades para realizar un modelo perceptual, que considera relevante la evaluación de riesgo por inundación mediante el análisis de una cuenca integrada (Figura 1).

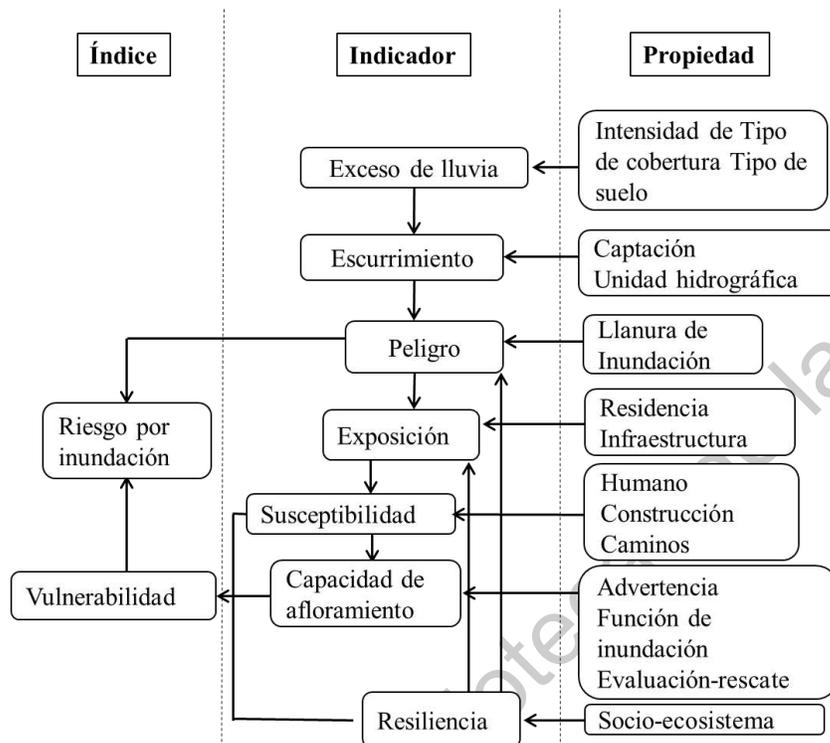


Figura 1. Marco de evaluación integrada del riesgo de inundación en cuencas hidrográficas.
 Fuente: Tomado de Yi y Xiao (2015).

Dentro del análisis de riesgo por inundación en una cuenca, también se consideran índices de riesgos, Shao (2011) menciona que está compuesto por tres capas definidas como son los factores causantes del desastre, atributos socioeconómicos y condiciones biofísicas (Figura 2, columna B) estas capas tienen indicadores asociados a cada factor. Los indicadores de cada capa están de acuerdo con los impactos sobre el riesgo por inundación en términos de la distribución, por ejemplo, las condiciones biofísicas de la capa subyacente abarcan las variables elevación en metros sobre el nivel del mar, pendiente, densidad de drenaje y cobertura de vegetación.

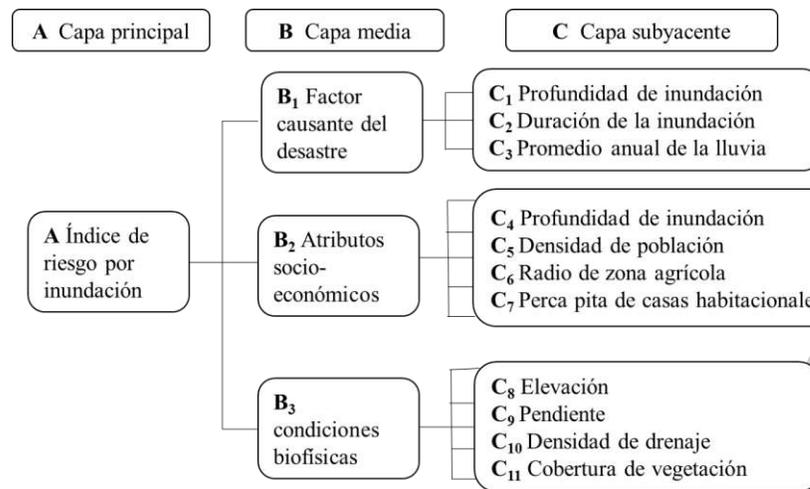


Figura 2. Índice para el riesgo por inundaciones.

Fuente: Tomado de Shao (2011).

Sin embargo, para Sayer *et al.* (2013), marcan que el componente más importante del riesgo por inundaciones es la múltiple, o bien, sutiles dimensiones del propio riesgo, donde todas las dimensiones están sujetas a cambiarse a través de las presiones autónomas o intervención intencionada. Sin embargo, considera la variable como el cambio (probabilidad) y el impacto (la consecuencia); dentro de la probabilidad de ocurrencia de inundación están las fuentes y las formas del trayecto del agua; la consecuencia está determinada por la vulnerabilidad de los receptores que cuantifican los receptores donde considera el sistema expuesto como gente, habidad o propiedades y la vulnerabilidad que define las características del receptor para considerar la susceptibilidad, valor y resiliencia (Figura 3).

Por otra parte, Hernández (2011) evalúa, además de los factores biofísicos, otros factores como los elementos geográficos mediante la correlación entre las variables físicas, sociales y espaciales a través de microcuencas. Lo anterior respecto a las condiciones de pobreza y nula planeación territorial, donde los asentamientos re-configuran las ciudades y las periferias, y con ello, los parámetros relacionados a las inundaciones y afectaciones. Además, menciona la importancia de considerar estos espacios del periurbano donde se forman los desastres y son atendidos de manera lenta, al tiempo que aumenta la vulnerabilidad y disminuyen las capacidades.

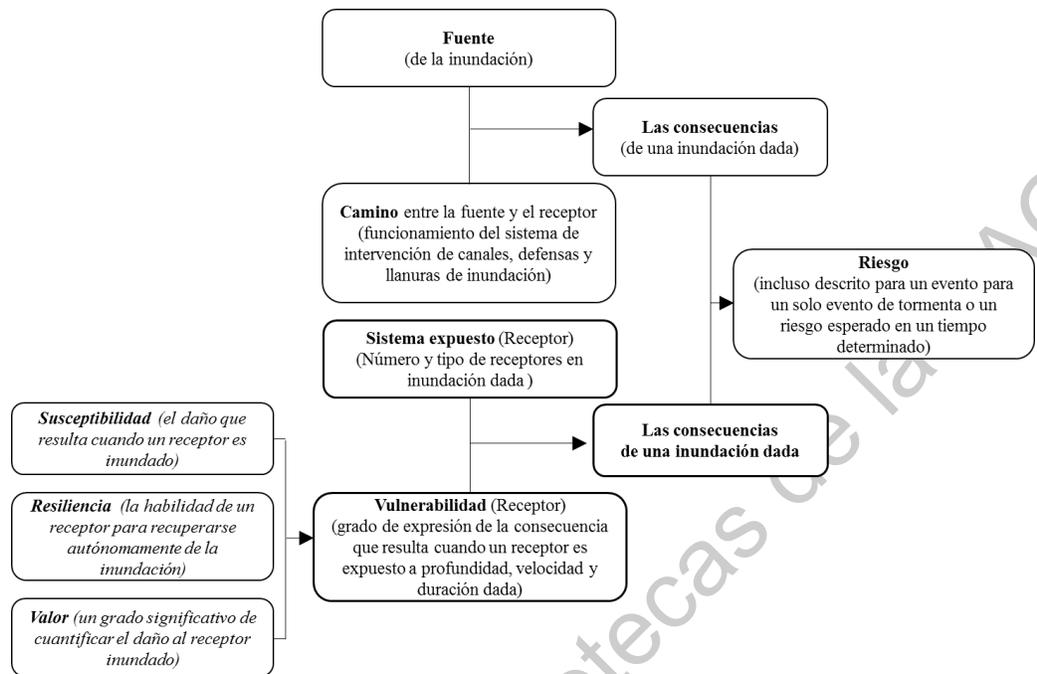


Figura 3. Componentes del riesgo.
Fuente: Tomado de Sayer *et al.* (2013).

1.4 Gestión de riesgo por inundación en cuencas periurbanas

La gestión del riesgo por inundaciones es un proceso continuo interactivo, que apoya a los tomadores de decisiones y creaciones de planes. Jakubinski *et al.* (2014), definen cuatro fases sucesivas; dos fases antes de los impactos de las inundaciones que son la prevención y mitigación (1era fase); y la preparación (2da fase). Después de los impactos de las inundaciones se pueden identificar las acciones de respuesta y recuperación (3era y 4ta fase). La fase de prevención y la mitigación, están representadas por un periodo largo de actividades para reducir el riesgo de la inundación hipotética mediante la planeación y uso de suelo, las cuales dependen de las inundaciones, identificación y evaluación del riesgo. La fase de la preparación es cuando se predice un peligro inminente de inundación y este se prevé en un periodo corto como planes de emergencia y de evacuación.

Sin embargo, antes de llegar a estas fases, es importante considerar los principales factores que detonan la formación de riesgo. No solo es identificar las áreas de inundaciones por los grandes ríos, sino también reconocer los pequeños cursos de agua

ocupados que aún se desconocen en las cuencas periurbanas. Para reconocer esta importancia de la red de cauces es necesario el desarrollo de iniciativas (como las que hace la Unión Europea en la implementación de leyes nacionales para conservación de los pequeños cauces); hacia los tomadores de decisiones y al nivel teórico, lo cual permite una aproximación efectiva para la gestión de los pequeños cursos de agua y disminuir los impactos del riesgo por inundación (Jakubinski *et al.*, 2014).

En este sentido, algunos autores consideran la gestión de riesgo por inundación en cuatro etapas: mitigación, preparación, respuesta y recuperación (Dwyer *et al.*, 2004); a diferencia de Jakubinski *et al.* (2014), dentro de las acciones antes del impacto solo diferencian la prevención por la preparación, esta etapa (mitigación y preparación) antes de la ocurrencia de las inundaciones, emplea estrategias estructurales y no estructurales para disminuir el riesgo; las estructurales incluyen la construcción de infraestructura con material natural o material ingenieril y todas aquellas acciones que mitiguen el posible impacto; las no estructurales que incluye planes y programas donde promueva la participación pública al informar y orientar a la población ante emergencia (Chardon y Gonzáles, 2002; Walker *et al.*, 2016).

Las estrategias en la mitigación de riesgo por inundación si se realizan mediante un sistema interrelacionado, se pueden lograr múltiples objetivos en escalas de espacio y tiempo, un proceso complicado por la influencia del cambio natural del sistema de inundaciones, el cambio climático, geomorfología y las influencias socio económicas. Para lograr los objetivos se consideran como base la utilización limitada de los recursos para: (1) reducir el riesgo para las personas y comunidades, (2) reducir el riesgo y promover la economía, (3) promover el bienestar social, y (4) promover los bienes y servicios ecosistémicos.

Walker *et al.* (2016), en un estudio para tratar con los problemas de inundación en una cuenca, consideran el análisis de seis factores como son: a) análisis de las zonas de inundaciones del río; b) efectos de las zonas de inundaciones sobre la comunidad; c) efectos de las zonas de inundaciones y el hábitat; d) escenarios de inundaciones en zonas de valle; e) estrategias para mitigación de riesgo por inundación; y f) informar a los tomadores de decisiones locales y a la comunidad sobre las estrategias.

Para el factor a) análisis de las zonas de inundaciones del río considera; entender el régimen hidrológico para mitigar el riesgo por inundaciones, cuantificar magnitud y variabilidad del flujo de agua de los cauces, considerar los principales ríos tributarios, análisis de la tendencia hidrométrica de un determinado periodo, datos de climas con respecto a las estaciones hidrometeorológicas, analizar el manejo de las zonas de inundaciones de los ríos y cauces. Para el factor b) efectos de las zonas de inundaciones sobre la comunidad; la cronología e historia de las inundaciones de la cuenca, programa de educación y divulgación para la evaluación entorno al agua, concientizar sobre las cuencas hidrográficas y educación sobre inundaciones, entrevistas hacia residentes de la cuenca. Para el factor c) efectos de las zonas de inundaciones y el hábitat; investigar y analizar los efectos de las inundaciones hacia las especies nativas y el hábitat de la cuenca. Para el factor d) escenarios de inundaciones en zonas de valle; determinación histórica de las condiciones hidrológicas, modelo hidrológico, modelo hidráulico, determinación de la rugosidad de los canales y cauces, análisis de los efectos potenciales del uso de suelo (escenarios) y el cambio climático en las magnitudes de las zonas de inundaciones de la cuenca. En el factor e) estrategias para mitigación de riesgo por inundación; realiza la aplicación de las estrategias estructurales y no estructurales, y el factor f) informar a los tomadores de decisiones locales y a la comunidad sobre las estrategias.

Por lo tanto, para reducir el daño por inundación es deseable utilizar estrategias de gestión de cuencas efectivas y que consideren los enfoques de gestión de riesgo por inundaciones tanto estructural como no estructural, aplicadas a nivel de cuenca y ciudad (Walker *et al.*, 2016; Fu *et al.*, 2018). Estas aproximaciones pueden ser usadas para modelar y espacializar la integridad de una cuenca mediante la incorporación de factores de riesgo como todas aquellas alteraciones relacionadas a las actividades humanas y los factores de estrés que presenta el ambiente (Flotemersch *et al.*, 2015).

Por esta razón, la gestión integrada de riesgo que es una aproximación de la conexión de las acciones de gestión de riesgo por inundación con la gestión amplia de los recursos del agua y planeación del uso de suelo, considera todos aquellos planes y políticas asociados a lineamientos verticales y horizontales de las acciones políticas locales y nacionales, así como el alinearlas a través de los sectores (Sayer *et al.*, 2013).

- 1.- Plan estratégico de cuenca y visión de gestión de riesgo por inundación (Vertical)
- 2.- Planes regionales y temáticos de gestión de riesgo de inundaciones (Vertical).
- 3.- Planes de desarrollo y asignación de agua y conservación de cuenca (Horizontal).
- 4.- Planes de las presas en cuencas y planes de asignación de agua (Horizontal).

Generalmente los planes de política están encaminados hacia las estrategias de desarrollo y la promoción del esquema local, implementado a través de un amplio rango de intereses como la gestión de riesgo por inundación, recursos del agua, el desarrollo y la energía. Para los diferentes tipos de niveles de gobierno (internacional, nacional y local), deben asegurar que los múltiples programas sean apropiadamente integrados tanto los niveles de gobierno como los sectores (Figura 4).

Como se nota, la gestión del riesgo por inundación en cuencas urbanas envuelve características biofísicas y condiciones de vulnerabilidad del sistema expuesto del evento, sin embargo, gran parte de los estudios no alcanzan a cubrir las zonas periurbanas que tienen características específicas en cada área determinada que permita analizar y proponer planes y estrategias para establecer medidas de mitigación en diferentes etapas para reducir la probabilidad del impacto.

Analizar las cuencas periurbanas dentro del ciclo del agua urbana se vuelve una construcción de elementos para la realización de las estrategias estructurales y no estructurales en la gestión de riesgo, donde las funciones cumplan un objetivo gradual y no se convierta en un ciclo repetido de riesgo de inundaciones en los asentamientos poblacionales. Estas mismas estrategias deben abarcar las características de la regulación de las funcionalidades de una cuenca, que son básicas para el bienestar social y ambiental.

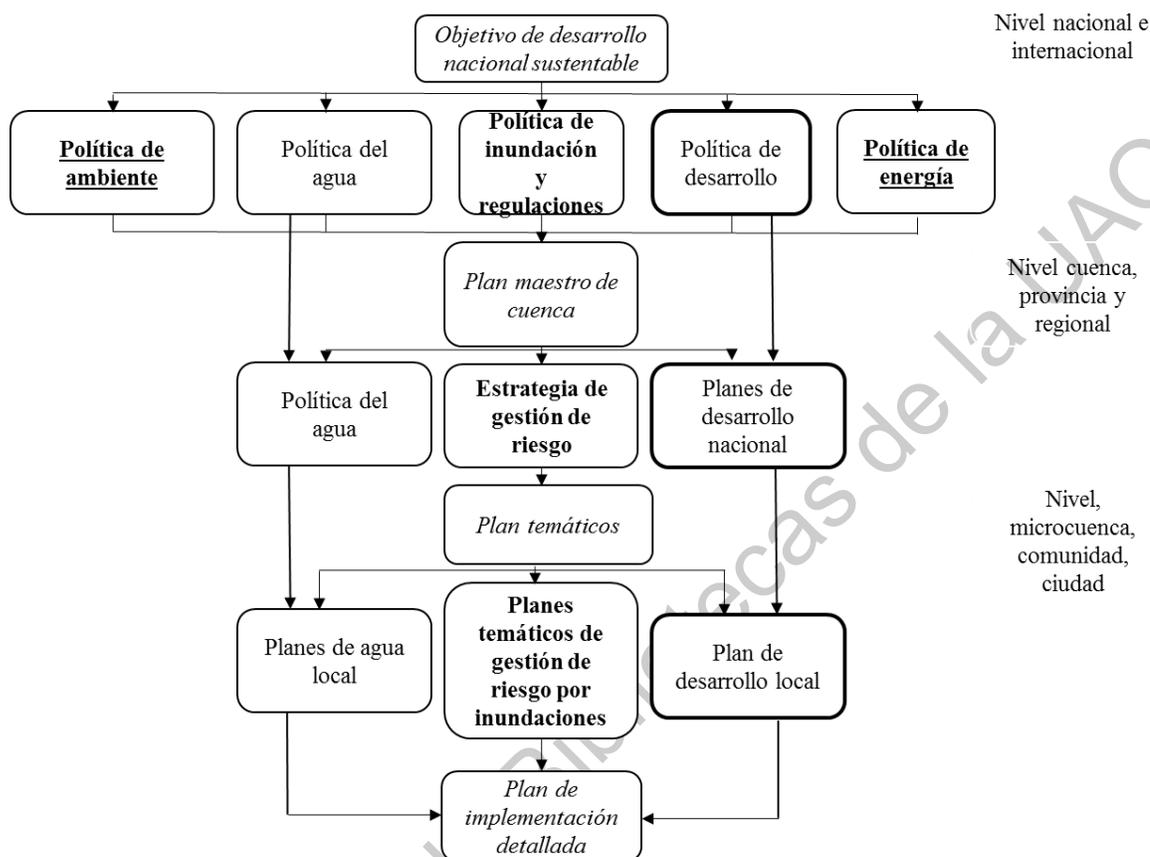


Figura 4. La integración horizontal y vertical de las actividades de planificación.
Fuente: Tomado de Sayer *et al.* (2013).

2. LAS INUNDACIONES Y ESTRATEGIAS GENERADAS PARA SU MITIGACIÓN

La formación de inundaciones en las llanuras o planicies de inundaciones en los cauces naturales de los ríos en una cuenca, favorecen a los procesos ecosistémicos, pero cuando estos eventos son interrumpidos por asentamientos poblacionales suelen propiciar problemas de riesgos por inundación para la sociedad u otro sistema expuesto.

A través de la historia, las inundaciones han beneficiado las actividades humanas, pero también afectan a diversos países, por ejemplo, en 1931 China registró entre uno a cuatro millones de pérdidas humanas, en 1959 sufrió la mayor catástrofe registrándose hasta dos millones de víctimas (Sayer *et al.*, 2013; González, 2018). Las inundaciones

parecen verse como un fenómeno que no alcanza a tratarse de manera definitiva, viéndose cada vez, entre más ocupación poblacional de los cauces, más incrementan las consecuencias por cada evento, siendo las cuencas periurbanas más propensas a ser afectadas debido a sus características biofísicas y determinación social.

Los efectos de las inundaciones involucran alteraciones del ambiente biofísico y pérdidas cuantiosas de vidas humanas, lo que ha llevado a través de la historia acuerdos dentro de las instituciones internacionales como la UNESCO, la Instalación Global para la Reducción y Recuperación de Desastre (GFDRR), el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF, siglas en inglés) y la ONU a la generación de planes o estrategias que mitiguen el riesgo por inundaciones, considerando sobre todo aquellas áreas más susceptibles.

Los planes o normas a nivel nacional difieren según las políticas y necesidades de cada país. En México se registraron, entre los años de 1970 al 2003, un promedio de 1,744 inundaciones, en las cuales se ha recurrido a diferentes estrategias de mitigación para minimizar el riesgo. La CONAGUA en el artículo 84 de la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 2016) menciona que se deben realizar obras hidráulicas que mitiguen el riesgo por inundaciones, así mismo el CENAPRED marca las normativas para la elaboración de un atlas de riesgos por inundaciones en diferentes niveles gubernamentales.

En este capítulo se desglosan de manera general algunos eventos históricos y cómo se ha llegado a la aproximación de la gestión integrada de riesgo por inundación a nivel global. Antecedentes nacionales, programas y normas que han tenido como objetivo principal de la gestión integrada de los recursos hídricos dentro de la cuales la vinculación entre la gestión hídrica y el ordenamiento territorial, prioriza los asentamientos seguros frente a inundaciones.

2.1 La gestión integrada del riesgo por inundación en cuencas a escala global

Desde los inicios del siglo veinte, la sociedad ya trataba con los impactos de las inundaciones mediante el establecimiento de las estructuras como los diques y desviación de canales y presas, a mediados del siglo veinte se establecieron medidas estructurales y no estructurales para prevenir y reducir los impactos de las inundaciones. Como la población incrementó, las pérdidas continuaron incrementando. A continuación, se mencionan

algunos acontecimientos de cómo fue desarrollándose la gestión de riesgo por inundaciones hasta llegar a la gestión integral de la misma (Sayer *et al.*, 2013).

Desde 1800 d.C., se manejaba el control de las zonas de inundaciones, presentaban el mayor control de las inundaciones y el uso de las llanuras de inundaciones. Para los años de 1900 el inicio del control moderno de las inundaciones, al inicio del siglo XX, la estrategia universalmente preferida todavía estaba dirigida a controlar las inundaciones donde fue visto como una responsabilidad local o regional.

Las organizaciones que tenían el control de las inundaciones en la cuenca eran coordinadas de manera holgada y el enfoque fue proteger el área por aquellos que fueran responsables, sin importar el impacto que pudiera tener en otros lugares. A mediados del siglo XIX resaltó la ignorancia del valor ecológico de los humedales y con ello la poca atención para mantener los beneficios entre la relación de los servicios ecosistémicos y las zonas de inundaciones. A través del mundo más inundaciones resultaron catástrofes fuertes, por lo tanto, empezaron a formar algunas alternativas, tal como se describe a continuación (Sayer *et al.*, 2013, p. 31-45).

En los años de 1917 y 1927, las inundaciones en USA promovieron la necesidad de coordinación e infraestructura a escala de cuenca.

En 1931, las inundaciones en China estimaron la pérdida de vidas humanas de uno a cuatro millones. Promovieron la necesidad de coordinación e infraestructura a escala de cuenca.

En 1970, las Naciones Unidas, USA y otros países, así como académicos y profesionales, recomendaron que las planicies de inundación deben manejarse de manera de protección. Surgió el control de manejo de las estructuras y el uso de las planicies de inundación, las estrategias de mitigación deberían incluir una educación enfocada a estructuras a prueba de inundación, elevación de estructura, sistema de alerta temprana y seguros para aquellos que permanecen en riesgo.

Entre 1970 y 1980 las técnicas de gestión de riesgo por inundaciones fueron aplicadas a muchos sectores en USA, desde académicos, gobierno y negocios. Sin embargo, en el Reino Unido la gestión de riesgo por inundación fue considerado el

riesgo individual y de la sociedad como un todo que podría estar afectado contra los beneficios de seguridad.

En 1990 la gestión de riesgo por inundaciones fue formalmente usada en el Reino Unido, así como algunos países al norte de Europa. En 1993, 1995, 1997, y 1998, Europa demandó la gestión de riesgo por inundación con enfoque estratégico de toda la cuenca, utilizando una combinación de enfoques estructurales y no estructurales.

En el 2003 los directivos de las aguas de la Unión Europea hicieron notar que la gestión de riesgo por inundación mediante un método apropiado, con medidas no estructurales, con tendencia a ser potencialmente más efectivas y con soluciones sostenibles para largos periodos. En el año de 2005 en el tercer Simposio Internacional sobre la Defensa para las Inundaciones, incorporó las aproximaciones de la integración del riesgo orientado con los conceptos de la gestión integrada de los recursos hídricos con el objeto de maximizar el uso de las llanuras de inundaciones mientras al mismo tiempo se minimiza la pérdida de vidas y biodiversidad.

En el 2010 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO, formó el Centro Internacional para la Gestión Integrada de los recursos Hídricos, de ello fue identificar los esfuerzos de los diferentes gobiernos para el desarrollo de los programas de la gestión de riesgo por inundaciones en cuencas e identificar las mejores prácticas de emergencias. Así mismo en los años recientes, China incorporó en sus planes de control de inundaciones la integración de las necesidades urbanas, rurales y ecológicas que buscan fusionar las estrategias estructurales y no estructurales de manera efectiva.

Actualmente, a nivel global, mediante organizaciones como la UNESCO, el Banco Mundial, la Instalación Global para la Reducción y Recuperación de Desastre (GFDRR), el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF), la Organización de las Naciones Unidas (ONU), entre otras instituciones, emitieron guías donde integraron los factores ambientales y sociales para la aproximación de la gestión integrada de riesgos por inundación en cuencas, en estos estudios mencionan la importancia del reconocimiento de las zonas periurbanas como áreas con nivel alto de riesgo por inundaciones (Jha, Bloch y Lamond 2012; Sayer *et al.*, 2013). En este marco, se han desprendido programas y planes a nivel

nacional con objetivos específicos para reducir los impactos de riesgo por inundaciones en zonas vulnerables como las periurbanas. En el caso de México el organismo nacional afín es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Centro Nacional de Prevención y Desastre (CENAPRED) relacionados con el desarrollo de alertas tempranas, donde contemplan elementos interrelacionados entre riesgo, vulnerabilidad, prevención y capacidad de respuesta a nivel cuenca (CONAGUA, 2013).

2.2 Planes para la mitigación del riesgo por inundación en cuencas periurbanas a nivel nacional

El territorio mexicano es susceptible a inundaciones con un estimado de 162,000 km², lo que representa el 8% del territorio (García *et al.*, 2016, en Arreguín y Cervantes, 2017). México año con año es afectado por recurrentes y peligrosas inundaciones que ocasionan importantes pérdidas materiales y/o humanas, tan solo en el periodo de 1970 al 2003 se registraron 1744 inundaciones, por otra parte, en el periodo del 2000 al 2015 las pérdidas alcanzaron cifras aproximadas de \$18,950 millones de dólares, donde las zonas devastadas fueron aquellos asentamientos cercanos a las planicies de inundaciones (García *et al.*, 2016, citado en Arreguín y Cervantes 2017; González, 2018).

En México los desarrollos urbanos en las planicies de inundación son históricos, como son; la planicie Tabasqueña, la cuenca baja del río de Bravo en Tamaulipas, el río Pánuco, río Papaloapan, las costas de Chiapas, entre otras, son claros ejemplos de áreas con inundaciones frecuentes (Arreguín y Cervantes, 2017). El CENAPRED (2019) emitió que 58 cuencas están en peligro alto por inundaciones con localidades con más de 50,000 habitantes aproximadamente. Este fenómeno se acentúa en cuencas de ciudades con rápido crecimiento y densificación poblacional que se acompañan de reconfiguraciones territoriales poco planeadas.

En el periodo 2005–2015, la tasa anual de crecimiento poblacional en México fue de 1.2%, mientras que en el centro del país fue del 2% o superior, destacan ciudades como León (2.3%), Toluca (2.2%), Guadalajara (1.8%), San Luis Potosí (2.0%), Monterrey (1.9%) y Querétaro (2.9%) (CONAPO, 2017). Esto ha afectado principalmente al sector más pobre de la población mediante las reconfiguraciones poco planeadas, donde los

cambios de uso de suelo están regulados por diferentes leyes e instituciones de los tres niveles de gobiernos (Arreguín y Cervantes, 2017). Además, a nivel nacional la CONAGUA es la principal institución que está relacionada con la planificación de las aguas superficiales y sus vertientes.

Para tratar con las problemáticas de las inundaciones, la CONAGUA emite un manual para control de inundaciones que se relaciona con las metodologías que emite el CENAPRED para la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales dentro de la cual se tienen programas estratégicos que establece el Programa Nacional de Protección Civil (PNPC) como es el Plan Estatal para la Atención de Riesgo por Fenómenos Hidrometeorológicos (PEPARPFH) y Sistema de Alerta Hidrometeorológicos, este último implementado solo para algunos lugares como Acapulco, Chiapas, México, Tapachula entre otros, los cuales están coordinados con las autoridades de Protección Civil y organizaciones sociales de zonas potencialmente afectables (CENAPRED, 2019).

Las medidas realizadas a nivel federal para la gestión integrada de riesgo por inundaciones, están asentadas principalmente en el manual de riesgo por inundación de la CONAGUA y el CENAPRED donde se mencionan la importancia de la integración de los factores biofísicos y la atención de zonas con pobreza, sin embargo algunas medidas como el Sistema de Alerta Hidrometeorológicos que solo está en algunos Estados de la república deja aquellos que no cuenten con el sistema de alerta, exponiendo aquellas cuencas periurbanas que son más susceptibles a los impactos de inundaciones como es el Estado de Querétaro que presenta un índice poblacional por encima del promedio nacional dando lugar a fuertes presiones de asentamientos poblacionales.

2.3 Consideraciones para la mitigación de riesgo por inundación en Querétaro

La ciudad de Querétaro se encuentra 1.7% por encima de la tasa de crecimiento nacional y es el lugar con mayores eventos de inundaciones de la entidad, pues en el periodo de 2000 al 2018 se registraron 145 eventos de inundaciones en el Estado de Querétaro, de los cuales 99 ocurrieron en la ciudad (Hernández, 2012). Entre el 2003 y 2014 se presentaron inundaciones acompañadas de lluvias de 51 a 100 milímetros de precipitación dañando la

parte central y este de la ciudad (Lule, 2015). Asimismo, la Comisión Estatal del Agua (CEA) identificó 31 puntos críticos de áreas desbordables e inundables definidos en la zona urbana del municipio de Querétaro (CEA, 2005, citado en UAQ, 2009).

Las instituciones a cargo de estas situaciones son la CEA, el Centro de Investigaciones del Agua en Querétaro (CIAQ), Programa Nacional de Protección Civil (PNPC) así también el CENAPRED mediante la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales. El Atlas de Riesgo del Municipio de Querétaro (ARMQ) y el Plan Maestro Pluvial de la Zona Metropolitana de Querétaro (PMPZMQ), son medidas vinculadas para cumplir el objetivo de artículo 84 de la Ley de Aguas Nacionales para realizar obras hidráulicas que mitiguen el riesgo por inundaciones (LAN, 2016), así como el Código Urbano del Estado de Querétaro (CUEQ).

Asimismo, Querétaro cuenta con el Plan de Desarrollo Urbano del Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) y Planes Parciales de Desarrollo Urbano de las Delegaciones Administrativas. El plan parcial y plan para tormentas del municipio de Querétaro han identificado proyectos de infraestructura y política para la prevención de las futuras inundaciones en el núcleo urbano de la ciudad dentro de la cuenca, reemplazar la mayoría de la infraestructura del drenaje aproximadamente 14.2 km en total, conducir el flujo de las aguas de las tormentas hacia el Río Querétaro, revivir el Río Querétaro en el núcleo de la zona urbana, hacer un estudio integral del Río Querétaro y establecer áreas verdes además de maximizar los servicios ecosistémicos de los cauces dentro de una cuenca (González, 2018).

Los cauces que alimentan a la cuenca del Río Querétaro, como es el caso de dos microcuencas periurbanas la cañada de Bolaños-Peñuelas y del río El Pueblito, mediante una modelación hidrológica entre un periodo de 1986, 2001, 2015 y 2050, permitieron intuir el riesgo de catástrofe por inundaciones para una intensidad de lluvia de más de 10 mm. La respuesta de los cauces cambia con el crecimiento de la urbanización, reducen los tiempos de concentración y de gastos máximos e incrementa el volumen de escurrimientos (Lule, 2015; González, 2018).

El crecimiento de la urbanización en la ciudad de Querétaro continúa en aumento y existe alta demanda de espacios para el desarrollo habitacional, comercial y servicios,

incluso las cañadas de los cauces de las cuencas periurbanas también están siendo sujetas a modificaciones. Esto lleva a que la red de cauces naturales de los ríos de Querétaro, Bolaños y Jurica han sido transformada en una red de canales o drenes, considerados como el sistema de control de inundaciones de la cuenca urbana (González, 2018).

Como se observa, los programas y planes que se han formado a nivel estatal están enfocados al estudio de las zonas urbanas de la ciudad de Querétaro dejando a un lado la periferia urbana, solo algunos estudios integran las cuencas periurbanas como la microcuenca periurbana cañada de Bolaños-Peñuelas y El Pueblito. Con base en las características de la ciudad de Querétaro, uno de los principales polos de crecimiento urbano está determinado hacia el norte de la ciudad y con ello las presiones de los asentamientos irregulares sobre los cauces, como en el caso de río Jurica, el cual forma el cauce principal de la microcuenca periurbana Santa Rosa Jáuregui donde se han presentado problemas de inundaciones recurrentes.

2.4 La gestión de riesgo por inundación en la microcuenca Santa Rosa Jáuregui

La microcuenca Santa Rosa Jáuregui se localiza en la zona periurbana al norte de la ciudad de Querétaro de Arteaga y representa el 14.49% de la superficie del municipio. En ella se establecen 21 localidades urbanas y 71 localidades rurales; en las localidades urbanas existe una población promedio de 75,065 personas y en las localidades rurales habitan un promedio de 1,187 personas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2015) siendo Santa Rosa Jáuregui una de las localidades urbanas con más dinámica, debido a la ubicación territorial correspondiente a la parte norte de la ciudad de Querétaro, definida como una ciudad en constante expansión demográfica; en el 2008 habían 4,364 viviendas en una superficie de 298 hectáreas y para el 2010 se presentaban 5,423 viviendas (González *et al.*, 2012 citado en García y Hernández, 2015).

Los asentamientos se distribuyen por niveles económicos. Tan solo en la zona urbana de Santa Rosa Jáuregui se presentan distintos niveles socio residenciales en 21 manzanas, marcando la diferencia de niveles económicos por tipos de viviendas (García, 2016), en el cual, el 15% de la población de Santa Rosa Jáuregui se encuentra en riesgo por

inundación, mismas que están influenciadas por las condiciones del Dren Santa Rosa Jáuregui, afluente del Río Querétaro (García y Hernández, 2015).

La MSRJ se localiza en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, en ella se forma la cuenca Lerma Chápala siendo el Río Querétaro uno de sus principales vertientes. El agua que recibe este río, proviene del Valle de Buena Vista, está controlado por la presa Santa Catarina al norte de la localidad con el mismo nombre, siguiendo la trayectoria del dren aguas abajo, se forma la presa Dolores en las cercanías de la localidad Santa Rosa Jáuregui, hacia al sur, este desemboca en la presa el Cajón también conocida como Lago de Juriquilla. Estas presas, forman parte del sistema hídrico en la MSRJ; la presa Santa Catarina al norte de la zona de estudio es uno de los principales cuerpos de agua de aporte a la presa Dolores al centro y desemboca a la presa el Cajón hacia el sur de la microcuenca. De la presa Santa Catarina a la presa Dolores están conectados por el Dren Santa Rosa Jáuregui (Figura 5).

Con base en la distribución espacial de las presas, la presa Santa Catarina con capacidad de 8.84 Mm³ de almacenamiento, según el dato emitido por el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015), es uno de cuerpos de agua que interviene en el caudal del Dren Santa Rosa Jáuregui en temporadas de lluvias. En la región el promedio anual de precipitación es de 550 mm generando una lámina de concentración de agua de promedio de 50 cm, registrando así hasta 100 cm en las cercanías del Dren en temporadas de lluvias donde se han registrado inundaciones como las del año 1999 (García, 2016).

Las presas y los bordos construidos dentro de la microcuenca, son obras que controlan las avenidas de flujos provenientes de cauces que se forman desde el parte aguas de la microcuenca. Con base en la información vectorial del INEGI (2015), se tienen registrados 105 bordos, algunos de ellos sobre el cauce, entre ellos La Hoyita de las Troneras, en la localidad Troneras, El Bordito en el Rancho el Mesón y El Águila cerca a Montenegro.

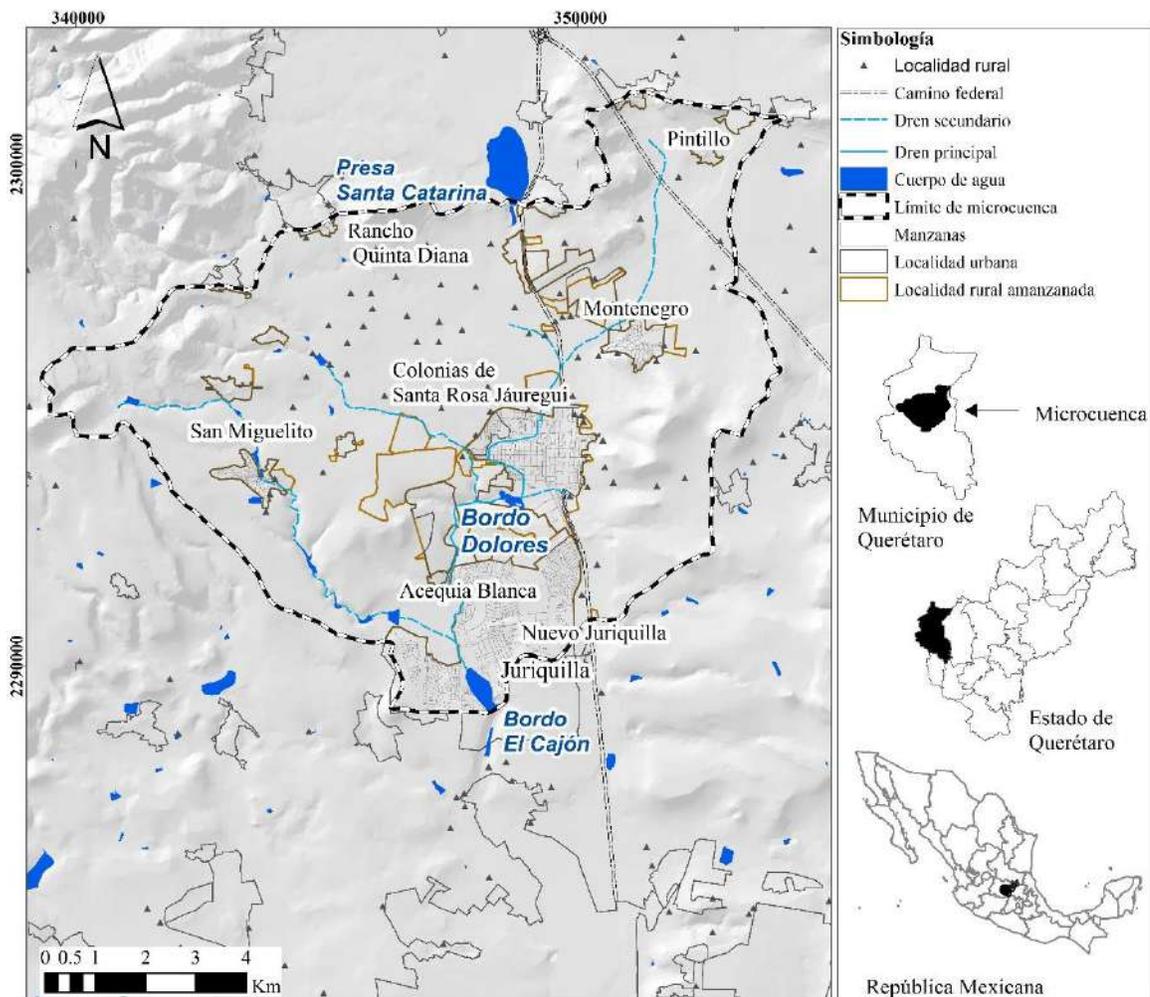


Figura 5. Ubicación de la microcuenca con respecto a la ciudad de Querétaro de Arteaga.
Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2015).

Con respecto a las características de la red hídrica, el cauce principal tiene una longitud de 17 km y es intermitente, mientras que el resto de las corrientes son de carácter efímero, considerando un sistema de red hídrica de tipo dendrítica y según Strahler (1957) en el orden de la red hídrica es de tipo cuatro, indica que la concentración de cauces es alta.

Con respecto a la forma de la microcuenca según el índice de Graveluis es de 1.39 definida de oval redonda a oval oblonga y de acuerdo al factor de forma es de 0.72 caracterizada como moderadamente achatada lo cual reafirma que no produce muchas corrientes. La microcuenca Santa Rosa Jáuregui (MSRJ) presenta problemas en su funcionalidad hídrica, que año con año se presentan peligrosas y frecuentes inundaciones, es una de las microcuencas periurbanas con mayor dinámica demográfica en las últimas dos décadas

(1990-2015) debido que es uno de los ejes direccionales del crecimiento urbano de la ciudad (García, 2016), desencadenó perturbaciones ambientales, sociales, económicas y políticas, exponiendo a la población a riesgos por inundación por las altas precipitaciones.

La recurrencia de inundaciones en la MSRJ se ha intensificado desde 1999 registrando afectaciones en las cercanías a las estructuras hídricas Santa Catarina, El Nabo y el Cajón, así como en la inmediación del Dren Santa Rosa Jáuregui, marcan en riesgo a seis colonias como San Miguelito, Montenegro, Santa Rosa Jáuregui, Las Lajitas, Fraccionamiento El Pedregal, y la zona centro de Juriquilla afectando principalmente a escuelas y casas habitación de alta vulnerabilidad (Miranda, 2007; UMPC, 2015; García y Hernández, 2016). Tan solo en Santa Ros Jáuregui centro, se ha inundado 13 veces, de las cuales solo se han mitigado cuatro de ellas desde el año de 1999, asimismo han invertido 877.6 miles de pesos en conceptos de estudio. Estas zonas en riesgo no son parte de los 31 puntos críticos de áreas desbordables e inundables definidos en la zona urbana del municipio de Querétaro (CEA, 2005, citado en UAQ, 2009), mismo que deja a lado la consideración de un plan estratégico que mitigue el riesgo por inundación donde considere la gestión integrada del riesgo por inundaciones a mediano y largo plazo.

El Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Santa Rosa Jáuregui PMDU (2017) menciona que presenta inundaciones en las calles Hidalgo e Independencia consideradas como zonas de peligro de inundación, al igual son una zona potencial de recarga del acuífero Buenavista. Este programa parece integrar los elementos biofísicos para la planeación territorial, así como secuencias lógicas para establecer medidas estratégicas que mitiguen las problemáticas del riesgo por inundación de forma integrada mediante la formulación de normas como el Sistema de Normativo de Ordenamiento Territorial, Administrativo y Gestión del Desarrollo Urbano. Este último conforma normas como el tratamiento y conservación del polígono de riesgo de la Presa de Santa Catarina donde menciona que la zona debe cumplir con áreas de salvaguardas y riesgo, conservarse sin desarrollo, construcción o actividad y garantizar la conservación de zonas de cuerpo de agua de la Presa Santa Catarina. Sin embargo, este programa adolece de consideraciones particulares como las características básicas de una cuenca periurbana como la MSRJ. Asimismo, de los 30 lineamientos que expone la Unidad de Gestión Ambiental (UGA)

expuestas en el Periódico Oficial del Estado de Querétaro (2014), solo 12 lineamientos mencionan rasgos generales relacionados con las estrategias no estructurales para mitigación de riesgo por inundación sin puntualizar. Presentan un acercamiento en la gestión integrada de riesgo por inundaciones donde se consideran las características biofísicas y sociales para el establecimiento de acciones quedando sin establecer acciones que conlleven la construcción de estrategias estructurales y no estructurales puntuales para mitigar el riesgo por inundación de manera integral.

3. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

En el contexto del análisis de riesgos por inundación en una microcuenca periurbana y las diferentes formas para su evaluación de cada componente que la integran (Hernández, 2011; Jakubinsky *et al.*, 2014; Brinda y Pavelic, 2016 y Walker *et al.*, 2016), este trabajo se enfoca en la integración de factores biofísicos y sociales mediante las aplicaciones de los métodos como cálculos morfométricos de la unidad de estudio, análisis de multicriterio para la determinación de riesgo y zonas prioritarias, así como la participación de tomadores de decisiones mediante la aplicación de entrevistas focales para la construcción de estrategias estructurales y no estructurales para mitigar el riesgo por inundación en una zona periurbana. Por lo tanto, los métodos aplicados se dividieron en cuatro etapas con base en los objetivos planteados. Primero en el apartado 3.1, relaciona la determinación para la identificación de áreas de inundaciones por zonas funcionales, donde inicia con la descripción de los métodos ocupados para los cálculos de las condiciones biofísicas y después para la obtención de la zonificación de las zonas de inundaciones. Segundo, en el apartado 3.2 menciona la secuencia aplicada para la evaluación de la vulnerabilidad de los objetos amenazados, obtenidos a través de la evaluación de las zonas vulnerables, condiciones socio residencial y la obtención de riesgo por inundación en las zonas funcionales de la microcuenca. Tercero, en el apartado 3.3 la delimitación de las zonas prioritarias donde se aplicarán las estructuras para mitigar el impacto de las inundaciones. Y cuarto, en el apartado 3.4 describe elaboración de estrategias estructurales y no estructurales (Figura 6).

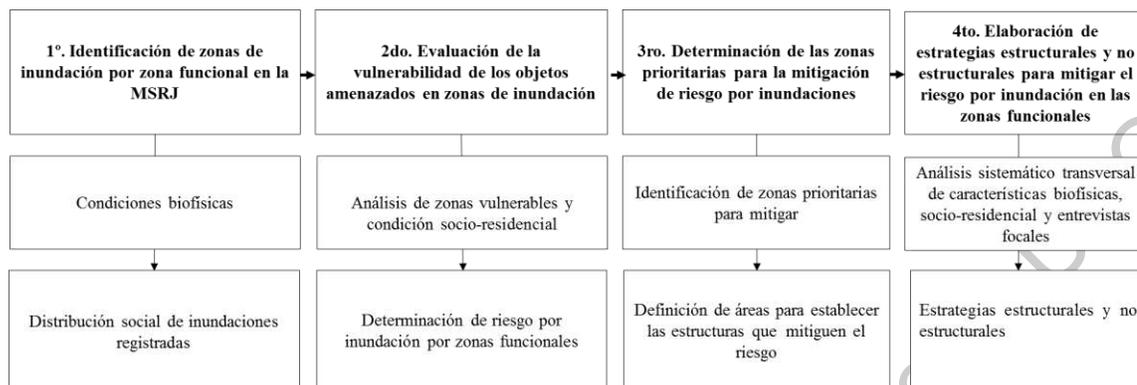


Figura 6. Secuencia metodológica aplicada.

Para procesar y analizar cada etapa de los métodos empleados, se estimaron distintas técnicas básicas. La información de cartografía base y temática en formato *shape* y *rasters* de distintas instituciones gubernamentales como son: cartas F14C55 y F14C65 del INEGI, la CONAGUA, la CONABIO y la CEA. Esta información fue editada y definida en una plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG) con el programa de ArcMap versión 10.1 con el fin de adjuntar toda información textual consultada al igual que adjuntar la información *in situ* generada en cada etapa de trabajo dentro de las escalas de 1:50000 y 1:250000.

3.1. Identificar zonas de inundación por zona funcional en la MSRJ

Identificar zonas de amenaza conduce a aquellos controladores a menudo ocultos y remotos, los cuales deben de ser analizados de forma no lineal, con trabajos que involucren factores biofísicos y sociales (Mavhura, 2019). Bajo este escenario, las zonas funcionales se convierten en un parámetro a considerar debido a los servicios ecosistémicos que resultan de ella, que no siempre son tangibles (Flotermersch *et al.*, 2016), lo cual permite analizar a los factores como un sistema integral. Para lograr identificar estas zonas, se incluyeron variables de métodos de multicriterio que consideran los autores DIREN-PACA, (2007), Shao (2011), Hernández y Vieyra (2010), Yi y Xiao (2015), sean parámetros de la morfometría, base climática, balance hídrico, datos hemerográficos y verificación de información mediante la aplicación de fichas de campo y entrevistas.

Se analizaron dos componentes base, los factores biofísicos y datos socio residencial que marcan registros de las afectaciones por las inundaciones, se puso hacer una delimitación de las zonas de inundaciones con base en la integración de los parámetros del método multicriterio (Figura 7).

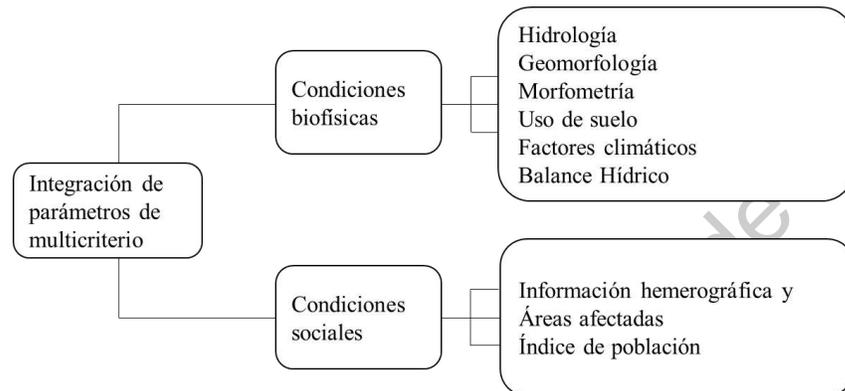


Figura 7. Secuencia para identificación de zonas de inundaciones.

Fuente: Elaboración propia con base en DIREN-PACA, (2007), Shao (2011), Hernández y Vieyra (2010), Yi y Xiao (2015) y Flotermersch *et al.* (2016).

3.1.1 Condiciones biofísicas

Dentro de los parámetros del medio biofísico, se consideraron dos parámetros, la elevación de terreno y las formas del relieve, las cuales se desarrollaron y se modificaron otras características relacionadas al agua, suelo y vegetación. Para determinar los dos parámetros básicos, se consideraron las curvas de nivel en formato *vector* obtenidos de la plataforma del INEGI (2015) a una escala 1:50000, mismos que se procesaron en el ArcMap 10.6 para la obtención del Modelo Digital de Elevación (MDE) y el relieve (RVE) en la plataforma de SIG, ambos en formato *raster*. Estos dos parámetros fueron ocupados conforme al límite de la MSRJ de FIRCO (2016) para el procesamiento de las siguientes características geomorfológicas, red hidrológica y distribución geológica, además del cálculo para los parámetros de la morfometría, hidrología, uso de suelo, zonas funcionales y los factores climáticos, mismos que ayudaron para la caracterización del balance hídrico y para la determinación del periodo de retorno y con ello la aplicación del método racional. En los siguientes apartados se desglosan los cálculos para cada proceso metodológico.

Morfometría

Considerada la base del MDE y el RVE, de la cuales formaron parte esencial para la geomorfología y la red hidrográfica, se procedió hacer cálculos de la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui mediante geoprocesos como la aplicación de algebra de mapas entre *vectores* y *rasters* para obtener los rasgos morfométricos que permitieron: 1) definir los trayectos del paso del agua superficial en la microcuenca; 2) determinar los rasgos del subsuelo y las interacciones con el comportamiento del flujo hídrico, mismos parámetros que formaron la base para determinar el método racional, así como; 3) clasificar los parámetros de la microcuenca en estudio. La tabla 1, desglosa los cálculos realizados y las descripciones de cada parámetro. Para la obtención de Índice de Gravelius (Kc) fue para relacionar la intensidad de inundaciones y las descargas máximas (Taghavi, Hasirchian, Han, Taghavi y Pirzadeh, 2011). Mismos que fueron complementados con la obtención de Factor de forma (Ff), Densidad de drenaje (Dd) y Pendiente del cauce principal (P) que permitieron relacionar el comportamiento del agua en la microcuenca.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la MSRJ.

Parámetro	Símbolo	Unidades
Área de la cuenca (Ac)	Superficie dentro del parteaguas	km ²
Perímetro (Pc)	Longitud del parteaguas	km
Longitud axial (Lx)	Distancia entre el punto más alejado de la cuenca, línea recta, hasta el punto de salida del río principal	km
Ancho promedio de la cuenca (W)	$W=Ac/Lx$	km ² /km
Índice de Gravelius (Kc)	$Kc=0.282(Pc/\sqrt{Ac})$	-
Factor de formas (Ff)	$Ff=Ac/Lx^2$	-
Razón de alargamiento Ra	$Ra=1.128*\sqrt{Ac/Lx}$	
Pendiente de la cuenca (S)	$S=100((h^*1)/Ac)$	%
Longitud cauce principal (Lcp)	Distancia del cauce principal	km
Pendiente media del cauce principal (P)	$P=[(Hmáx-Hmín)/Lcp] *100$	%
Densidad de drenaje (Dd)	$Dd=\sum LDs/Ac$ LDs= Longitud de drenes	Km/Km ²
Densidad de corriente (Dc)	$Dc=Ca/Ac$ Ca= Sumatoria total de todas las corrientes	Corr/km ²
Orden de la cuenca	Según Strahler	-
Relación de bifurcación (Rb)	$Rb=Nn/Nn+1$ $Rb=(Rb1+Rb2+Rbn)/\text{número de Rbs}$	-
Índice de Compacidad (Ci)	$Ci=Pc/2\pi r=0.28(Pc/Ac)^{1/2}$ Ci=1 cuenca circular, el área de la Cuenca los volúmenes de escurrimiento y tiempo de concentración son altos Ci<1 cuenca alargada.	-

Fuente: Elaboración propia con base en Henao (2006) y Gaspari *et al.* (2013).

Hidrología

Aunado a las características de la microcuenca, también se consideró la distribución de las características del subsuelo para determinar los tipos de unidades hidrogeológicas. Se realizó a partir de la base de información del estudio geológico estructural de Xu, Nieto, Alaniz y Cerca (2011) y de la cartas geológicas mineras (F14C55 y F14C65) para relacionar datos de distribución litológicas con valores de conductividad hidráulica, permeabilidad y valores de porosidad según Davis (1969) (Tabla 2). El comportamiento de distribución de las unidades hidrogeológicas, permitió identificar áreas impermeables o permeables para identificar las características de las zonas de acumulación de agua durante una avenida de flujo o precipitación extraordinaria.

Una vez determinadas las unidades hidrológicas se procedió con la obtención de las características del uso de suelo.

Tabla 2. Rangos de valores de porosidad (n).

	n (%)
Depósitos no Consolidados	
Grava	25-40
Arena	25-50
Limo	35-50
Arcilla	40-70
Rocas	
Basalto fracturado	005-50
Caliza kárstica	005-50
Arenita	005-30
Caliza, dolomita	0-20
Lutita	0-10
Roca cristalina fracturada	0-10
Roca cristalina masiva	0-5

Fuente: Davis (1969).

Uso de suelo

Las inundaciones tienen impactos sobre la pérdida de suelo y el impacto de la erosión sobre la seguridad de las propiedades y de las vidas humanas, además de llevar a la susceptibilidad humana e infraestructura (Yi y Xiao, 2015). Para la distribución del tipo de

suelo, se basó en la información existente del INEGI (2015) como son las capas vectoriales de zona urbana y vegetación, el mapa de uso de suelo realizado por Miranda (2007), así como la imagen satelital de Google (s.f). La sobreposición de estas capas vectoriales e imágenes, ayudó a definir los polígonos de tipo de usos de suelo, las cuales se consideraron los polígonos como son: agricultura de riego, agricultura de temporal, bosque tropical caducifolio, matorral crasicaule, matorral espinoso, matorral subtropical, pastizal inducido y los polígonos de las zonas urbanas.

La tipología del uso de suelo señala las características naturales de una microcuenca, así como las alteraciones de la aptitud del suelo original modificada por actividades antropogénicas, donde las áreas periurbanas presentan una intersección entre dos polígonos de uso de suelo natural y uso de suelo modificado antrópicamente. El uso de suelo también está relacionado con las condiciones climáticas que presentan en la región, mismas que son definidas por factores como la precipitación y la temperatura.

Zonas funcionales

Para definir las zonas funcionales se consideraron criterios de la división altitudinal de una cuenca y disecciones de relieve (Garrido, Pérez, Guadarrama, 2010; Valdés y Hernández, 2018), y las funciones de una cuenca (Flotermersch *et al.*, 2016). Para la división de la microcuenca a nivel altitudinal, fue basado en los parámetros del MDE, RVE, mapa de pendientes, curvas de nivel, orden de red hídrica según Strahler y los límites de la curva hipsométrica, mismos que fueron geoprocesados en el ArcMap para la división de las zonas altitudinales (Zona alta de captación, Zona media de transporte y almacenamiento, Zona baja de descarga o depósito) con base en criterios de Valdés y Hernández (2018). En el caso de las funciones de la microcuenca, se consideraron algunos criterios descritos por Flotermersch *et al.* (2015) como son la regulación hidrológica y la regulación de sedimentos, que se relaciona con los principios del método hidrogeomorfológico (DIREN-PACA, 2007) donde se analizaron las unidades vinculadas con procesos hidrológicos de los cuales se contemplaron mapas como el geológico, el edafológico, el uso de suelo, la red

hídrica, la topografía, las inundaciones históricas y las unidades geomorfológicas así como el MDE.

Una vez hecha la división altitudinal y las consideraciones funcionales de la microcuenca, se procedió a realizar secciones transversales en el ArcMap con el objetivo de tener la distribución de las zonas de inundaciones por función de la microcuenca. Las secciones transversales fueron basadas sobre los datos de campo mediante la aplicación de fichas y datos de distribución de la población periurbana y rural, donde se han registrado afectaciones a la sociedad y al medio biofísico.

Factores climáticos

Los factores climatológicos incluyen la lluvia, el agua, la temperatura, la humedad relativa, el aire y el viento; sin embargo, también se consideran otros componentes como la topografía y el suelo que influye en el ambiente (Zareaia y Aziz, 2013). Los componentes para el cálculo de los factores climáticos se basan en registros de periodos prologados en años, esto se vuelve dependiente de datos constantes y continuos para el cálculo, sin embargo las estaciones de registros no siempre logran obtenerlos, por lo que la determinación de estos factores se englobó en algunos parámetros significativos para determinar las inundaciones en la microcuenca periurbana, como son la precipitación y la temperatura, bajo un proceso de registros de datos entre los años de 1984 al 2014, periodo con una aproximación favorable para los cálculos de los principales parámetros.

Para calcular y expresar estos parámetros de forma gráfica y resaltando la distribución espacial, se dividieron en cuatro etapas: 1) construcción del polígono de Thiessen, 2) selección y procesamiento de estaciones climatológicos y 3) construcción de hidrogramas, mismos que fueron base para el cálculo del balance hídrico, de los periodos de retornos y de la aplicación del método racional.

De lo anterior, para lograr el inciso 1) construcción de polígonos de Thiessen, se aplicó la selección de las estaciones climatológicas y se analizaron valores representativos, con el objeto de verificar cuales de las estaciones climatológicas tienen influencia en la microcuenca de forma espacial. La distribución de las estaciones en la

microcuenca está dispersa, por lo que los polígonos de Thiessen solo abarcaron tres estaciones que tienen influencia a la microcuenca. Una vez definidos los polígonos, se procedió con la siguiente etapa.

Respecto al inciso 2) selección y procesamiento de estaciones climatológicas, en esta etapa se realizaron descargas de datos de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) directamente de la plataforma de la CONGUA, las cuales se seleccionaron datos de la precipitación media anual y la temperatura media anual, mismas que fueron procesados en Excel. Los datos originales presentaron datos discontinuos y para el llenado de algunos datos faltantes se aplicó la metodología de aritmética con el objeto de tener los datos continuos.

En el inciso 3) la construcción de los hidrogramas, en esta etapa se realizó una vez completa la base de datos, donde se calcularon: la precipitación media mensual, la precipitación total media mensual, la precipitación total media anual, la temperatura media mensual, la temperatura total media mensual y la temperatura total media anual, todas estas variables para cada estación meteorológica de las cuales se desprendieron hidrogramas de precipitación media anual mm/año y temperatura media anual en °C. Finalmente, las tres etapas fueron elemental para el balance hídrico y el periodo de retorno, descritos en los siguientes incisos.

(a) Balance hídrico

Para obtener el comportamiento del agua de las precipitaciones y como se distribuyen entre los procesos de evapotranspiración, escorrentía e infiltración, fue necesario considerar los niveles de información en formato *raster* para procesarlos en el ArcMap. Para el *raster* de infiltración (I), se aplicó la fórmula $I=P-ETR-Q$ en la calculadora del SIG donde P es el *rasters* de precipitación, ETR de evapotranspiración y Q la de escurrimiento superficial, ecuación basada en el principio de la ley de conservación de la masa (Dunne y Leopold, 1978; Brooks, Ffolliott, Gregersen, y DeBano, 1992).

De la precipitación (P) y temperatura (T) se construyeron isoyetas e isotermas bajo la aplicación del método de *kriging* con el software Surfer V. 8 y procesado en el ArcMap

para obtener los *rasters* de cada uno. Para calcular la evapotranspiración (ETR) se aplicó la fórmula de Turc $ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (\frac{P}{L})^2}}$, $L=300+25T+0.05T^3$ (Ec. 1), donde P es la precipitación

media anual en mm/año y T la temperatura media anual en °C, fórmula que fue geoprocesada en ArcMap para la obtención del *raster* de ETR. Para el *rasters* de coeficiente de escurrimiento (Q) se aplicó la ecuación $Q=Ce*P$ (Ec. 2), $Ce= K(P-250/2000)+(K-0.15)$; cuando $K<0.15$ se aplica $Ce=K(P-250/2000)$. Se aplicaron las variables de precipitación (P), tipo y uso de suelo. Existen índices adaptados a la república mexicana (K), mismos que fueron complementados por Aparicio (2005) (Tabla 3).

Para el uso de suelo se consideraron las características de tipo de suelo de las cartas edafológicas (INEGI, 1973) donde se señala el tipo de suelo para determinar los índices del coeficiente de escurrimiento para la microcuenca en estudio.

Con el objetivo de entender el comportamiento de los principales factores climáticos, fue necesario considerar los factores ambientales donde se conjuntan todas aquellas variables medibles que permitan evaluar el comportamiento del flujo hídrico en la microcuenca y poder determinar los principales rasgos biofísicos de las zonas de inundaciones (Jiang *et al.*, 2019).

Para la determinación de los rasgos climatológicos, el proceso de la integración entre los factores usos de suelo y valores de índice de vegetación, fueron fundamentales para cuantificar las cantidades de agua que escurren en la microcuenca, las cuales se desprenden inundaciones naturales o inducidas debido a la modificación del medio físico por las actividades antrópicas. Bajo este escenario, se procedió a realizar un balance hídrico aplicado a las condiciones de la microcuenca periurbana para obtener la cantidad de agua que fluye en la microcuenca.

Tabla 3. Índice de escurrimiento por tipo de uso de suelo

Uso de Suelo y Vegetación	Grupo	Textura	K
Agricultura Temporal	B	Limo	0.27
Agricultura Temporal	C	Arcilla	0.3
Zona Urbana	C	Arcilla	0.32
Matorral Crasicaule	B	Limo	0.26
Matorral Crasicaule	C	Arcilla	0.28
Bosque Tropical Caducifolio	C	Arcilla	0.26
Bosque Tropical Caducifolio	B	Limo	0.22
Agricultura de riego	C	Arcilla	0.3
Matorral Subtropical	C	Arcilla	0.26
Matorral Espinoso	B	Limo	0.26
Matorral Espinoso	C	Arcilla	0.28
Pastizal Inducido	C	Arcilla	0.3
Pastizal Inducido	B	Limo	0.28
Zona Urbana	B	Limo	0.29
Matorral Subtropical	B	Limo	0.22

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aparicio (2005).

(b) Periodo de retorno

Para determinar la intensidad de lluvia registrada en 24 horas, se basó en los registros de datos de las precipitaciones para cada una de las estaciones influenciadas. Se contabiliza en un mes determinado y se establece para los periodos de 2, 5, 10 y 25 años para estación influenciada (Camarasa y Bescos, 2000). Sin embargo, la base de datos de la precipitación máxima en 24 horas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) excede espacios sin información tanto en años como en meses, por lo que se consideraron los datos de precipitación media mensual ya calculada, dentro de los cuales se obtuvieron las curvas de precipitación, duración y periodo de retorno, así como las series de los periodos de retorno.

Curva de intensidad, duración y periodo de retorno: Se utilizaron los datos de precipitación media mensuales. Con base en los datos, se llevaron a cabo las construcciones de curvas que están en función de la magnitud (lámina total en una duración de la

tormenta), duración y frecuencia (a partir de su periodo de retorno o del intervalo de recurrencia donde se determina por el tiempo en promedio de años y el evento pueda ser igualado o excedido por los menos una vez) (Hernández, 2011).

Series de periodo de retorno: Para los periodos de retorno: se consideró la serie anual de promedios de precipitación para el periodo de retorno Tr , que se estimó con la ecuación, $Tr = \frac{n+1}{m}$ (Ec. 3), donde Tr es el periodo de retorno de la serie anual de promedios mensuales, n es el número total de eventos en la serie anual, igual a número de años de registro y m es el número de orden del evento, ordenados de forma decreciente, esto es, uno para el mayor y n para el menor.

Para la duración parcial: se trabajó bajo las series de excedentes anuales, donde considera los eventos secundarios en un año, lo cual los periodos de retorno Te se calculó con la ecuación $Te = \frac{n}{m}$ (Ec. 4), donde m y n representan lo mismo que la Ec. 3 y Te representa el periodo de retorno en la serie de excedentes anuales (Campos, 1992). Para los periodos de retorno se necesitan que sean menor a 10 años, por lo que se utiliza la serie de excedentes anuales y por la magnitud de los registros es superior a los 30 años. Casi a todos los periodos de retornos se emplea el criterio de interpolación para el proceso estadístico, excepto para 50 años. Por lo tanto, se calcula la lluvia máxima diaria del periodo de retorno Te en milímetros con la ecuación $P_{Te} = A + B(\log Te)$ (Ec. 5), donde P_{Te} es la lluvia máxima diaria del periodo de retorno Te en mm, Te es el periodo de retorno de la serie de excedentes anuales y \log es el logaritmo decimal del periodo de retorno. Se aplica una correlación lineal como medida aritmética para correlación de dos variables y debe fluctuar de -1 a +1, cuyo coeficiente se presenta por la ecuación $r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 S_y^2}}$ (Ec. 6), donde S_{xy} es la covarianza, S_x^2 es la varianza de las x , y S_y^2 es la varianza de las y .

Para el proceso de corrección en la obtención de la lluvia máxima diaria del periodo de retorno (Te), se procesaron los datos para aplicar el intervalo fijo de observación de 1.13 (valor requerido de lluvia máxima para los periodos de retorno de dos años) que corresponde para la construcción de las curvas.

Para la construcción de curva de precipitación, duración y periodo de retorno (Ibid, 1992), se aplicó la ecuación de F.C Bell (1969) $P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76)(0.54t^{0.025} - 0.50)P_2^{60}$ (Ec. 7), donde P_T^t es la precipitación en duración t minutos y periodo de retorno T en años, en milímetros y \ln el logaritmo neperiano de T .

Hershfiel (Campos, 1992), considera la fórmula $P_2^{60} = 0.60(P_2^{1440})$ (Ec. 8). Utiliza el cociente del orden de 0.60 para la relación de una hora a 24 h.

Para obtener la curva de precipitación, duración y periodo de retorno, se consideraron los valores de las lluvias anuales máximas, la gráfica denominada curva de Intensidad-duración- Frecuencia IDF los cuales se obtuvieron de una media aritmética entre el cociente de Hershfiel y el valor de la curva IDF. Junto a estos valores, se aplica la fórmula de Bell, 1969 citado en Hernández (2011) donde las cantidades de lluvia que se definirá con las Curvas de Precipitación, Duración y Periodo de retorno (Ibid, 1992, citado en Hernández, 2011) aplicados para cada estación que tiene influencia en la microcuenca.

Método racional

El diseño de caudales se calcula para conocer la influencia de la cantidad de agua en el trayecto y la interacción con la superficie de una microcuenca, así como los impactos favorables o desfavorables que tienen sobre el medio biofísico, de las cuales definen el estado del entorno mediante la determinación de flujos máximos. Para calcular los flujos máximos y las interacciones e impactos en la microcuenca periurbana, se consideró el Método Racional que permite aplicarse a áreas pequeñas (<3000 km²), zonas con urbanización y volumen de cauces (Coombes, Babister y Mcalister, 2015).

El diseño de caudales mediante la aplicación del Método Racional tiene una hipótesis fundamental que toda el agua de la lluvia constante y uniforme que cae en la superficie de una microcuenca, genera un volumen de descarga máximo sobre la superficie (m³/s) debido a la contribución de precipitación y escurrimiento de cada espacio de la microcuenca (Aparicio, 2005).

El método también aplica para un lapso de tiempo denominado tiempo de concentración T_c , definido como el tiempo que tarda el agua en fluir desde el punto más

lejano de la microcuenca hasta el punto de aforo o de estudio, mientras que el gasto máximo se define con la expresión $Q=0.278 C i A_c$ (Ec. 9), donde Q es el gasto máximo (m^3/s); C es el coeficiente de escurrimiento total; i es la intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la microcuenca (mm/h) y A_c es el área de la microcuenca drenada (Km^2).

La consideración de los parámetros morfométricos que utiliza el método, consiste en determinar las curvas de caudales en distintos periodos de retorno para cada polígono de incidencia y por cada área de las unidades que conforman la microcuenca, por medio de la determinación de la i intensidad, duración y periodo de retorno (descritas subtema de periodo de retorno), un coeficiente de escurrimiento K (Tabla 3) y el área de la unidad de escurrimiento.

Para calcular el tiempo de concentración del cauce principal por cada unidad de escurrimiento, se aplicó el método de Chow, áreas menor a $3000 km^2$; $T_c=0.01(L/\sqrt{S})^{0.64}$ (Ec. 10), T_c es el tiempo de concentración en h, donde L es la longitud del cauce principal en m, S es la pendiente media del cauce principal.

Una vez la aplicación del método racional en el cual permitió conocer el comportamiento del caudal del agua en cada subdivisión de la microcuenca y el caudal a nivel microcuenca, se analizó la distribución de la población periurbana y rural donde se han registrado eventos de inundaciones y de riesgo por inundación.

3.1.2 Distribución social de inundaciones registradas

El factor social para la zonificación de inundaciones, se vuelve fundamental para la definición de las zonas donde la población está expuesta, para ello se consideraron datos hemerográficos que sirvieron para relacionar los antecedentes de estudios previos, así como aquellos registrados que no lo están. También el análisis del censo de población y vivienda (INEGI, 2015), aportó información de la población en la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui donde exhibieron las zonas susceptibles a los eventos de las inundaciones. El análisis se realizó en la plataforma del SIG, donde consistió en la digitalización de la información de los antecedentes, se realizaron dos recorridos en campo donde se corroboraron los datos hemerográficos y los estudios previos bajo la conformación de

fichas técnicas donde integra una tabla 4 de referencia de los factores biofísicos para que sean cartografiados, así como los niveles de precariedad urbana.

Información hemerográfica y áreas afectadas

Los registros de daños y pérdidas, permiten conocer cuál es la dimensión real del problema y a partir de ella hacer una estimación para un determinado periodo, de manera que se pueda contar con información basada en evidencias que permitan tomar decisiones y realizar inversiones que puedan evitar o reducir pérdidas, con lo que la construcción de datos con información hemerográfica se vuelve una metodología para construcción de base de datos (Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre, UNISDR, 2015).

La información hemerográfica permitió definir aquellas zonas donde se realizaron estrategias de mitigación por eventos de inundaciones dentro y en las cercanías de la microcuenca periurbana de Santa Rosa Jáuregui en un periodo de 1990 al 2018. Se analizaron en dos fases: 1) revisión de registros de inundaciones de los periódicos (UNISDR, 2015); y 2) la integración de los datos en la plataforma del SIG para realizar gráficos y mapas donde muestren los daños.

El inciso 1) se logró mediante la revisión los periódicos locales de la Ciudad de Querétaro donde exhibieron aquellos datos de lugar, cantidad de viviendas afectadas, tipo de estrategia de mitigación y la cantidad monetaria invertida, mismos datos fueron procesados en una hoja de cálculo Excel con el objeto de graficarlos y ser integrados al SIG. El inciso 2) consistió en digitalizar los datos y ubicarlos espacialmente para generar un centroide y obtener coordenadas geográficas y de ello relacionarlas con las características biofísicas a través de construcción de mapas.

Los mapas resultantes de los datos hemerográficos así como la consideración de estudios previos donde marcan zonas afectadas y cantidad de viviendas afectadas que conforman los alrededores fuera y dentro de la zona de la microcuenca, formaron parte del análisis social. Posteriormente, ambas características (la biofísica y la información social) fueron integradas en la plataforma del SIG, con ello datos que se consideraron en la ficha técnica para su verificación *in situ*, dentro de la primera etapa de campo, de los cuales permitió verificar toda información que se relaciona con las inundaciones en microcuencas

periurbanas. A continuación, se presentan los datos considerados en la ficha técnica en la tabla 4, (Anexo I).

Tabla 4. Datos considerados para corroboración en campo.

(A) Tipo:	(B) Tipo:	(C) Tipo:	(D) Tipo:
Cañada	Fluvial	Falla, fracturamiento, vetillas, diaclasas	Porosidad (según tipo de roca)
Lomerío	Pluvial	Oxidación, cloritización, caolinización, argilización y silicificación	Primaria
Meseta	Eólica	Plantas, animales y/o antrópico	Secundarias
Llanura	Gravitacional		Impermeable
Planicie	Antrópica		

(E) Tipo :	Subtipo:	Altura (m)	(F)Tipo: Matorral espinoso	Subtipo:	(G) Tipo: Pastizal
Bosque tropical			66-100%	Espinoso	Pastizal Alpino
75-100%	Perennifolio	>33 = Alto	33-66%	Subinerm	Pastizal sabana
50-75%	Subperennifolio	≥25 = Medio	0-33% (Sin espina)	Inerm	Resto es pastizal
25-50%	Subcaducifolio	≥15 = Bajo		Micrófilo, escrolofilo	Pastizal Inducido
0-25%	Caducifolio				

(H)Tipo: Clasificar con materia	(I) Material: Techo y paredes	(J)Tipo:	(K)Tipo:	(L)Tipo:
Escuela	Susceptible como cartón, madera, plástico (Alto)	Dren	Desbordamiento	Área de derrumbe
Casa habitacional: autoconstruida o en serie	Poco susceptible como block sin castillos (Medio)	Arroyo	Acumulación de agua	Zona de hundimiento
Centro de salud	Muy bajo o nulo susceptibilidad construcción concreto con pilares (Bajo)	Presa	Ocupación (sobre dren)	Área contaminada
Negocios		Bordo		Ubicación de alcantarillado
Industrias				
Deportivo				
Mercado				
Oficina de delegación				

(M) Tipo :
Colocación de costales. Costales
Incremento de área afectadas. Barda
“Obra” de modificación de trayecto del agua. Estructura
Uso de otro material. Natural, industrial o combinación

Fuente: Elaboración propia con base en: (A) Modificación de Hernández *et al.* (2017), (B) INEGI (2017); (C) Tarbuck y Lutgens (2005); (D) Custodio y Llamas (1983); y (E, F y G) Miranda y Hernández (1963).

Después de la etapa de verificación de las zonas de inundación, se procedió a analizar la distribución de la población y las diferenciaciones sociales por medio de análisis estadísticos de la cartografía y la base de datos del censo de población.

Finalmente, se realizaron secciones transversales de cada zona funcional donde se consideraron los parámetros biofísicos de las inundaciones, con el objeto de esquematizar las características del subsuelo y superficiales de las áreas de zonas específicas de inundaciones.

3.2 Evaluación de vulnerabilidad de objetos amenazados en zonas de inundación

En el contexto de la determinación de riesgo por inundación en una microcuenca, donde las amenazas y la vulnerabilidad fueron consideradas, la segunda incrementa cuando las

condiciones de precariedad se exponen ante eventos de precipitación. Como elementos multifactorial, la vulnerabilidad puede estar descrita por factores físicos, sociales y económicos, por ejemplo, las áreas de deforestaciones o urbanizadas son factores físicos y sociales que encaminan al deterioro de la microcuenca, lo que incrementa la vulnerabilidad por una intensa lluvia, pendiente o condición socio residencial, caracterizada como factores dinámicos o estáticos. El incremento de la vulnerabilidad de una microcuenca debido al cambio de cobertura de suelo, es factor primordial que conduce a más inundaciones (Zúñiga y Magaña, 2017; García y Hernández, 2015). En la actualidad no hay un método universal para estimación de la vulnerabilidad, por consecuencia se han propuesto varios métodos para su cuantificación (Gain, Giupponi y Renaud, 2012). Para la determinación de la vulnerabilidad de objetos amenazados por zonas funcionales y para las condiciones socio residencial, ambos métodos fueron modificados y adaptados al área de estudio con la finalidad de integrar factores relacionados a zonas vulnerables.

3.2.1 Evaluación de las zonas vulnerables

Para la evaluación de la vulnerabilidad de los objetos amenazados bajo la consideración de zonas funcionales, se contempló el método aplicado por Zuñiga y Magaña (2017) y García y Hernández (2015) consideran las condiciones de cambios de cobertura y uso de la tierra, pendiente del terreno, precipitación, geología, edafología y nodos de concentración, (nodos de concentración se refiere a las zonas naturales de captación de agua); los métodos se modificaron para su aplicación a la MSRJ. En la tabla 5 se desglosan los factores adaptados de ambos métodos para la evaluar la vulnerabilidad de los objetos amenazados. Se consideró la relación de cada variable con los parámetros base que provocan inundaciones. Los índices de vulnerabilidad, se definieron entre nueve niveles, donde el nivel uno corresponde a una vulnerabilidad baja, mientras que el nivel nueve corresponde a las zonas más vulnerables.

Tabla 5. Factores considerados para el análisis de la vulnerabilidad.

Variable	Índice de Vulnerabilidad para MSRJ	
	1 menor (-) inundación	9 mayor (+) inundación
Escorrentamiento en la microcuenca (k) (Edafología)	1=litosol + textura gruesa + terreno montañoso 1: escurrimiento de agua	9=vertisol pélico + textura fina+ terreno plano 9: Acumulación de agua
Pendiente de terreno (MDE) (α)	1 (-) inundaciones 1: áreas montañoso 1: α > a 1%	9 (+) inundaciones 9: áreas planas 9: α < a 1%
Precipitación media anual (1984-2014)	1 (-) inundaciones 1: áreas con 440 mm 1= menos vulnerable	9 (+) inundaciones a 9: áreas con 690mm 9= más vulnerable
Litología	1 (-) inundaciones 1: mayor permeabilidad 1= menos vulnerable	9 (-) inundaciones a 9: menor permeabilidad 9= más vulnerable
Uso de suelo y vegetación	1 (-) inundaciones 1=Matorral 1: escurrimiento bajo	9(+) inundaciones 9=zona urbana 9: escurrimiento alto
Nodos de concentración	1 (-) inundaciones 1= Pendiente >1% + orden menor a 2 1= menos vulnerable	9 (+) inundaciones 9= Pendiente <1% + orden mayor a 2 9: Más vulnerable

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (1973), Aguirre *et al.* (2000), Miranda (2007), Xu *et al.* (2011), INEGI (2015), CONAGUA (2018), SGM (2018) y Google (s.f.).

3.2.2 Análisis de condición socio residencial

Así mismo la metodología de Peña (2017) considera los indicadores físico, económico y social mediante aplicación de encuestas. Para conocer la distribución y susceptibilidad de las poblaciones que habitan en la microcuenca, fue necesario calcular datos que reflejaran la situación de mayor carencia social, que presentan la cartografía de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) para zonas urbanas y manzanas urbanizadas, y el censo de población y vivienda, mismo que dispone la plataforma del INEGI (2015). Para lo cual se requirió calcular el índice de población que permitiera analizar la susceptibilidad social bajo la metodología de la CONAPO (2010).

La base de datos del censo, población, vivienda y la cartografía fueron geoprocesadas en el ArcMap para unificar información espacialmente. Una vez la base de datos procesada para rural y urbano, se procedió a determinar 1) los índices y tasa de vivienda; y 2) los niveles de diferenciación social. Para el inciso 1) se analizaron las tasas

de población de dependencia demográfica, tasa de población infantil, tasa de población mayor de 65 años, activa, desocupada, tasa de instrucción insuficiente, sin derecho a servicios de salud, viviendas particulares con piso de tierra, viviendas particulares con dos cuartos, viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica, viviendas particulares no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda, viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje, viviendas particulares que no disponen de computadora, viviendas particulares habitadas que no disponen de teléfono fijo, viviendas particulares que no disponen de lavadora y viviendas particulares que no disponen de refrigerador. En la tabla 6 se desglosan los principales cálculos de las tasas.

Respecto al inciso 2), se realizó la obtención de niveles y una vez analizados los índices y tasas de las viviendas, se procedió a aplicar un análisis estadístico con el programa SPSS para verificar la correlación de las variables estudiadas mediante la consideración de las matrices y la de prueba KMO y Bartlett, las cuales condujeron a la aplicación de Rangos Iguales en el Excel considerando tres niveles para los promedios de las tasas e índices de viviendas por cada AGEB. Esto es, se aplicó la ecuación condicionante SI en Excel, SI ($X_1 < R_1$, “Muy Bajo”, SI ($X_1 < R_2$, “Bajo”, SI ($X_1 < R_3$, “Medio”, SI ($X_1 < R_4$, “Alto”, SI ($X_1 < R_5$, “Muy Alto”)))) (Ec. 11); donde X_1 es la variable de la primera componente de la AGEB ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_{475}$); R_1 es el primer rango correspondiente a “Muy Bajo”; R_2 es el segundo rango correspondiente a “Bajo”; R_3 es el tercer rango correspondiente a “Medio”; R_4 es el cuarto rango correspondiente a “Alto” y R_5 es el quinto rango correspondiente a “Muy Alto”.

Una vez obtenidos los valores de cada AGEB con respectivos niveles de diferenciación social, se procedió a la construcción de preguntas para la aplicación de entrevistas focales con actores claves como lo describe Sánchez (2012). La construcción de las preguntas fue aplicada en la segunda etapa a campo consistió en realizar los trabajos *in situ* para la verificación de los niveles de precariedad de los AGEB y la localización de los actores claves para aplicar el cuestionario.

Tabla 6. Tasas e índices para la diferenciación social.

ID	Variable	Cálculos
1	Tasa de dependencia demográfica.	$((\text{Población de 0 a 14 años} + \text{Población} > \text{a 65}) / \text{Población de 15 a 64 años}) * 100$
2	Tasa de Población infantil.	$(\text{Población de 0 a 14 años} / \text{Población total}) * 100$
3	Tasa de Población mayor a 65 años.	$(\text{Población de 65 años y más} / \text{Población total}) * 100$
4	Tasa de Población activa.	$(\text{Población ocupada} / \text{Población de 15 años y más}) * 100$
5	Tasa de Población desocupada.	$(\text{Población desocupada} / \text{Población económicamente activa}) * 100$
6	Tasa de instrucción insuficiente.	$(\text{Población de 15 a. y más analfabeta} + \text{Población de 15 años y más sin escolaridad}) / (\text{Población de 15 a 64 años}) * 100$
7	Tasa de población sin derechohabencia a servicios de salud	$(\text{Población sin derechohabencia a servicios de salud} / \text{Población total}) * 100$
8	Viviendas particulares con piso de tierra.	$(\text{Viviendas con piso de tierra} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
9	Viviendas particulares con dos cuartos.	$(\text{Viviendas con dos cuartos} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
10	Viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica	$(\text{Viviendas sin luz eléctrica} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
11	Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda.	$(\text{Viviendas sin agua} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
12	Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.	$(\text{Viviendas sin drenaje} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
13	Viviendas particulares habitadas que no disponen de computadora.	$(\text{Viviendas sin computadora} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
14	Viviendas particulares habitadas que no disponen de teléfono fijo.	$(\text{Viviendas sin teléfono fijo} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
15	Viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora.	$(\text{Viviendas sin lavadora} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
16	Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador.	$(\text{Viviendas sin refrigerador} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$

Fuente: CONAPO (2010).

Los datos obtenidos de las dos etapas de campo, de las cuales están integrados datos de parámetros biofísicos y sociales *in situ* permitieron analizar el panorama de la situación del riesgo actual de la microcuenca, con ello se procedió a recabar toda la información en base de datos en Excel como en la plataforma del SIG para que sean analizados para la identificación de zonas de inundaciones con base en las características de las zonas funcionales propias de la microcuenca.

3.2.3 Determinación de riesgo por inundación por zonas funcionales

Ante un evento de inundación respecto a las características biofísicas y socio residenciales, se determinaron los parámetros descritos por Hernández y Vieyra (2010), variables como

nodos de concentración, pendiente, uso de suelo, edafología, litología y datos socio residenciales. Se retoman los parámetros obtenidos de la inundación por zonas funcionales y las consideraciones del riesgo por inundación a nivel cuenca de Shao (2011), así como el análisis de riesgo por inundación aplicable a cuencas de Hernández *et al.* (2017) y Sayer *et al.* (2013).

Una vez realizado el análisis multicriterio de los componentes del riesgo por inundación a nivel microcuenca, ponderando valores de cada factor que integran el riesgo, los resultados obtenidos de la evaluación del índice de vulnerabilidad (A) y los índices de diferenciación socio residencial (B), permitieron asignar valores de ponderación de cada uno de los componentes bajo el concepto de riesgo que va desde 0 a 1. Para los valores asignados de cada indicador se basó en el método multicriterio aplicado por Shao (2011) (Tabla 7).

Tabla 7. Asignación de valores de cada indicador de los componentes del riesgo.

Componente de riesgo	Variable	ZFA	ZF M	ZFB	Asignación de componentes	
		Riesgo por inundación en la Microcuenca (-) ←-----→ (+)				
A	Amenazas	Zonas de inundación (1999-2018)	Frecuencia de eventos 1		Frecuencia de eventos 13	0.25
		Precipitación media mensual (1984-2014)	5 min.		1440 min.	0.06
	Vulnerabilidad	Edafología	Infiltración		Escurrimiento	0.10
		Pendiente	Mayor a 1%		Menor a 1%	0.09
		Litología	Unidades permeables		Unidades impermeables	0.10
		Uso de suelo y vegetación	Mayor vegetación		Mínima o sin vegetación	0.09
Nodos de concentración	Confluencia de primer y segundo orden		Confluencia de tercer y cuarto orden	0.03		
B	Objetos amenazados	Condición socio residencial	Susceptibilidad Bajo		Susceptibilidad Alta	0.28

Fuente: Hernández y Vieyra (2010) y Shao (2011).

La probabilidad de la formación del riesgo (valor =1) es cuando confluyen componentes. Los valores ponderados fueron aplicados en el álgebra de mapas en el ArcMap para obtener el mapa de distribución espacial a nivel microcuenca.

Por lo tanto, se determinaron los niveles de riesgo por inundación en zonas funcionales a partir del mapa *raster*, donde los valores obtenidos variaron entre 0 y 1, los

cuales fueron divididos en cinco niveles de riesgo: Muy bajo 0.82, Bajo 0.89, Medio 0.93, Alto 0.97 y Muy alto 1.0.

Una vez obtenidos los niveles de riesgo y su representación cartográfica, se procedió a realizar la corroboración de datos en campo junto a ello la aplicación de las entrevistas focales hacia los tomadores de decisiones y con ello seleccionar zonas prioritarias de riesgo por inundación que serán base para diseñar las estrategias para su mitigación.

3.3 Determinación de las zonas prioritarias para la mitigación

Las zonas prioritarias dentro de la microcuenca periurbana enmarcan aquellas zonas donde deben ser prioridad de intervenir para disminuir el flujo de agua hacia las partes inundables. Sin embargo, no todas las áreas presentan condiciones para poder establecer diseños estructurales, así como no todas las áreas sin asentamientos son propias para establecer estructuras que cumplan un funcionamiento óptimo en el trayecto del agua. De esto se derivó realizar el cruce de información de las diferentes capas de información dentro de la plataforma del SIG, en función del método de evaluación multicriterio, con el objetivo de relacionar aquellos parámetros clasificados de forma diversa (Hernández y Vieyra, 2010; Yi y Xiao, 2015; Helmi, Brasi, Sufardi y Helmi, 2019), considerando como base las zonas funcionales de la microcuenca y los parámetros biofísicos y sociales, se integraron en una base de datos en Excel y en el SIG en formatos *vector* y *raster*, lo que permitió analizar la distribución espacial de cada característica específica como son las zonas de riesgo por inundación y las afectaciones de los parámetros biofísicos que influyen en la función de una microcuenca referente a los comportamientos del agua superficial y del subsuelo (Walker *et al.*, 2016).

Para priorizar las zonas, se definieron valores bajo la sumatoria de la incidencia de las variables identificadas con ID. La tabla 8 muestra las variables que se utilizaron para ubicación de zonas priorizadas para la mitigación de riesgo por inundación, donde cada ID se le asignó el valor de uno (1), las cuales cuando la sumatoria de las IDs resultaran mayor o igual a tres ($\sum ID \geq 3$), las áreas donde convergieron más de tres IDs, se definieron las zonas prioritarias para mitigar.

Para complementar las características de las zonas prioritarias, se realizaron secciones transversales sobre las capas vectoriales de zonas funcionales, morfométricas, edafológicas, geomorfológicas, localidad urbana y rural en toda la MSRJ con el objeto de ejemplificar la distribución de los elementos expuestos vulnerables de manera integral.

Tabla 8. Asignación de valores para priorizar las zonas de riesgo por inundaciones.

ID	Unidad	Variable	Condición	Parámetro de Inundación	Zona Prioritaria (ZP)	
					$\sum ID \leq 3$	$\sum ID \geq 3$
1	1	*Riesgo por inundación	Social	De medio a alto riesgo por inundación	Zona prioritaria baja sí: $\sum ID \leq 3$ Por Ejemplo: ZP= 1+9+2=3 (Menos unidades acumuladas)	Zona prioritaria alta sí: $\sum ID \geq 3$ Por Ejemplo: ZP= 1+9+2+10=4 (Más unidades acumuladas)
2	1	**Unidad de escurrimiento	Biofísico	Punto de salida de unidad de escurrimiento		
3	1	**Densidad de drenaje	Biofísico	Convergencia de uno o dos cauces		
4	1	**Densidad de población	Social	Ocupación de cauce		
5	1	***Llanura de inundación	Biofísico	Dentro de la llanura		
6	1	***Resistencia infraestructura	Social	Alto riesgo en infraestructura		
7	1	***Unidad hidrográfica	Biofísico	Cauce y/o canal		
8	1	****Sedimentología	Biofísico	Unidad hidrogeomorfológico		
9	1	***Inundaciones históricas	Social	Frecuencia de inundación		
10	1	***Unidades geomorfológicas	Biofísico	Llanura de inundación		

Fuente: Elaboración propia con base en *Hernández y Vieyra (2010), **Shao (2011), ***Yi y Xiao (2015) y **** (DIREN-PACA, 2007).

Una vez seleccionadas las zonas prioritarias para la mitigación de riesgo por inundación, se esquematizaron áreas donde se pudieran establecer las obras estructurales. Se consideraron dos aspectos fundamentales. Primero (1), debido a la distribución de las características socio residenciales como los asentamientos socio residenciales sobre los cauces o los drenes naturales encausados, las estructuras se limitaron a espacios donde puedan establecerse estructuras para mitigación.

Segundo (2) con base en las zonas funcionales con unidades hidrogeológicas (U1, U2 y U3) de la microcuenca, solo se seleccionaron las zonas funcionales con U1 (permeable), así como las Unidades de Gestión Ambiental con política principal de uso urbano. Una vez identificados este segundo paso se proyectaron las construcciones de las

estructuras sobre secciones transversales de los drenes de diferentes órdenes, e integrar un escenario del funcionamiento del agua superficial y subterránea que permita mitigar el riesgo por inundación a través de establecimientos de estructuras sustentables.

3.4 Estrategias estructurales y no estructurales

Para diseñar las estrategias óptimas en la microcuenca periurbana de Santa Rosa Jáuregui, se consideraron las condiciones biofísicas y socio residenciales diagnosticadas, junto con la aplicación de entrevistas focales como etapa de validación, aplicados hacia los tomadores de decisiones de instituciones gubernamentales, con el objetivo de entender las condiciones de los comportamientos de las inundaciones actuales y futuras, así como la protección de los asentamientos socio residenciales y el funcionamiento de la microcuenca, a fin de construirlos bajo los planes de las agendas nacionales. Sin embargo, solo se encaminaron hacia los planes y programas que se desprenden de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), Protección Civil (PC) y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). Las entrevistas tipo semiestructurales hacia actores claves, consistió en la aplicación de preguntas apoyándose en una guía elaborada bajo los antecedentes de toda información que relaciona la problemática para obtener información precisa y complementaria de todas actividades, obras y planes ejecutados (Ryen, 2013). Los tipos de preguntas fueron de tipo de conocimiento y de antecedentes (Meten, 2010). La selección del entrevistado fue hacia las diferentes dependencias gubernamentales y representante de colonias, aquellas personas que estuvieran bajo un cargo institucional relacionadas con las problemáticas de riesgos por inundación en microcuenca.

Las fases de las entrevistas fueron, primero preguntas generales y fáciles, después preguntas complejas, posteriormente preguntas sensibles y delicadas, y finalmente preguntas de cierre con el objeto de obtener información descrita en los antecedentes.

En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo aplicado para el diseño de las estrategias estructurales y no estructurales. Para las construcciones de estrategias se utilizaron los criterios de la ingeniería naturalística, manual de Técnicas de Ingeniería Naturalística (Palmeri, Silván, Calo, Balboni y García, 2002), manejo de cuencas (Pineda,

Domínguez, Hernández y Ventura, 2005), consideraciones del método de causas y efectos (Reid, 1998), así como las características biofísicas y socio residencial de la microcuenca y la sistematización de las entrevistas focales realizadas (Anexo II).

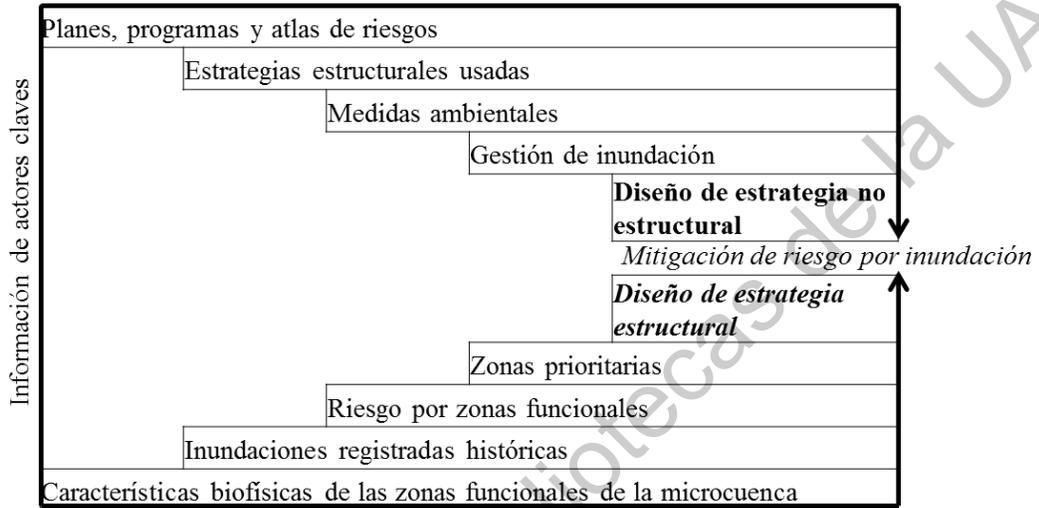


Figura 8. Diagrama para la construcción de las estrategias.

Fuente: Elaboración propia con base en Heathcote (1998), Pineda *et al.* (2005), Sayer *et al.* (2013) y Walker *et al.* (2016).

3.4.1 Estructurales

Para la construcción de las estrategias estructurales, relacionadas con las obras que interfieren con el funcionamiento de la microcuenca, se dividió en áreas de trabajo mediante un análisis de multi-escala de subcuenca, microcuenca y zonas funcionales. Esto permitió ubicar a nivel cartografía, los diseños de las obras estructurales óptimas que abarcan característica técnica funcional, paisajística y accesible, donde los tipos de diseños estructurales cumplieran de minimizar los niveles de inundación, reducción de duración de inundación, minimizar los niveles de riesgo y del impacto ambiental, al mismo tiempo aprovechar la capacidad del sistema natural (zonas permeables e impermeables naturales, geomorfología, uso de suelo y vegetación) (AIPIN, 2003, García, 2007, Walker *et al.*, 2016).

Para lograr el objetivo, fueron analizadas los niveles de información en la plataforma del SIG, como son: las zonas prioritarias, riesgo por zonas funcionales,

inundaciones registradas históricas y las características de las zonas funcionales. Una vez analizadas las capas de información con la información sistemática de las entrevistas focales, se procedió con la elaboración de las construcciones de las estrategias estructurales. En el siguiente diagrama muestra la secuencia aplicada para el tipo de estrategia estructural, debido a las características biofísicas y socioculturales de la microcuenca periurbana donde las obras estructurales están en las cercanías de los asentamientos socio residencial y áreas protegidas donde aún no hay intervención (variante 0) (Lachat, 2001) (Figura 9).

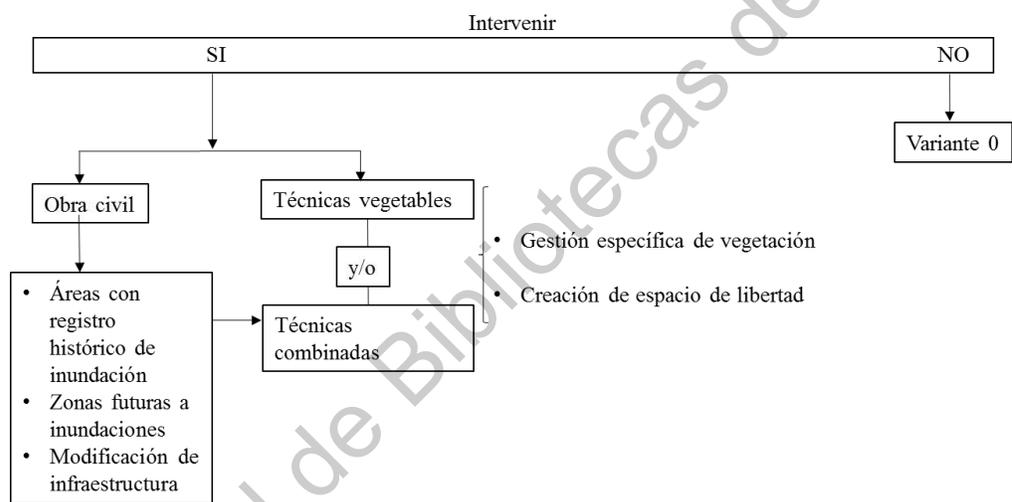


Figura 9. Secuencia para diseñar el tipo de intervención en las estrategias estructurales.
Fuente: Tomado de Lachat (2001).

3.4.2 No Estructurales

El diseño fue basado sobre acciones y medidas establecidas en los estudios de manejo integral de cuenca, las cuales las funciones a nivel cuenca como son las inundaciones y regulación hídrica, formaron parte básica de la elaboración de programas, planes y manejo para herramientas en la mitigación de riesgo por inundación (Heathcote, 1998; Pineda *et al.*, 2005; García, 2007; Sayer *et al.*, 2013 y Walker *et al.*, 2016). Las elaboraciones de las estrategias no estructurales tienen el objeto de modificar la susceptibilidad de las condiciones socio residencial, el control del desarrollo de las áreas inundables futuras, además de mejorar la respuesta ante inundaciones mediante mecanismos de prevención.

Esas estrategias se dividieron entre cinco criterios que diferenciaran los tipos de obras ejercidas y lineamientos aplicados.

1. Fueron enlistados todos los planes, programas y leyes nacionales donde marcaran problemáticas o intervención de las zonas de inundaciones en la microcuenca en estudio.

2. Se identificaron las estrategias estructurales ejecutadas en la microcuenca y en las zonas aledañas como son obras de desviación, almacenamiento y de protección.

3. Se identificaron las medidas ambientales que consideren los objetivos siguientes: Corredor erodable, conservación ecológica y minimización de conflictos futuros con asentamientos socio residenciales, consideración de las llanuras de inundación, función de la microcuenca, retención y regeneración de las zonas riparias y el comportamiento de bordos y represas (García, 2007 y Walker *et al.*, 2016).

Una vez realizados los criterios anteriores, se procedió a la construcción de las estrategias no estructurales con base en el diagrama de la figura 10.

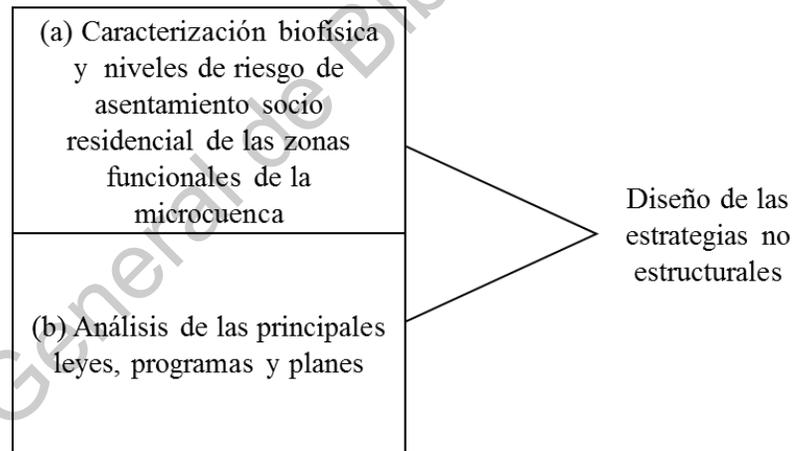


Figura 10. Secuencia para el diseño de las estrategias no estructurales.

Fuente: Elaboración propia con base en García (2007) y Walker *et al.* (2016).

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA SANTA ROSA JÁUREGUI

Dentro de los diferentes planes y programas de nivel global a local, se han visto encaminados hacia propuestas de soluciones de manera integral relacionados con el agua, en este caso soluciones que mitiguen el riesgo por inundación. Lo expuesto en los capítulos uno y dos, mostraron la necesidad de caracterizar y preservar los espacios naturales como los escurrimientos y cauces del ambiente periurbano dado a los servicios ecosistémicos que proveen hacia la ciudad. Para lograr determinar cuáles de los espacios presentaron óptimas condiciones biofísicas y sociales, se volvió indispensable identificar zonas prioritarias, donde cada carácter de espacio forma parte de un sistema complejo vertical y horizontal del trayecto el agua, y a la vez espacios donde presentan inundaciones.

Este apartado describe todas las características de la microcuenca para definir áreas y proyectar las estructuras que mitiguen los efectos de las inundaciones a través de aprovechamientos de las condiciones propias naturales del lugar en estudio. Inicia con los resultados de las condiciones biofísicas de la microcuenca descrito en el apartado 4.1 que permite conocer los límites de interacción del agua superficial, seguido la definición de las zonas funcionales y las inundaciones expuestos en el apartado 4.2 que contribuye a las especificaciones del subsuelo de las zonas de inundaciones, después, la descripción de los resultados del análisis de riesgo por inundaciones se describen en el apartado 4.3 con el objeto de identificar áreas con mayor susceptibilidad a los impactos de las inundaciones, y finalmente los resultados de los tres apartados (4.1, 4.2 y 4.3) fueron fundamentales para la definición de las zonas prioritarias escritos en el apartado 4.4, mismas que permitieron proyectar la ubicación de las estructuras para disminuir el impacto de las inundaciones en la zona periurbanas con mayor susceptibilidad.

4. 1 Condiciones biofísicas de la MSRJ

Las condiciones de la superficie del terreno de la microcuenca están en función de la geología, geomorfología y edafología; las cuales fueron base para determinar los rasgos morfométricos de la microcuenca, sin embargo, dada la ubicación de la microcuenca ubicada en la zona periurbana de la ciudad de Querétaro, también se consideró el uso de suelo y vegetación, donde la zona urbana presentó 18.8% de área sobre la microcuenca. Siguiendo los parámetros biofísicos, la ubicación geográfica del sitio de la cual se encuentra en una zona semidesértica, los componentes climáticos, el balance hídrico y la cantidad de agua, influyen en la microcuenca en temporadas de lluvias.

En los siguientes apartados se describen las características biofísicas y sociales que intervienen para la formación de inundaciones, así como la definición de las zonas funcionales de la microcuenca.

4.1.1 Geología

La geología está definida por una serie de secuencias de depósitos, las cuales se diferencian si están formados en ambientes continentales o marinos, ígneos o sedimentarios (Tarbuck y Lutgens, 2005). La unidad geológica de mayor dominio, son los depósitos continentales tipo lacustre fluvial (MQ) del Mioceno en la zona centro y noroeste de la microcuenca en las áreas urbanas Montenegro y Santa Rosa Jáuregui, compuestos por depósitos de conglomerados, grava no consolidada, arena, limo y arcillas, con columnas de formación de entre 20 a 150 m de espesor (Xu *et al.*, 2011), este depósito abarca un 36 % en área de la microcuenca y las condiciones favorecen la formación de valles y la infiltración del agua al subsuelo.

La porción que le precede es la formación de basalto-andesítico Querétaro (TAB) del Mioceno al Plioceno, se distribuye al suroeste de la MSRJ y constituye un 27 % en área de la microcuenca, constituye una acumulación de flujos de lava que cortan en las colinas y en las pequeñas mesetas, donde el espesor de los depósitos es variado (Xu *et al.*, 2011).

Estas condiciones de depósitos basalto-andesítico presentan bajo grado de fracturamiento y poca porosidad, lo que permite que el agua no se infiltre y escurra hacia las zonas bajas.

Los depósitos volcánicos tipo basálticos del Mioceno superior (TmB) y andesita basalto (TmA-B) afloran al norte y noroeste de la microcuenca y representan el 21%. La formación de estas secuencias son rocas con alteraciones litológicas bajas lo que impide el flujo del agua y escurra hacia otras unidades.

Los depósitos volcánicos de tipo piroclásticos de Ezequiel Montes del Mioceno se encuentran al sureste de la MSRJ, representan una porción del siete por ciento, es una secuencia de depósitos no consolidados de depósitos piroclásticos, rica en pumicita, el espesor de esta unidad es de 20 a 100 m. Las condiciones son favorables para la infiltración de agua, pero también son vulnerables a presentar erodabilidad.

El sistema de fracturamiento y fallamiento está definido por la formación del Graben de Querétaro, limitado por la falla Santa Rosa Jáuregui-Olveras en la porción este con dirección norte-sur, formando también la falla Jurica al sureste de la microcuenca (Aguirre *et al.*, 2000). El sistema de fallas produce otras fallas secundarias que propician el fracturamiento de rocas y con ello la infiltración del agua (Figura 11).

El estado de las estructuras geológicas y fallamiento de las secuencias litológicas también promueve la alteración de las rocas y con ello la erosión. Asimismo, los depósitos aluviales (MQ) al centro y norte de la microcuenca, donde el asentamiento poblacional impide la infiltración del agua al subsuelo, estos asentamientos en la parte sur de la microcuenca donde los depósitos volcánicos tipo basálticos (TmB) se le suma a las características propias de las rocas como una capa impermeable por los asentamientos poblacional provocando que el agua de las precipitaciones sean acumuladas y con ellas las inundaciones.

Aunado a las características del subsuelo, donde los depósitos basálticos y los depósitos aluviales se distribuyen en zonas bajas de la microcuenca, también las inundaciones estarán bajo condiciones de la geomorfología como son las llanuras de inundación.

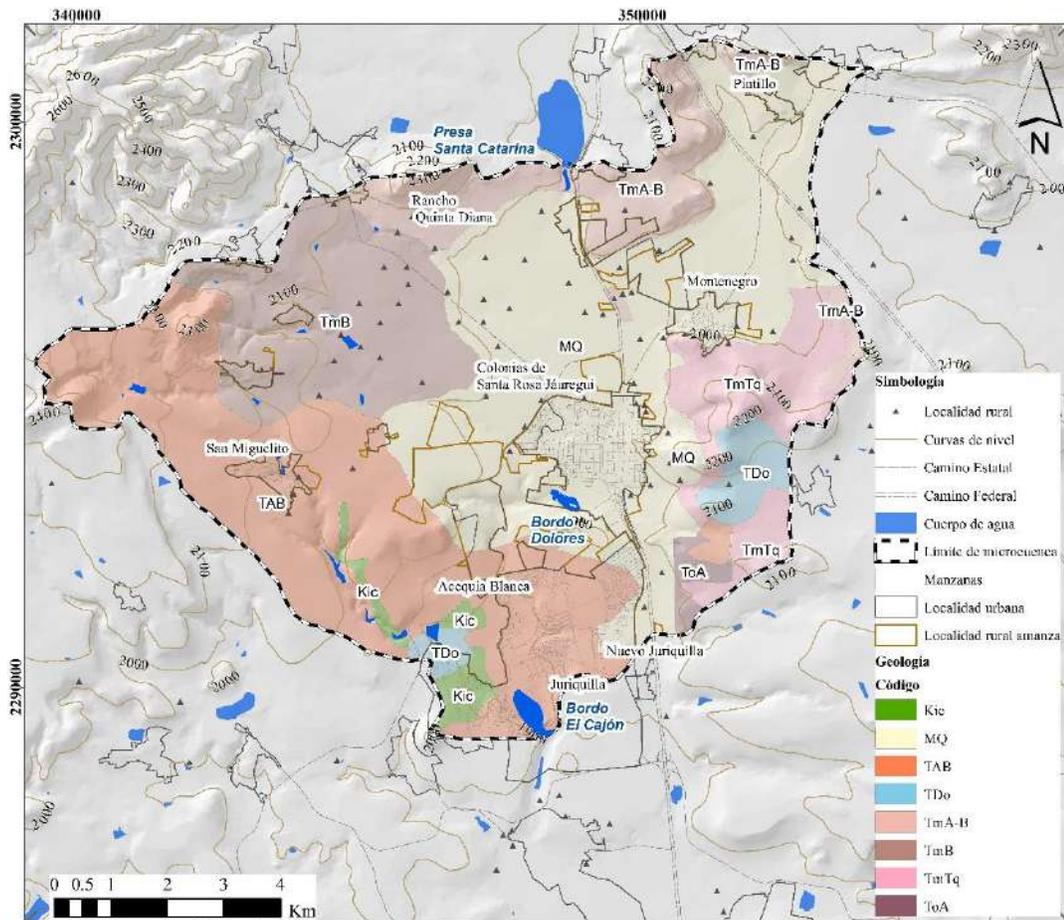


Figura 11. Geología.

Fuente: Elaboración propia con base en Arregui *et al.* (2000), Xu *et al.* (2011) y SGM (2015).

4.1.2 Geomorfología

Uno de los factores para la determinación de las zonas inundables, fue analizar la geomorfología debido a la relación que tiene con el relieve y las pendientes. El área de estudio presentó ocho tipos de unidades geomorfológicas consideradas por Santana *et al.* (2017), que resultaron unidades como: laderas, cañadas, llanuras de inundación, lomerío alto, lomerío medio, lomerío bajo, meseta y planicie. La unidad con mayor distribución es el lomerío medio, presenta una distribución de 30% y se distribuye en los alrededores de la microcuenca donde las pendientes van de tres grados a 5.6°. Presenta pocas disecciones y poca energía de relieve, con formaciones convexas.

Después le sigue la unidad con lomerío bajo con una distribución de 26% al centro noroeste de la microcuenca donde la pendiente tiene inclinación de 1.3° a tres grados de baja energía de relieve y ligeramente aduladas. En esta unidad es donde se asientan la mayor cantidad de localidades rurales como La Granja de Mariana, Quinta Los Corrales, Rancho Escondido, Los Cuates, así como las porciones de las zonas urbanas de Santa Rosa Jáuregui y Juriquilla.

La unidad de lomerío alto, representa un 20%, las pendientes incrementan de seis grados a 15° que forman energía de relieve media y ligeramente onduladas, se distribuyen en la zona centro norte y sur.

La llanura de inundación y planicie formaron un porcentaje del 12% con pendientes bajos entre de cero a dos grados, similares a planos horizontales definidas por el paso de cauces. Las unidades de llanuras de inundación, planicie y la de lomerío bajo, están constituidas por rocas de depósitos lacustre y fluviales. Por la composición litológica, se relaciona que el área ha sido una zona de acumulación de materiales como: conglomerado, grava y arena, por la energía o estancamiento de agua en un determinado periodo, mismas condiciones permiten la acumulación de aguas en temporadas de lluvias. Estas unidades reciben materiales de arrastre de las partes altas de la microcuenca, sin embargo, en estas unidades se sitúan los asentamientos habitacionales que frecuentemente modifican los escenarios naturales de las laderas de los cauces con construcción de infraestructura hidráulica.

La unidad de las mesetas, presentan escasas pendientes, se presentan de forman aislada con un ocho por ciento, son formaciones horizontales de origen geológico o erosivo, en estas unidades presentan asentamientos humanos, como los ranchos: Rancho Toyota, Rancho La Milpa y Rancho La Chata, los asentamientos se observaron estables respecto a las ausencias de inundaciones o acumulaciones de sedimentos.

Las unidades con menor distribución son las laderas y cañadas, representan el cinco por ciento en la microcuenca, se forman en alrededor y centro del área de estudio donde las pendientes fluctúan entre 17° y 50° , normalmente las unidades son estrechas y alargadas con una forma similar cóncava, formadas por procesos de encausamiento proveniente de los cauces de los límites de la microcuenca.

Definir las unidades geomorfológicas permitió relacionar áreas donde se acumula el agua, donde la concentración poblacional se distribuye en las llanuras de inundación y planicies. Dado a las características que presentan evidencias de depósitos de materiales de grava y sedimentos de acumulación, las secuencias de depósitos delatan que las dos unidades geomorfológicas se relacionan al paso y acumulación de agua que promueve inundaciones (Figura 12).

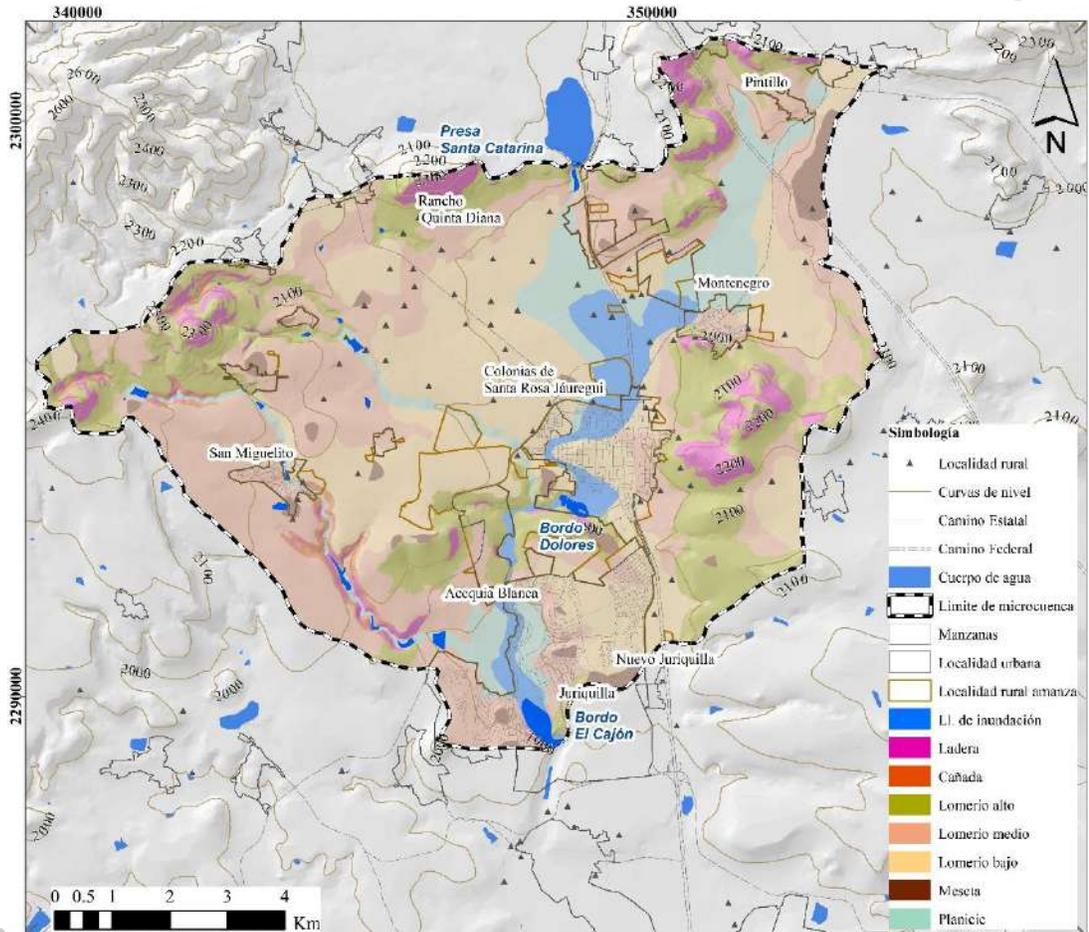


Figura 12. Geomorfología.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2015).

4.1.3 Edafología

Conocer el tipo de suelo de las zonas donde geomorfológicamente se acumula agua, es esencial, debido a la composición y la textura, contribuyen al comportamiento del flujo de agua hacia el escurrimiento o la infiltración. Las características de las unidades de suelo se definieron en cinco componentes según la carta edafológica (INEGI, 1973): suelo predominante, suelo secundario, fases salinas y/o sódicas, clase textural y clase de pendiente.

El suelo tipo vertisol pélico con grava (Vp/3a+Grava), es de mayor distribución con 36% de área, se presenta al oeste de la microcuenca en las localidades como Casa Blanca, San Isidro El viejo, Cerro el Colorado, Juriquilla, Linda Vista, Grand Juriquilla y la porción oeste de la manzana de Santa Rosa Jáuregui. La unidad se define por alta cantidad de arcillas, textura fina, son de ligera a moderadamente alcalina, más mezcla con grava. Dada a la presencia de arcilla, los suelos tienen a contraerse y expandirse. El contenido de grava incrementa ligeramente la conductividad hidráulica hacia el subsuelo.

La unidad de suelo tipo vertisol pélico (Vp/3a) está distribuido en un 18% de la microcuenca, se distribuye al centro-sur y norte, al norte de Juriquilla, centro y norte de Santa Rosa Jáuregui, la zona empresarial de Santa Rosa Jáuregui, al este de Montenegro, así como gran parte de la localidad Pinto al norte de la MSRJ. A diferencia de la unidad anterior, esta unidad no presenta grava, hace que predomine la formación del suelo de arcilla de textura fina. Esta característica hace de los lugares, zonas de acumulación de agua, propiciando la formación de inundaciones en temporadas de crecidas.

La unidad de suelo de tipo Vertisol pélico (Vp/3a+Lítica) abarca un 16% de la microcuenca en las porciones norte y sureste de la microcuenca, donde se sitúan los asentamientos El Parque Industrial La Presa, El Nogal, Integra, la zona este de Santa Rosa Jáuregui y Juriquilla Laxar Conjunto Industrial. La unidad de suelo con textura fina, presenta clastos de líticos donde las propiedades de la arcilla prevalecen, impidiendo la infiltración del agua y con ello la acumulación de agua.

Las características de los suelos están vinculadas con los usos de suelo y vegetación que en ella se desarrolla, favoreciendo los efectos de acumulación o escurrimientos de agua (Figura 13).

Al respecto, Wright (2000) y Opere (2013) mencionan que en algunos casos de lluvias intensas, las capas de arcillas se conducen por escorrentías superficiales, avenidas torrenciales y generan depósitos de lodos en zonas bajas, cualesquiera la razón, forman inundaciones en periodos de tiempo relativamente corto con tiempos prolongados para la salida o desecación del agua. En ese sentido las partes bajas de la MSRJ presenta condiciones similares, pues el vertisol pélico contiene arcillas expansibles, donde los suelos tienden a contraerse y expandirse, a su vez es de baja infiltración, lo que ocasiona que permanezca la inundación por periodos prolongados.

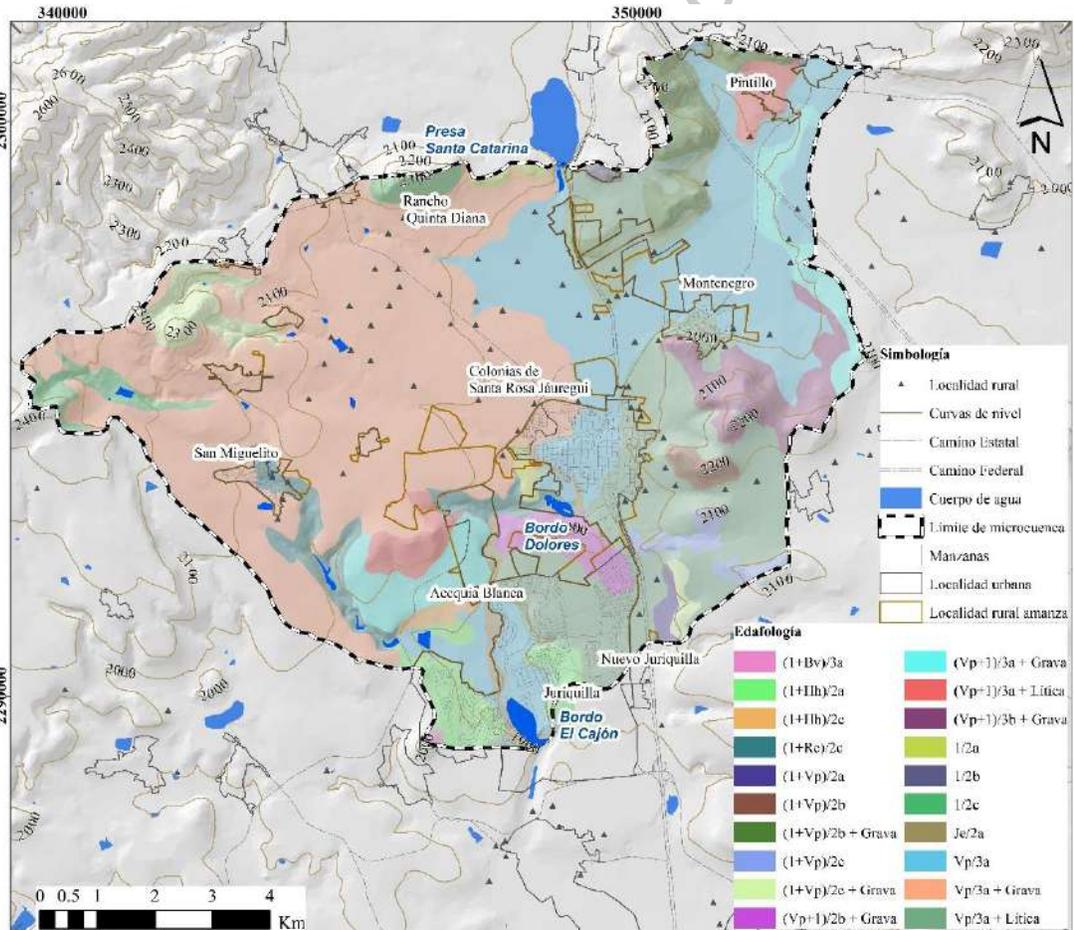


Figura 13. Edafología.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (1973).

4.1.4 Uso de suelo y vegetación

Las unidades uso de suelo y vegetación, tienen la función de retener o dejar el paso de agua hacia las capas del subsuelo, junto con las capas del subsuelo determinan la conectividad hidrológica que relaciona el comportamiento del agua fluvial y el movimiento de los sedimentos. Fueron definidas diez unidades como: agricultura de riego, agricultura temporal, bosque tropical, caducifolio, matorral crasicauale, matorral espinoso, matorral subespinoso, matorral subtropical, pastizal inducido y zonas urbanas. Sobreponiendo los polígonos de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) como la Zona Occidental de Microcuencas y Zona Sujeta a Conservación Ecológica (ZSCE) Peña Colorada y completada con los límites de tierra de uso común (Figura 14).

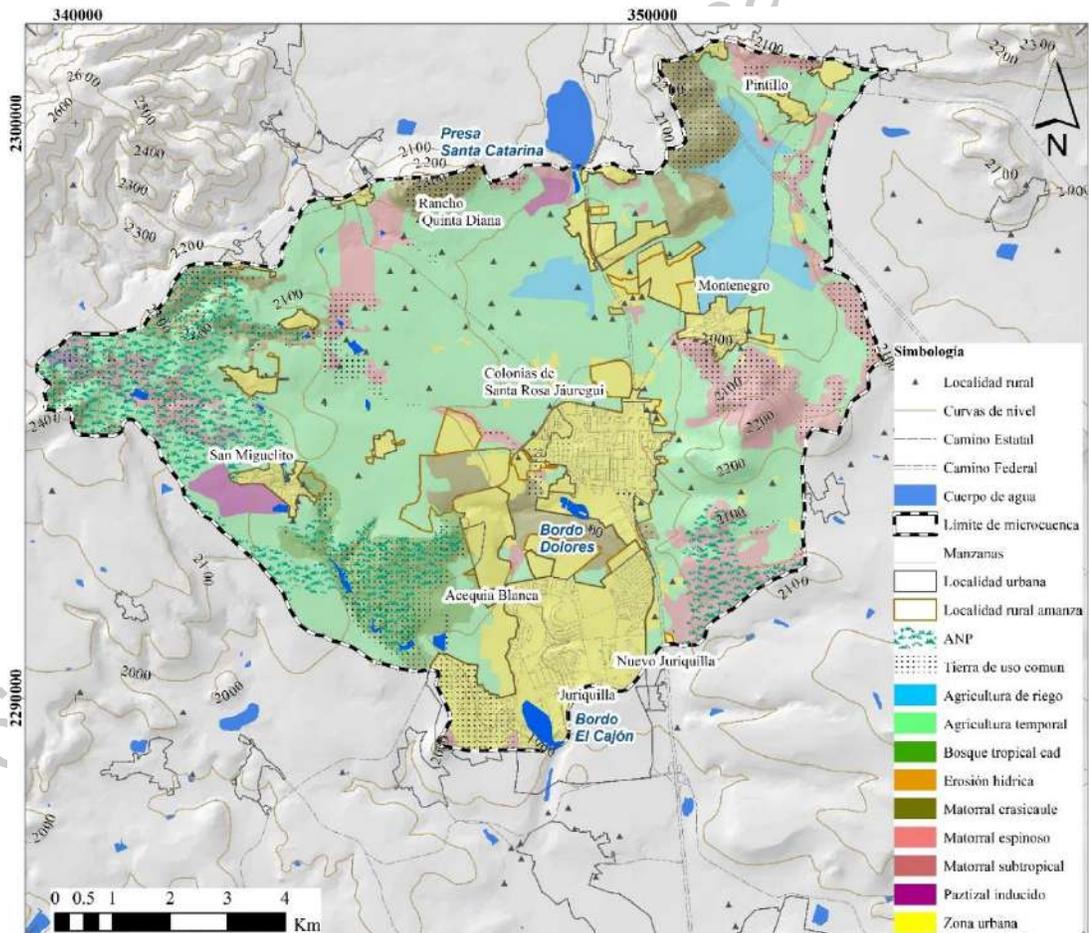


Figura 14. Uso de suelo y vegetación.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Miranda (2007) y Google (s.f).

Los polígonos de tipo zona urbana abarcan el 18% al centro y sur, distribuido en Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui respectivamente. Estos lugares han formado el polo de crecimiento urbano de la ciudad de Querétaro donde el cambio de uso de suelo pierde una configuración de planificación de distribución de asentamiento poblacional, donde cada vez la población se encuentra retirada de la ciudad. Las unidades urbanas regularizadas o no regularizadas, están sobre zonas bajas por ocupación de cauces donde se dirigen las descargas de aguas de la microcuenca modificando los escenarios de matorrales por los establecimientos de polígonos de urbanización.

La unidad matorral tropical presenta el 11% están localizadas hacia el noroeste y sureste en los límites de la microcuenca, desarrolladas sobre suelos de baja porosidad y poco drenaje, poca precipitación y la particularidad es el desarrollo de sus ramas sobre el suelo. La tercera unidad es la unidad de matorral crasicaule que disminuye en la distribución a un siete por ciento, se aprecia al centro, norte y noroeste de la microcuenca, desarrollada en los lomeríos altos.

La figura 15 desglosa los porcentajes del uso de suelo y vegetación. La unidad tipo agricultura temporal es el área que predomina en la microcuenca, muestra un porcentaje del 51% distribuida heterogéneamente, donde las actividades se delatan por desmonte de la cubierta vegetal que alteran la vegetación nativa, y las actividades de labranza de suelo que remueven el suelo *in situ* promoviendo la interrupción del funcionamiento que representa la vegetación nativa y suelo como es la retención de agua y nutrientes de suelo.

Uno de los objetivos de la conservación de los escenarios naturales como las ANP, es el aporte del agua al subsuelo, sin embargo, al relacionar la litología, resulta que bajo la clasificación de acuíferos descrito por Villanueva, Tovar y Vargas (2019), las unidades de mayor captación de agua son los depósitos piroclásticos y los aluviones. En este caso estos depósitos se encuentran hacia el nororiente de la microcuenca, zonas que deben ser preservadas para los servicios ambientales hidrológicos, como es la recarga de agua natural hacia los acuíferos. Esto discrepa en la ANP en el contexto del enfoque de características litológicas para la captación de agua de lluvia hacia el subsuelo.

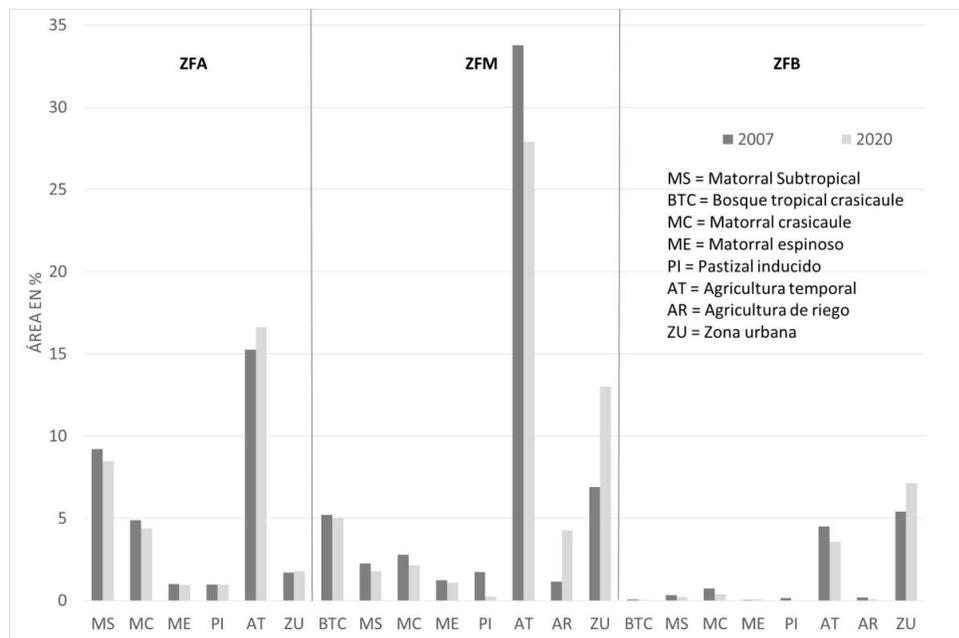


Figura 15. Distribución de porcentajes de uso de suelo y vegetación.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Miranda (2007) y Google (s.f).

Por otra parte, los matorrales también se desarrollan en las planicies de inundaciones descrito por Lee (1980), mismo que refuerza la gestión de conservación de la vegetación nativa sobre los cauces para disminuir las avenidas de flujo hídrico durante precipitaciones máximas a partir de la implementación de conservación de llanuras de inundación y cauces de escurrimiento superficial como medidas de estrategias no estructurales que mitiguen las inundaciones de aguas debajo de la microcuenca.

4.1.5 Rasgos morfométricos de la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui

Se definieron los parámetros morfométricos, mismos que dependieron de los factores como la pendiente, energía del relieve y los niveles altitudinales, la rapidez o disminución de la concentración de las aguas dependen de la integración de cada uno de ellos. Resulto que la MSRJ presenta un área de 100.2 km², con pendientes entre tres a 30° con altitudes entre 1980 a 2450 msnm. En la tabla 9, se resumen las características morfométricas teniendo en cuenta que los parámetros como Índice de Gravelius de 1.39 y Factor forma 0.72, indicaron la relación del perímetro de la microcuenca con la circunferencia de un círculo, cuando más

se acerca a la unidad del índice más se relaciona la figura geométrica. Los valores obtenidos se acercaron a la unidad donde el flujo de crecidas tarda en llegar a la parte del punto de salida del agua de la microcuenca ubicada por el Bordo El Cajón. Sin embargo, la forma de la microcuenca con figura geométrica de un círculo también implica otros factores que determinan el comportamiento del agua sobre las inundaciones.

La influencia del flujo de agua hacia las poblaciones dependerá de la cercanía al cauce principal de Santa Rosa Jáuregui. La distribución de los asentamientos rurales y urbanos se concentra en la parte media y baja del cauce principal. Se observa en la figura 16 que en los primeros 2000 m del cauce, se establecieron poblaciones aisladas como Puerto de Aguirre y algunas localidades como El Refugio. La mayor cantidad de población se asentó en los próximos 1000 m como son las concentraciones poblacionales de Montenegro, Santa Jáuregui y Real Juriquilla.

El mayor asentamiento de la población está en la mayor longitud del cauce donde las condiciones son ligeramente planas y onduladas, indica que el agua fluvial retarda la aceleración del agua hacia la desembocadura de la microcuenca a diferencia de los primeros 2000 m donde los rasgos morfométricos son de ladera y lomerío alto causando incremento en el gradiente caudal.

Tabla 9. Datos morfométricos en las inundaciones.

Parámetro		Tipo	Relación con inundaciones
Índice de Graveluis	1.39	Oval redonda a oval oblonga	Incrementa el flujo de agua
Factor de formas	0.72	Moderadamente achatada	Acumulación de agua
Pendiente de la cuenca (S)	9.25%	Terreno medio accidentado	Está relacionado con el relieve.
Pendiente media del cauce principal (P)	19.88%	Menor rapidez de concentración	La permanencia del flujo incrementa.
Densidad de drenaje (Dd)	1.44 Km./Km ²	Baja densidad de drenaje	El flujo del agua recorre la superficie lentamente. Incrementando el tiempo de concentración y bajando el pico de crecida al haber mayor infiltración
Orden de la cuenca	4° Orden	Según Strahler	Menor grado de desarrollo fluvial
Relación de bifurcación (Rb)	2.01	Intensidad de descarga de agua en la desembocadura.	Baja potencial de aguas de descarga

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2015).

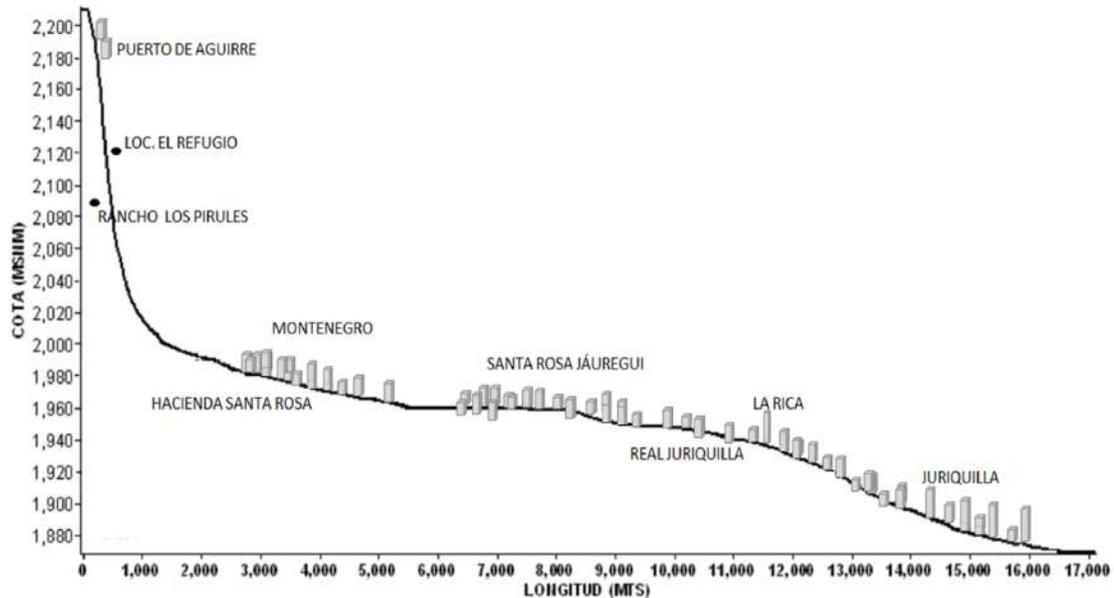


Figura 16. Perfil del cauce principal.
 Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2015).

Gaspari *et al.* (2013) relacionan la forma de la microcuenca, entre más redonda es una cuenca, más retardo existe entre el momento de escurrimiento de agua de precipitación y el momento de crecida en la desembocadura, pero al mismo tiempo, más encausada y súbita es la misma crecida, por lo tanto, incrementa el riesgo por inundación. Esto también se relaciona con la bifurcación (2.0) y el grado de orden (4°), cuanto más redonda es una cuenca, menor será la bifurcación y mayor el riesgo de crecidas en las planicies de inundación. González (2004) menciona a través de las comparaciones entre cuencas alargadas y semicirculares que la densidad de drenaje indica una amplia cobertura vegetal y litología dura, además de altas tasas de infiltración que favorecen el tiempo de concentración y atenúan el caudal de punta.

Por lo tanto, las características morfométricas que presenta la microcuenca, incrementa los efectos y la vigorosidad de las crecidas durante precipitaciones extraordinarias. Determinar los cálculos se vuelve esencial para los diseños de las estrategias estructurales para mitigar el riesgo por inundación.

4.1.6 El clima y las inundaciones registradas en la MSRJ

Para visualizar la acumulación de agua, depósitos de sedimentos finos y las alteraciones de los cauces naturales en las zonas funcionales de la microcuenca, se determinó la cantidad de agua que fluye sobre la superficie con base en los análisis de precipitación y temperatura media anual por medio del procesamiento de datos de las estaciones meteorológicas La Joya (22041) y Juriquilla (22045). El análisis de datos abarcó un periodo de retorno de 30 años (1984 al 2014) representadas en las gráficas de los climogramas, donde los meses de junio, julio y agosto son de mayor precipitación registrados con 100 a 120 mm promedio mensual, con precipitación media anual de 578.5 mm cuantificada en la estación La Joya y con 633.7 mm y en la estación Juriquilla (Figura 17).

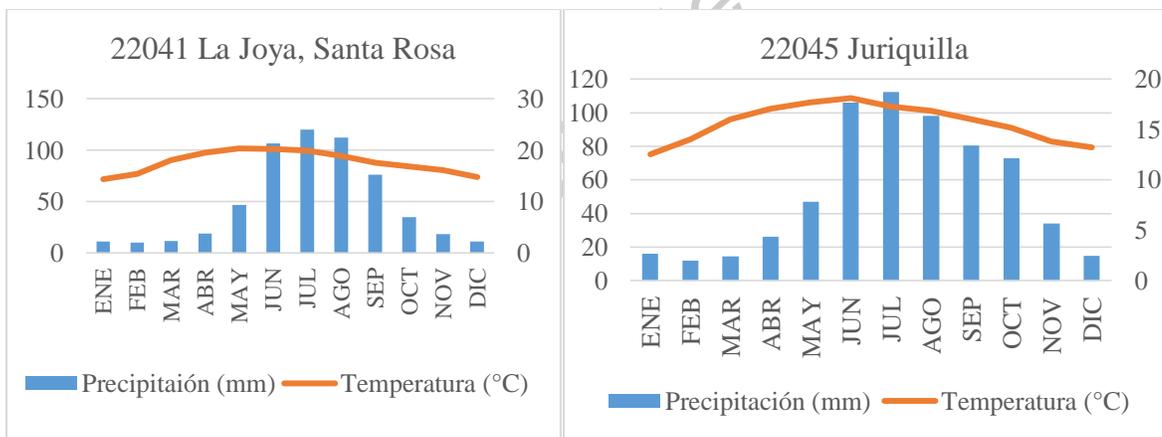


Figura 17. Climogramas.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA (2018).

La base de datos de las estaciones descritas, aunado al manejo de datos de otras estaciones aledañas, permitió hacer los *rasters* de precipitación (P), temperatura (T), evaporación (E), evapotranspiración (ETR), coeficiente de escurrimiento (Q) e infiltración (I). Las zonas de mayor escurrimiento se distribuyen al oeste y este de la MSRJ y las zonas de infiltración se concentran al centro y norte, como se observa en la figura 18. La zona de infiltración al centro y sur de la microcuenca están los asentamientos poblacionales de Santa Rosa Jáuregui y Juriquilla, lo que impide las infiltraciones naturales de agua hacia el subsuelo durante precipitaciones máximas.

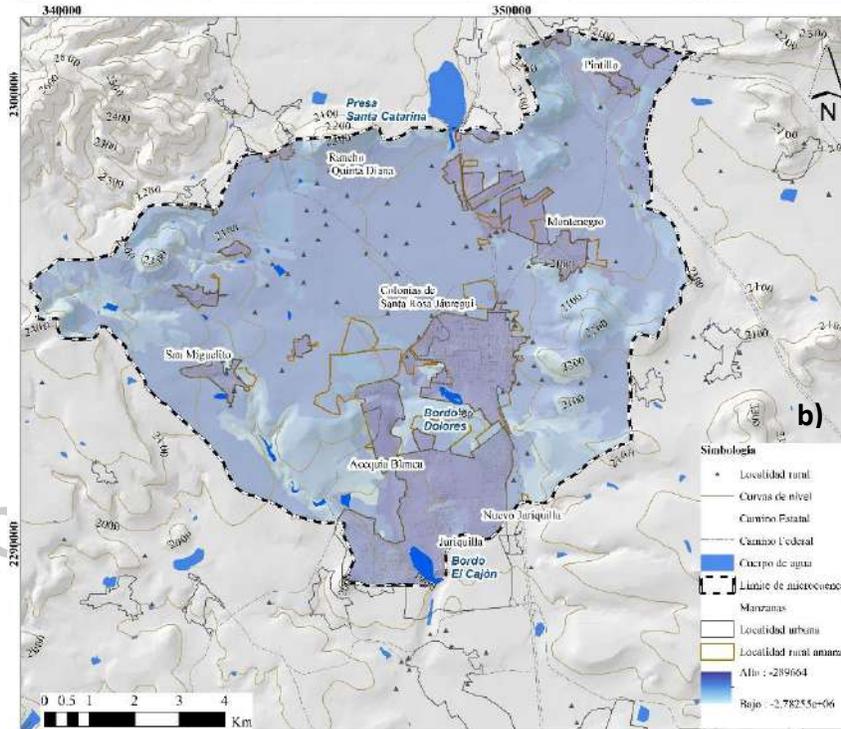
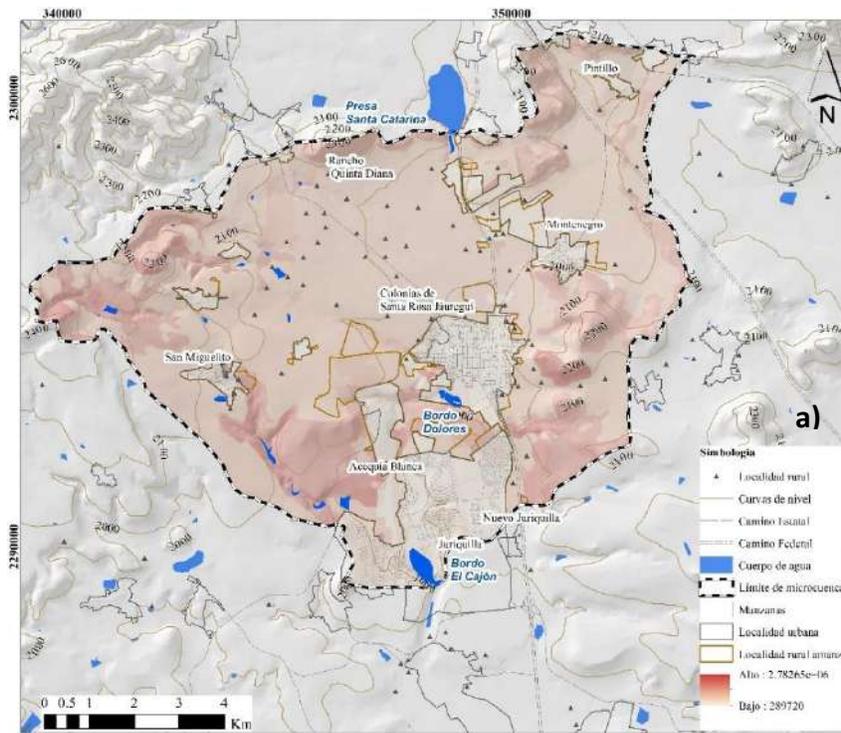


Figura 18. (a) Distribución de escurrimiento y (b) Infiltración.
Fuente: Elaboración propia con base en el INEGI (1973) y la CONAGUA (2018).

Los polígonos de urbanización que se ejercen en la superficie, representa un total de 21 km², lo que impide la infiltración del agua al subsuelo y con ello la acumulación de agua en los meses de mayor precipitación. Álvarez *et al.* (2019) mencionan que la urbanización sin planeación en cuencas, llega a provocar cambios en el régimen hidrológico como la infiltración y escurrimiento del agua de la lluvia, con ello el incremento de las inundaciones. Señala acerca de la importancia del manejo integral de los recursos naturales que favorezca la infiltración del agua de lluvia en las estrategias de prevención y mitigación de inundaciones.

Precipitación, duración y periodo de retorno

Los valores obtenidos de la tabla 13 fueron ocupados para obtener las curvas de precipitación, duración y periodo de retorno de las cuales se consideraron intervalos de duración entre cinco minutos a 24 h y las frecuencias de periodo de retornos de 2, 5, 10, 25 y 50 años. Para obtener los excedentes de precipitación anual a nivel microcuenca se analizaron cada estación meteorológica (22045 y 22041) los cuales se construyeron las curvas para 2, 5, 10, 25 y 50 años.

Se obtuvo la tabla 10 donde se muestran los cálculos auxiliares para procesamientos estadísticos, así como las series de excedentes anuales muestran de manera decreciente y el periodo de retorno T_e (Ec. 4) a base del método de interpolación. El resultado del coeficiente de correlación r_{xy} (Ec. 6) fue de 0.994632937.

Después de los datos obtenidos se aplicó la ecuación de regresión lineal (Ec. 5) donde se obtuvo una lluvia máxima diaria P_{T_e} del periodo de retorno de T_e descritas en la tabla 11.

Con los datos de periodo de retorno, la relación de la lluvia entre una hora y la de 24 h, ambas para el periodo de dos años, Hershfiel (Campos, 1992), considera la fórmula $P_2^{60} = 0.60(P_2^{1440})$ (Ec. 8). Utiliza el cociente del orden de 0.60 para la relación de una hora a 24 h.

Tabla 10. Series de excedentes anuales mediante el criterio de interpolación.

m	y	Te	x			x²	y²
No. de orden	P(mm)	(mm)	logTe	P(log Te) (xi, yi)		(log Te)² (xi)	P² (yi)
1	114.8	30	1.477121	169.5734908	169.6	2.18188645	13179.04
2	95.5	15	1.176091	112.3166905	112.3	1.38319004	9120.25
3	87.6	10	1	87.6	87.6	1	7673.76
4	85.2	7.5	0.875061	74.5551972	74.6	0.76573175	7259.04
5	80.2	6	0.778151	62.4077102	62.4	0.60551898	6432.04
6	80	5	0.69897	55.9176	55.9	0.48855906	6400
7	77	4.3	0.633468	48.777036	48.8	0.40128171	5929
8	76.2	3.7	0.568201	43.2969162	43.3	0.32285238	5806.44
9	74.21	3.3	0.518513	38.47884973	38.5	0.26885573	5507.1241
10	72.52	3	0.477121	34.60081492	34.6	0.22764445	5259.1504
11	70.6	2.7	0.431363	30.4542278	30.5	0.18607404	4984.36
12	70.5	2.5	0.39794	28.05477	28.1	0.15835624	4970.25
13	69	2.3	0.361727	24.959163	25	0.13084642	4761
14	69	2.1	0.322219	22.233111	22.2	0.10382508	4761
15	66.5	2	0.301029	20.0184285	20	0.09061846	4422.25
16	65.52	1.9	0.278753	18.26389656	18.3	0.07770324	4292.8704
17	64.5	1.8	0.255272	16.465044	16.5	0.06516379	4160.25
18	60	1.6	0.204119	12.24714	12.2	0.04166457	3600
19	59.5	1.6	0.204119	12.1450805	12.1	0.04166457	3540.25
20	59	1.5	0.176091	10.389369	10.4	0.03100804	3481
21	58.8	1.4	0.146128	8.5923264	8.6	0.02135339	3457.44
22	58.3	1.4	0.146128	8.5192624	8.5	0.02135339	3398.89
23	57	1.3	0.113943	6.494751	6.5	0.01298301	3249
24	57	1.2	0.079181	4.513317	4.5	0.00626963	3249
25	56.52	1.2	0.079181	4.47531012	4.5	0.00626963	3194.5104
26	56.5	1.1	0.041392	2.338648	2.3	0.0017133	3192.25
27	56.5	1.1	0.041392	2.338648	2.3	0.0017133	3192.25
28	55	1.1	0.041392	2.27656	2.3	0.0017133	3025
29	54.6	1	0	0	0	0	2981.16
30	54.6	1	0	0	0	0	2981.16
Sumatoria	2062.17	119.6	11.824066	962.3033588	962.4	8.64581394	147459.735
Media	68.739		0.39413553				

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CONAGUA (2018).

Tabla 11. Valores de periodo de retorno corregidos.

Periodo de retorno	Valores corregidos con la constante de observación 1.13
P_2	61.78 mm
P_5	97.24 mm
P_{10}	124.07 mm
P_{25}	159.53 mm
P_{50}	186.35 mm

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CONAGUA (2018).

Para obtener la curva de precipitación, duración y periodo de retorno, se consideraron el valor de las lluvias anuales máximas (54.67 mm) para obtener el valor de la curva de la precipitación, duración y periodo de retorno mediante la comparación de la

gráfica denominada curva de Intensidad-Duración-Frecuencia IDF, con un valor de 35 la cual se obtiene una media aritmética entre el cociente de Hershfiel 37.068 y el valor de la curva IDF 35 dando la cantidad de 36.034. Junto a estos valores, se aplicó la fórmula de Bell (1969) para obtener la cantidad de lluvia que se definió con las Curvas de Precipitación, Duración y Periodo de retorno aplicado para cada estación que tiene influencia en la microcuenca (Tabla 12 y Figura 19).

Tabla 12. Precipitación en tiempo y periodo de retorno.

T (minutos)	T(periodo en retorno en años)					Intensidad en mm
	2	5	10	25	50	
5	11.1088598	14.6622464	17.3502797	20.9036663	23.5916995	
10	16.6285481	21.9475153	25.9711587	31.2901259	35.3137692	
20	23.1926007	30.6112089	36.2231693	43.6417775	49.2537379	
40	30.9986188	40.9141349	48.4149333	58.3304494	65.8312478	
60	36.2326994	47.8224389	56.5897383	68.1794778	76.9467773	
100	43.6289439	57.5845172	68.1415009	82.0970742	92.6540579	
120	46.5059969	61.3818521	72.6350021	87.5108573	98.7640073	
1440	102.114195	134.777423	159.486201	192.149429	216.858207	

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CONAGUA, 2018.

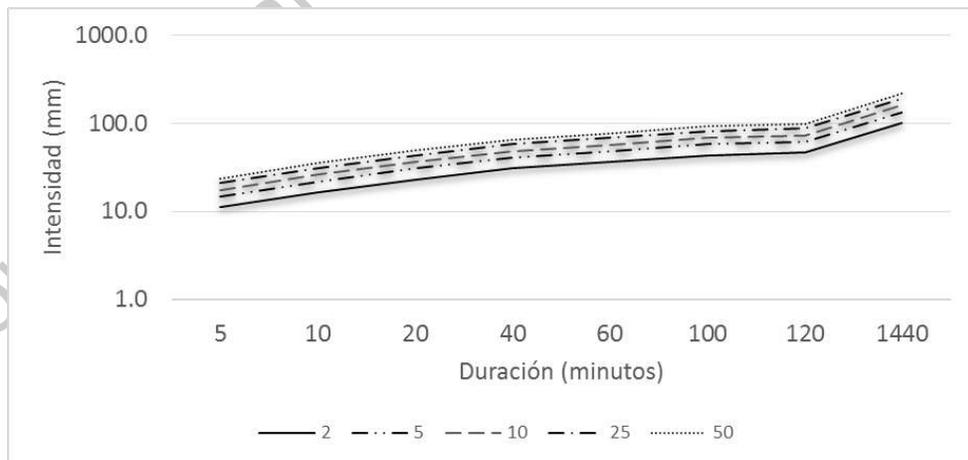


Figura 19. Curva de precipitación, duración y periodo de retorno de la estación Juriquilla.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CONAGUA, 2018.

Los resultantes de la curva intensidad de lluvia, duración y periodos de retorno, mostraron que la intensidad de precipitación incrementa ligeramente en los periodos en los tiempos de retorno de dos a 50 años. Para los primeros cinco minutos entre el periodo de 50 años, el incremento es de tres milímetros en cada periodo, mientras que la intensidad de los cinco minutos dentro de un tiempo de 24 h, la variación fue aproximadamente de 10 mm dentro del periodo analizado.

Cantidad de agua en el trayecto de la microcuenca

Para conocer la cantidad de agua en el trayecto y la interacción con la superficie, se obtuvieron 10 unidades de escurrimientos donde todas las unidades presentaron áreas con zonas urbanas. Por lo tanto, los valores del gasto máximo (Q) y el tiempo de concertación (T_c) para cada unidad están condicionados por cada tipo y uso de suelo. Se realizó el cálculo del gasto máximo con el valor obtenido de la precipitación, duración y periodo a 47.82 mm en 60 minutos en un periodo de cinco años.

Los resultados mostraron un gasto máximo en la unidad uno con $62.75 \text{ m}^3/\text{h}$ y el T_c de 2.14 h, presentó un promedio del 70% de agricultura temporal y cinco por ciento de zona urbana, comparada con la unidad 10 con una similitud en área. Presentó un gasto de $62.30 \text{ m}^3/\text{h}$ y el T_c de 3.87 h, abarca 30% de agricultura temporal y 57% de zona urbana. La diferencia del T_c está marcada por el tipo de unidad de escurrimiento, la unidad uno es oval y la unidad 10 es tipo alargada (mayor longitud de cauce principal). Sin embargo, presentaron una similitud de caudal máximo debido al tipo y usos de suelo, para la unidad uno donde el 70% es agricultura temporal donde presenta un suelo arcilloso, mientras que en la unidad 10 el 29% de agricultura temporal es arcilla y el 20% de la zona urbana el suelo es limo. Este último (20% de zona urbana, limo) permite que el agua llegue a infiltrar al subsuelo, por lo tanto, para ambas unidades difieren por el tipo de suelo (Tabla 13 y Figura 20).

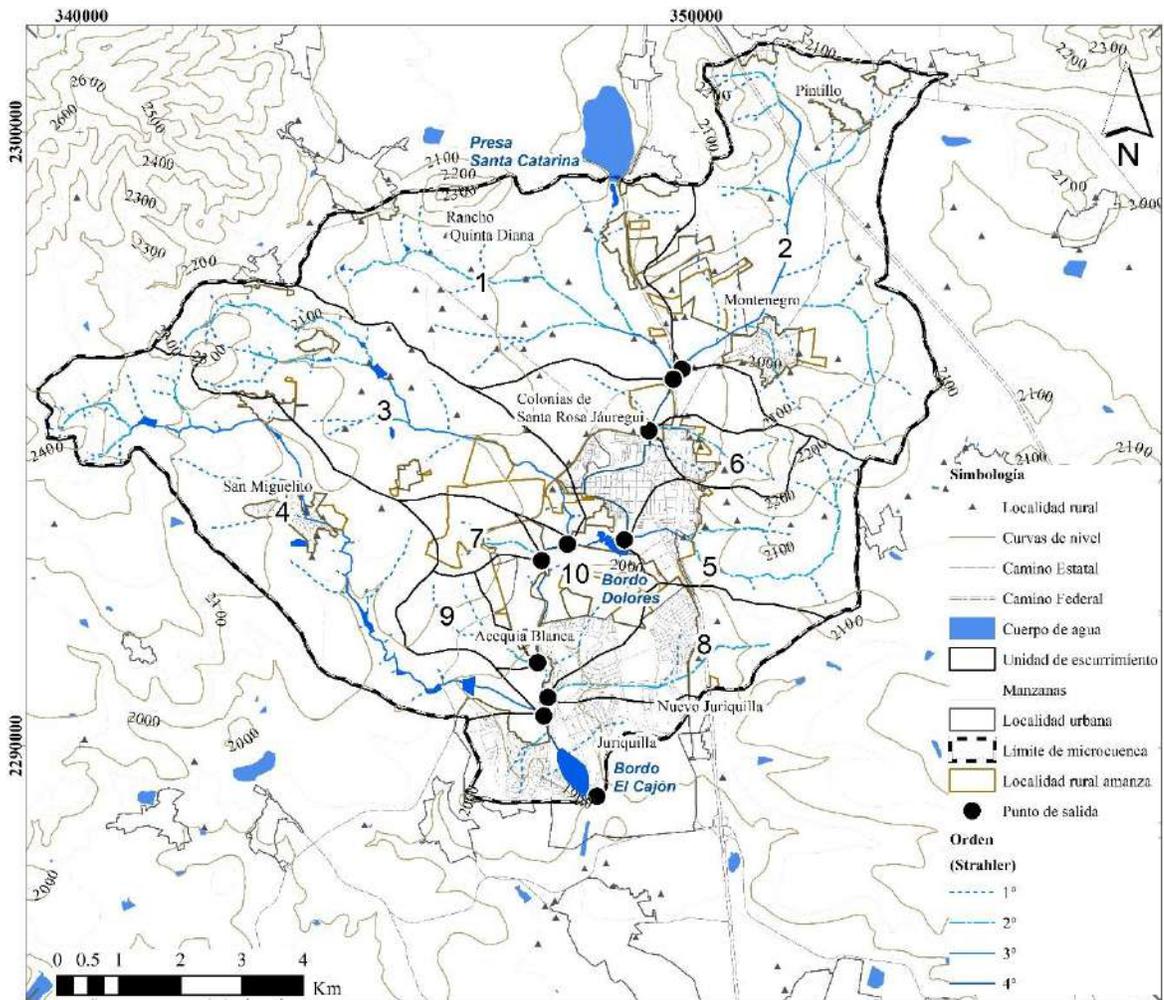


Figura 20. División de la microcuenca en unidades de escurrimientos.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2015).

Tabla 13. Q y Tc de cada unidad de escurrimiento.

Unidad de escurrimiento	Área (Km ²)	Q (m ³ /h)	Tc (h)
1	15.985528	62.75172479	2.146413665
2	20.679155	79.67055046	2.267950812
3	12.844939	49.86208836	1.865624093
4	17.310093	64.40881359	2.521404848
5	7.140691	27.12313217	1.584886094
6	2.153165	8.454909771	0.756611403
7	1.75825	6.777853852	0.53056626
8	4.835132	18.35674345	1.315640945
9	2.045433	7.134067637	0.783612994
10	15.627684	62.30052513	3.874533333
10	100.38007	386.8404092	17.64724445

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (1973) y Aparicio (2005).

Gallardo (2005) y Silvestre (2011), mencionan que la zona norte de la ciudad de Querétaro, es una zona con propiedades del subsuelo que funciona como área de recarga natural del agua superficial hacia el acuífero del Valle de Querétaro.

El tiempo de concentración que presentó la unidad 10, puede ser relacionado por las características del subsuelo, donde tarda hasta tres horas de concentración en lluvias de 60 min. Forman (2018) hace mención de las afectaciones de las superficies urbanas construidas sobre áreas de recarga, lugares que son aptos para las infiltraciones hacia los acuíferos, se vuelven problemáticos con la formación de inundaciones. En el caso de la unidad de escurrimiento las Campanas en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, en un periodo de retorno de dos años aumentó en un pico de 8.9 a 14.2 m³/s incrementó de superficie de 51.6 a 74.3 ha, indica una urbanización desordenada y con ello viviendas susceptibles a inundaciones (Álvarez *et al.*, 2019).

4. 2 Las zonas funcionales de la microcuenca y las inundaciones

Analizar los parámetros de la microcuenca permitió visualizar la incidencia que tienen las alteraciones de los asentamientos periurbanos en cada rasgo biofísico, como son el flujo de agua en la infiltración y las desviaciones de cauces naturales. Estas alteraciones afectaron a la misma población como Santa Rosa Jáuregui, Juriquilla y sus alrededores, donde presentaron acumulación de agua, desbordamientos de cauces y bordos. Los antecedentes expuestos en los programas como el Plan Maestro Pluvial (PMPV), Atlas de riesgo de la zona conurbana del municipio de Querétaro, así como los registros hemerográficos del periodo de año de 1999 a 2018, mostraron una serie de datos puntuales por inundaciones que fueron verificados en campo.

Las zonas con recurrencia inundable fueron presentadas hacia las zonas bajas de la microcuenca, sin embargo, los resultados mostraron que no solo las afectaciones se presentaron en las zonas bajas de la microcuenca, sino también a través del tiempo en el crecimiento de la expansión de las áreas urbanas como los alrededores de Santa Rosa Jáuregui, Montenegro y Juriquilla, absorbieron la zona media de la microcuenca por medio de la ocupación de los drenes de primer y segundo orden. Mismas acciones están

conectadas con los espacios de uso de suelo de tipo privado en algunos casos con uso de suelo de terreno de uso común.

Por lo tanto, es vital el análisis de las características biofísicas de una microcuenca donde involucra la permeabilidad con el fin de conocer cuáles son las áreas a preservar con estrategias estructurales y no estructurales, para disminuir el flujo de las avenidas de agua en los impactos por inundaciones en las partes bajas de la unidad de la microcuenca.

4.2.1 La permeabilidad de las zonas funcionales

Las zonas funcionales están integradas por tres niveles altitudinales, condiciones litológicas y unidades hidrológicas del subsuelo. La zona funcional alta (ZFA) como zona de captación, presenta unidades hidrogeológicas U1 (permeabilidad alta), U2 (permeabilidad alta a media) y U3 (permeabilidad de media a baja); la zona funcional media (ZFM) constituida por las unidades U1, U2 y U3, y la zona funcional baja (ZFB) solo abarca las unidades hidrogeológicas U1 y U3. Con base en las características de las funciones de una microcuenca, la ZFB es de descarga o de depósito, sin embargo, el comportamiento litológico y las condiciones de conductividad hidráulica en cada zona funcional dependerán de las unidades hidrogeológicas (Figura 21 y Tabla 14).

Por lo tanto, la ZFB o de descarga presentan unidades U1, U2 y U3 (Tabla 14), Cotler (2007) y Valdés y Hernández (2018), consideran que la función de una microcuenca en la zona baja es un área receptora donde presentan planicies aluviales y llanuras de inundación, donde los asentamientos poblacionales presentan riesgo por inundación. Basada en las unidades hidrogeológicas, la ZFB con U1 puede también funcionar como captación debido a los depósitos lacustres fluviales (MQ) y depósitos piroclásticos (TmTq) lo que permitiría el agua hacia los niveles freáticos en función de los tipos de suelo, el uso de suelo y vegetación.

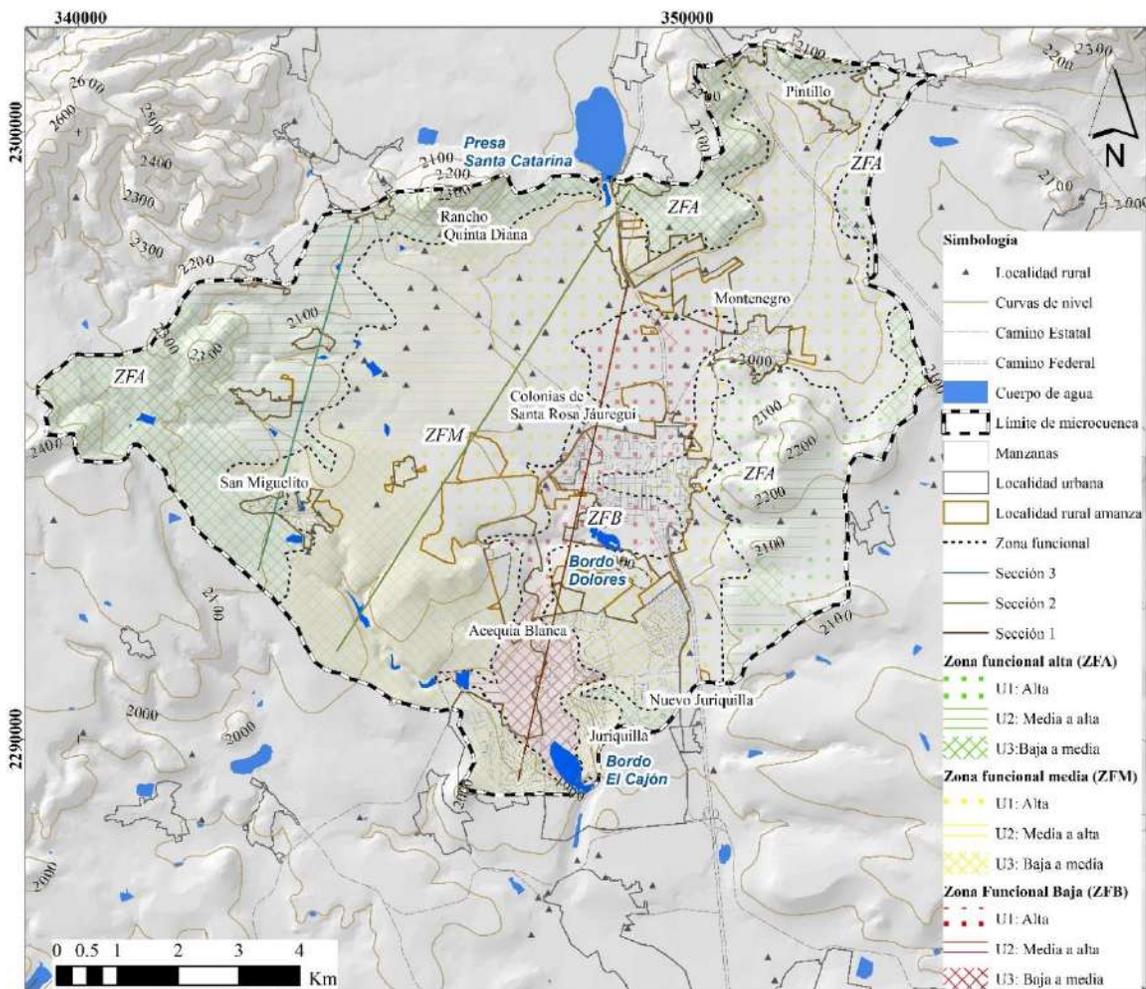


Figura 21. Zonas funcionales con unidades hidrogeológicas.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011), SGM (2015) e INEGI (2015).

Tabla 14. Parámetros del subsuelo de las zonas funcionales.

Litología	Código	Área Km ²	Unidad hidrogeológica	Zona funcional
Piroclásticos Ezequiel Montes	TmTq	7.2	U1: permeabilidad alta	ZFA, ZFM
Deposito lacustre y fluvial	MQ	37.5		ZFB, ZFA, ZFM
Andesita El Cedro	ToA	0.8	U2: permeabilidad alta a media	ZFA
Basalto	TmB	13.2		ZFA, ZFM
Obrajuelo-Dacita	TDo	2.6		ZFA
Caliza y Lutita	Kic	1.7	U3: permeabilidad de media a baja	ZFA, ZFM
Andesita, Basalto	TmA-B	8.8		ZFA
Basalto Querétaro	TAB	27.9		ZFB, ZFA, ZFM

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011) y SGM (2015).

4.2.2 Las inundaciones en las zonas funcionales

En relación a los 29 puntos de control verificados en campo (Anexo III), la base de datos hemerográficos (1999 a 2018) y estudios previos, las inundaciones se distribuyen en la parte media y baja de la MSRJ. Se registró un vacío de información de cinco años, por la cual, en el periodo presentaron un total de 69 eventos de inundaciones: ZFA con dos eventos, ZFM con 15 eventos y ZFB con 52 eventos, además estos registros, coincidieron con los episodios de lluvia más altos (Figura 22).

En la parte baja donde se establece la población Juriquilla se verificaron en campo 21 puntos, se corroboró que las zonas de inundaciones se ubicaron en una llanura de inundación y las condiciones litológicas presentan permeabilidad baja a permeabilidad media.

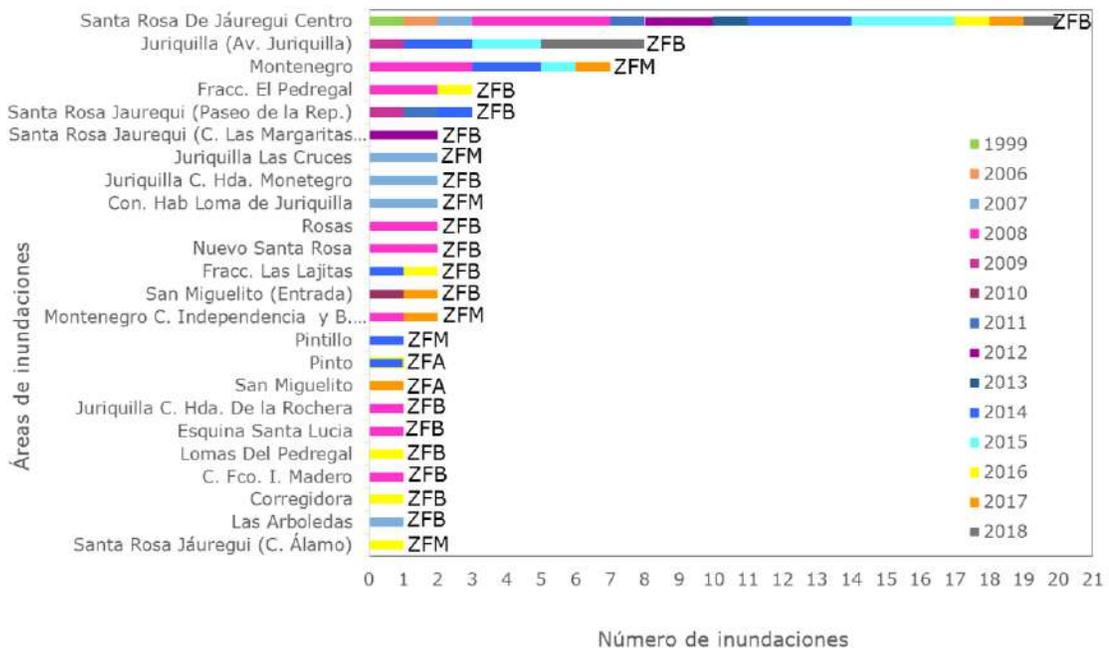


Figura 22. Zonas de inundación por zonas funcionales.

Fuente: Elaboración propia con base en datos hemerográficos (1999-2018) y con datos de antecedentes institucionales.

Para simplificar el comportamiento de las zonas de inundaciones por zonas funcionales, se realizaron secciones transversales ligeramente de noreste (NE) – suroeste

(SW) sobre capas (*layers*) de edafología, geomorfología, zonas funcionales y polígonos de inundaciones verificados.

Sección 1. En la zona funcional alta, se muestran lomeríos tipo medio y alto, drenes de primer y segundo orden. Las unidades de las zonas funcionales son de tipo U3 donde la permeabilidad es de media a baja, mientras que la U2 es de tipo media a alta. En esta sección no se presentaron inundaciones.

Sección 2. Realizada sobre los límites de la zona funcional media, donde se forman drenes de primer a tercer orden, las características predominantes son los lomeríos medios y bajo, así también llanura de inundación. Esta última, forma aguas debajo de la presa Santa Catarina donde los drenes son tipo de segundo orden. Las unidades de las zonas funcionales son las U1, U2 y U3. Las inundaciones se localizaron sobre las llanuras de inundaciones y en las zonas de lomeríos medio en San Miguelito, donde las inundaciones fueron por asentamientos en las cercanías de los drenes.

Sección 3. Abarca las extensiones de lomeríos bajo y llanuras de inundación, ambos en la zona funcional de unidad tipo U1 y U3, donde se forman los drenes y cauces de cuarto y tercer orden. Para el caso de la llanura de inundación (LII2) donde se asienta la población de Santa Rosa Jáuregui, situados en las cercanías de las zonas de inundaciones sobre subsuelo de depósitos aluviales caracterizados por una permeabilidad media a alta, mientras que la llanura de inundación (LII1) cerca de la zona baja o punto de salida del agua de toda la microcuenca, la formación del subsuelo es por los depósitos de basaltos clasificados como permeabilidad media a baja (Figura 23).

Con base en la clasificación de los ríos principales según Rosgen (1994), se comprueba que sobre el trayecto de las llanuras de inundación se pueden definir el comportamiento de los ríos que presentaron problemáticas de inundaciones con base en los tipos de drenes (grado de dren), presencia de vegetación, material que constituye el dren y la amplitud del radio del dren, como se ilustra en la LII (1) y LII (2) de la figura 23, donde las características se define que son zonas con frecuentes inundaciones.

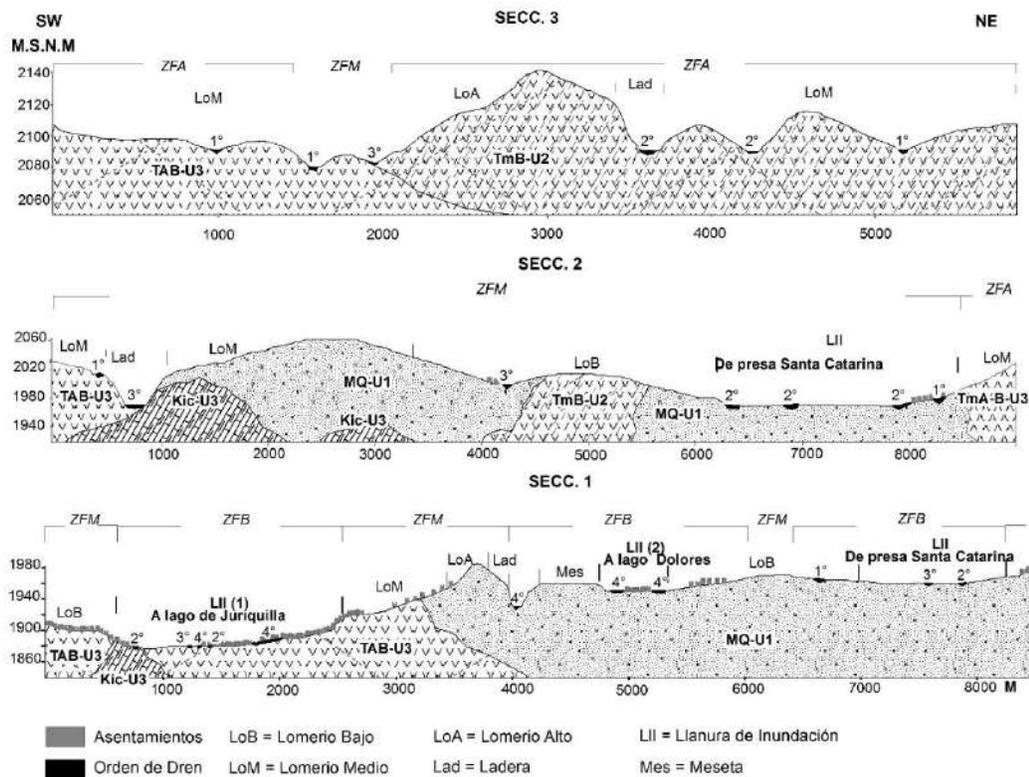


Figura 23. Zonas de inundación por zonas funcionales.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (1973), Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011) y SGM (2015).

Opere (2013) menciona que, en algunos casos de lluvias intensas, las capas de arcillas se conducen por escorrentías superficiales o generan depósitos, cualesquiera la razón, forman inundaciones en periodo de tiempo relativamente corto, pero con tiempos prolongados para la salida o desecación del agua. En ese sentido, la zona media presenta condiciones similares, pues el vertisol pélico contiene arcillas expandibles de baja infiltración que ocasiona inundaciones en periodos prolongados, mientras que en la zona media puede influir en escorrentías torrenciales de rápida respuesta.

4.3 El riesgo por inundaciones en la microcuenca

Desde el manejo de gestión de riesgo por inundación donde involucra la unidad de microcuenca para su análisis, se visualiza una demanda de acciones estratégicas estructurales y no estructurales de manera preventiva, donde la inclusión de las estrategias

en la planeación territorial se vuelve necesaria para la conservación y recuperación de humedales y cauces de diferente orden que disminuyan los impactos de las inundaciones. Para poder incluir un espacio periurbano con diferentes límites e incluso en tiempos, donde las zonas vulnerables, susceptibilidad y riesgo son manifestados con base en su ubicación en la microcuenca.

Este enfoque abordó una integración de caracteres biofísicos de la propia microcuenca que definieron áreas con mayor vulnerabilidad a la formación de inundaciones de las cuales las zonas como las llanuras de inundación presentaron una mayor frecuencia de registros de eventos. Lugares con asentamientos socio residencial donde la población susceptible está caracterizada por ocupar áreas circundantes de las zonas riverañas de los drenes. A continuación, se describen las zonas vulnerables, la susceptibilidad socio residencial y la distribución del riesgo dentro de la microcuenca.

4.3.1 Zonas vulnerables

Los polígonos de inundaciones con asentamientos poblacional en las llanuras de inundación (Figura 24) presentan las secciones transversales de los drenes de cuarto orden en la ZFB (Secc. LII 1 y Secc. LII 2) clasificadas bajo las condiciones de las rocas, suelo, sinuosidad, amplitud, profundidad, vegetación y forma de atrincherado, se clasificaron como ríos con alta sensibilidad a las perturbaciones, buena potencia de recuperación, alto suministro de sedimentos, muy alto potencial de erosión en el cauce y muy alta influencia de control de vegetación (según la clasificación de ríos de Rosgen, 1994).

Además del tipo de cauce, los asentamientos están sobre áreas propensas a inundaciones donde la composición de suelo (vertisol pélico), roca (basaltos vesiculares) (Secc LII 1), así como la alteración de la vegetación, permiten la formación de acumulación del agua durante máximas precipitaciones, las cuales los asentamientos vulnerables son expuestos. La figura 25, muestra que la mayoría de las áreas susceptibles a inundaciones están ocupadas por asentamientos donde el nivel de susceptibilidad a la afectación definirá el tipo de riesgo y con ello áreas de atención prioritarias.

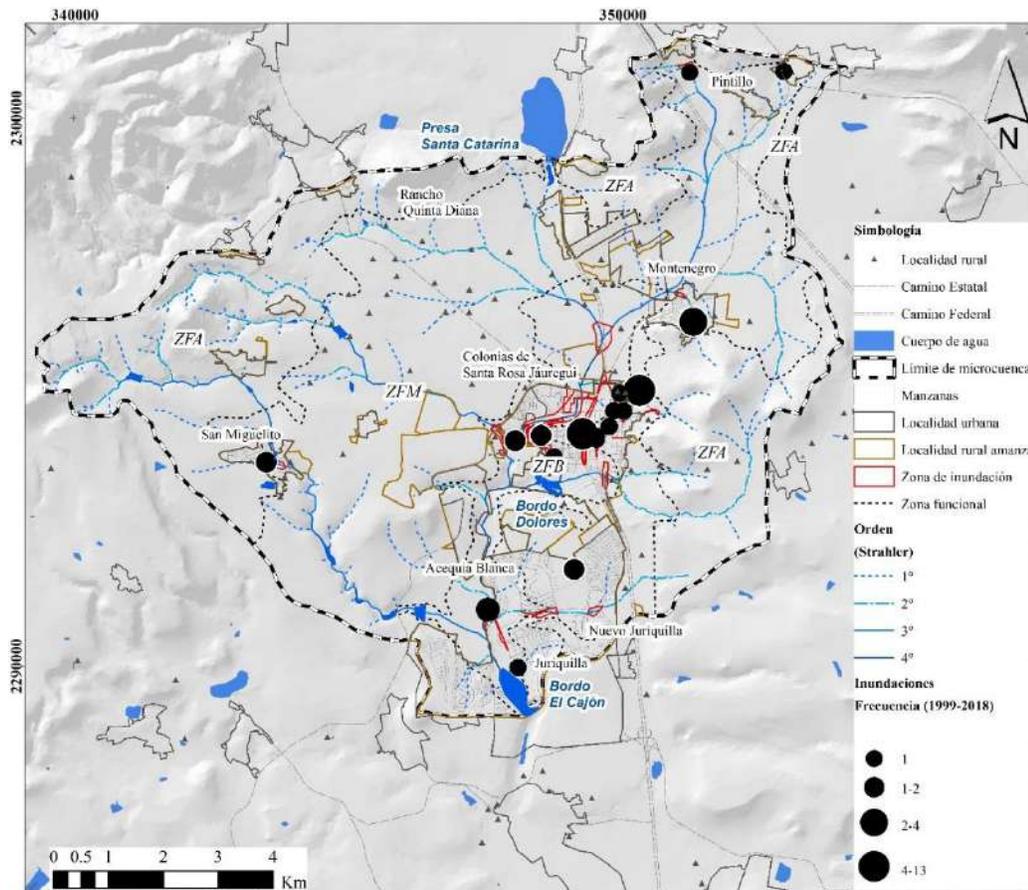


Figura 24. Áreas de incidencia de las inundaciones.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2015), datos hemerográficos (1999-2018) y con datos de antecedentes institucionales.

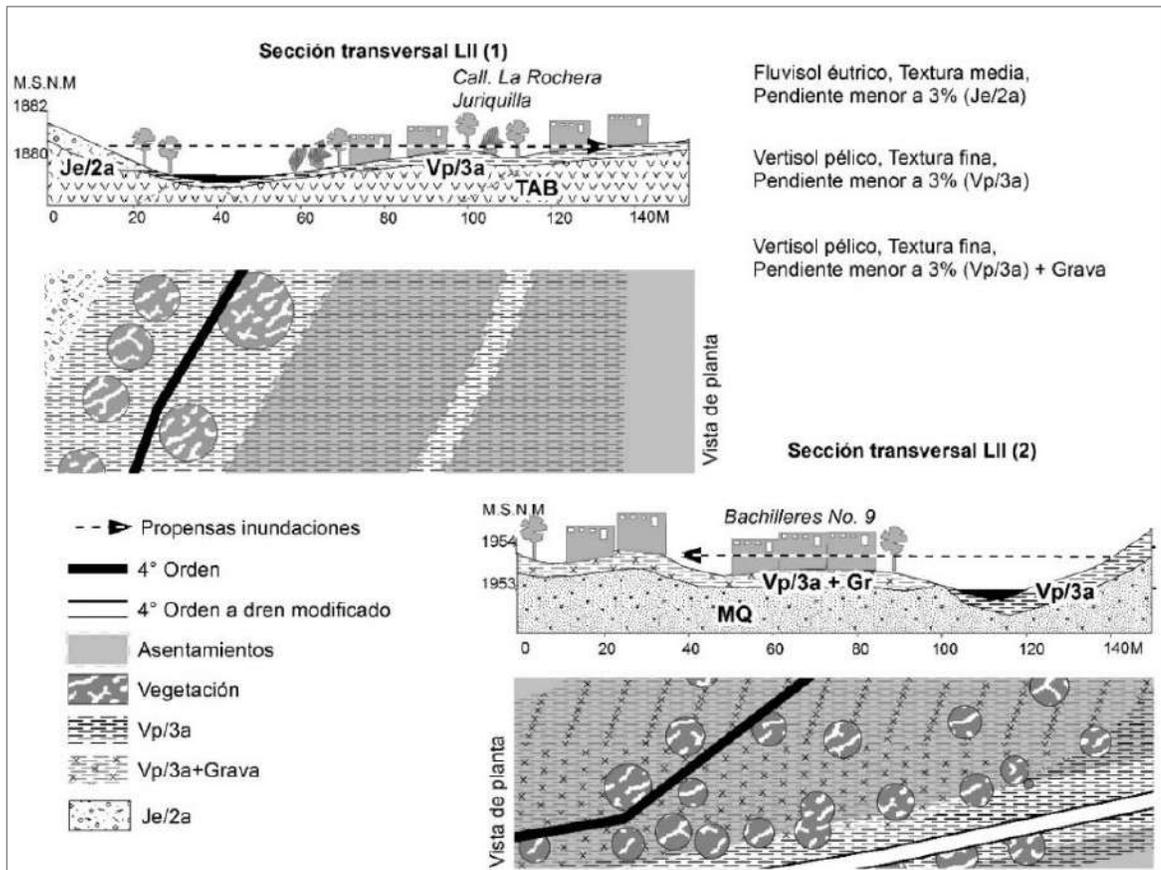


Figura 25. Secciones a detalle y las áreas vulnerables a inundarse.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011) y SGM (2015).

4.3.2 Distribución de la susceptibilidad socio residencial

Las condiciones de las construcciones habitacionales, presentaron mayor prevalencia en los niveles de índices de susceptibilidad de bajo (B) a medio (M) 54 y 32% respectivamente, mientras el nivel alto (A) y muy alto (MA) solo abarcaron el tres por ciento de los asentamientos. Los asentamientos cubren un área de 43 km² situados sobre la llanura de inundación de la ZFB de la microcuenca, caracterizada por presentar drenes de tercer y cuarto orden donde el desarrollo pluvial disminuye e incrementa la acumulación del agua y exponen a las casas habitación más vulnerables a las inundaciones. Mientras que los asentamientos de nivel socio económico de medio (M) y alto (A) se establecen con 24 km²

sobre lomerío bajo y medio, expuestos por la ocupación de cauces, provocando consecuente desvío de flujo de escurrimientos (Figura 26).

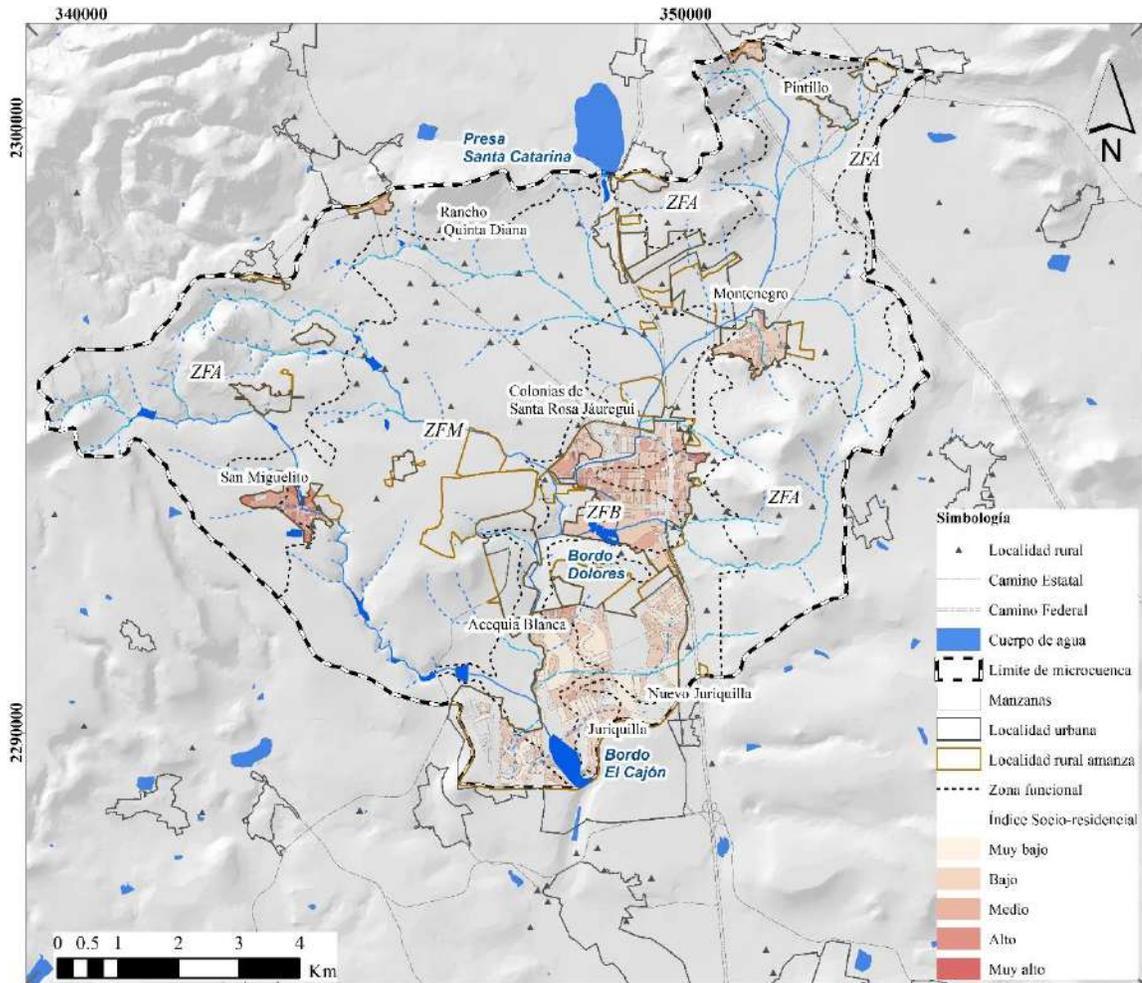


Figura 26. Incidencia de inundaciones en la población susceptible.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2015) y CONAPO (2017).

Las zonas periurbanas están caracterizadas por los niveles de precariedad, los eventos de las inundaciones, no deben de sumárseles, como son los asentamientos de El Pedregal, Las Lajitas, La Corregidora, Nuevo Santa Rosa, que presentaron nivel susceptibilidad de condiciones socio residencial alto a muy alto.

Hernández y Vieyra, (2010); Jha *et al.* (2012) mencionan la importancia del reconocimiento de las zonas periurbanas caracterizadas como áreas con alto nivel de riesgo por inundación, mismas que incrementan por los tipos de construcciones de casas habitacionales con techos de lámina y sin piso, construido sobre las ocupaciones de las

llanuras de inundaciones, donde los asentamientos suelen ser irregulares. Así también González, (2018) menciona que las tendencias de las inundaciones son las zonas periurbanas de la zona metropolitana de Querétaro. Esto, coincide con lo planteado, las zonas más susceptibles son aquellas ocupadas sobre las llanuras de inundaciones.

4.3.3 Distribución del riesgo en la microcuenca

Las áreas de mayor riesgo por inundación se presentaron en las zonas bajas, en las llanuras de inundación, donde los niveles más altos están situados sobre el Dren de Santa Rosa Jáuregui, Montenegro y San Miguelito. Estos dos últimos están situados sobre drenes de primer y segundo orden. En el caso de Montenegro se ubicaron solo 38 casas en riesgo medio, incluyendo una escuela y un centro de salud en San Miguelito con la exposición de 156 casas en riesgo alto. Ambos, no están en la parte baja de la microcuenca, por lo que el riesgo por inundación está inclinado hacia ocupación de drenes con casas habitacionales de mayor vulnerabilidad.

Para la zona de Juriquilla, bajo las condiciones biofísicas que detonan la formación de inundaciones a nivel punto de salida de agua de la microcuenca y sobre la llanura de inundación, la zona mostro un riesgo de bajo a muy bajo debido al factor índice bajo susceptibilidad en las cuales solo se exponen 1030 casas. Sin embargo, en la misma zona de Juriquilla también hay presencia de riesgo bajo en la zona funcional media sobre la Calle Hacienda Montenegro por la ocupación de un dren de segundo orden.

En la zona de Santa Rosa Jáuregui, zona céntrica de la microcuenca, se presentaron todos los niveles de riesgo. Esta zona se ubicada en la zona funcional baja donde están expuestas 264 casas en riesgo alto, 1995 en riesgo medio y 2519 en riesgo bajo, principalmente por ocupación de drenes de primer orden como son el caso de la calle Las Margaritas cerca de la Ampliación Las Rosas, sobre el Dren de Santa Rosa Jáuregui donde inicia el poblado de Santa Lucia, pasando por el mercado de la Delegación y por el Bachillerato No. 9 hacia los asentamientos del fraccionamiento El Pedregal hasta llegar a las Parque Bicentenario (Figura 27).

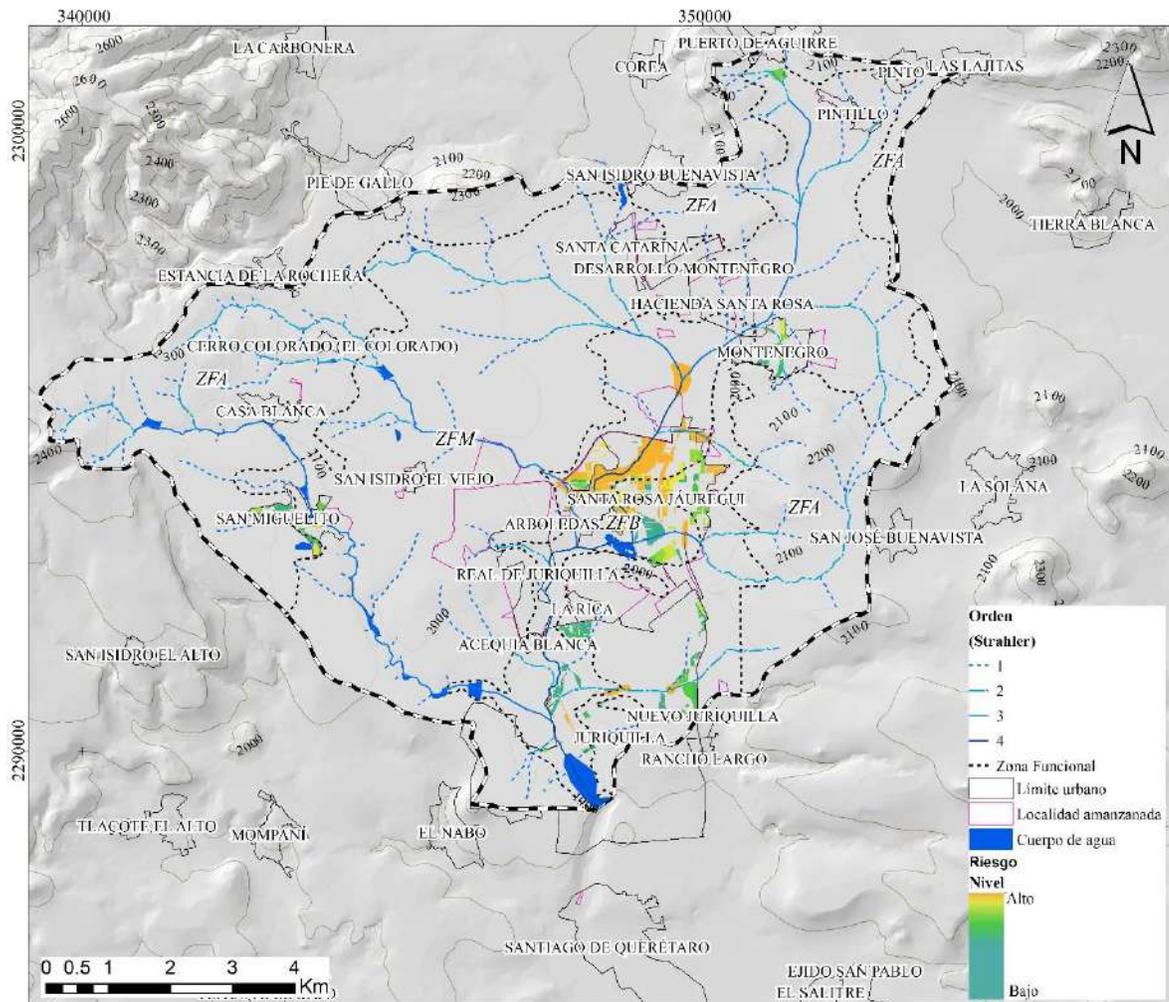


Figura 27. Distribución del riesgo por inundaciones en las zonas funcionales.
 Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2015) y CONAPO (2017).

El análisis de riesgo por inundación del sistema vulnerable expuesto a un fenómeno perturbador, incluye un análisis multiseccular y multidisciplinaria, donde la alteración como el cambio de uso de suelo en la zona funcional media de una microcuenca afecta a las zonas bajas. Zúñiga y Magaña, (2017) refieren que el deterioro de las cuencas como deforestación o urbanización aceleran la vulnerabilidad de la cuenca, aunque como un eje modulador del riesgo de baja frecuencia dinámica a una lluvia intensa, la microcuenca se convierte en una alta vulnerabilidad durante una lluvia intensa.

Jakubinsky *et al.* (2014) mencionan que el riesgo por inundación será atribuido hacia la alteración de los servicios ecosistémicos como son el estado de los cauces. Los

resultados del riesgo por inundación en la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui, el riesgo se acentúa en la zona baja y en los cauces principales comprobando lo referente de los autores.

Por lo tanto, el análisis de riesgo por inundación bajo la delimitación de zonas funcionales de la microcuenca englobó variables que definieron los niveles de riesgo hacia los aspectos de zonas altas a bajas de una microcuenca, donde permite visualizar el riesgo de manera gradual dentro de una microcuenca y ubicar estructuras estratégicas sustentables.

4.4 Zonas prioritarias la mitigación de riesgo por inundación

El propósito de las zonas prioritarias fue definir las áreas propias para las propuestas de estructuras para disminuir el impacto del riesgo por inundación a nivel microcuenca. Las zonas prioritarias suman todos los resultados de los capítulos anteriores, tienen el propósito de absorber datos cualitativos y cuantitativos basados primeramente en los rasgos propios de la microcuenca, como son todas las características biofísicas, zonas de inundaciones en función de la interacción con los diferentes factores, que inciden de manera integral para seleccionar zonas prioritarias en una microcuenca periurbana.

De esta manera se obtuvieron dos grupos de zonas prioritarias, una hacia las zonas donde las estrategias estructurales, que se ven limitadas por la situación de asentamientos socio residencial, infraestructura y comercios ya establecidos, no obstante se identificaron zonas prioritarias con espacios para el diseño de la estructura para disminuir los impactos de las inundaciones a la población con mayor susceptibilidad durante precipitaciones máximas y aprovechar espacios que puedan ser destinados para áreas verdes. El segundo grupo fue proyectado hacia las áreas donde disminuyen los asentamientos socio residencial, bajo la línea de un sistema de las características superficiales y subsuelo a la vez que las estructuras para la mitigación de riesgos por inundación se aproximen a estructuras sustentables.

Zonas prioritarias para mitigar

Los resultados de la integración de las características biofísicas y socio residenciales, fueron cuatro zonas para atención prioritaria. La primera (1) zona se ubica en Montenegro,

en la llanura de inundación, sobre dren de segundo orden, con un registro de inundaciones con siete veces, casas habitacionales con susceptibilidad de bajo a medio y con nivel de riesgo medio. La segunda (2) zona ubicada al oriente de Santa Rosa Jáuregui, ubicada en la llanura de inundación, sobre dren de primer orden, punto de salida de unidad de escurrimiento, con frecuencia de registros de inundaciones de hasta 13 veces y con riesgo bajo.

La tercera (3) zona ubicada al poniente de Santa Rosa Jáuregui, sobre la llanura de inundación, presentó una susceptibilidad alta de las casas habitacionales, registros de inundaciones de nueve veces, ubicación sobre el dren de cuarto orden, exposición de aglomeración poblacional como son la escuela secundaria Cobaq No. 9 y el mercado Delegacional, ambos en riesgo medio. La cuarta (4) zona se ubica en la parte sur de la microcuenca, sobre la llanura de inundación, punto de salida de unidad de escurrimiento, sobre dren de segundo y cuarto orden, frecuencia de registros de inundaciones de hasta 13 veces y con riesgo bajo. Bajo estas condiciones biofísicas y sociales, las estructuras para mitigar el riesgo por inundación a manera de conservación y disminución de flujo de agua hacia las partes bajas se proyectaron hacia las partes distantes (Figura 28).

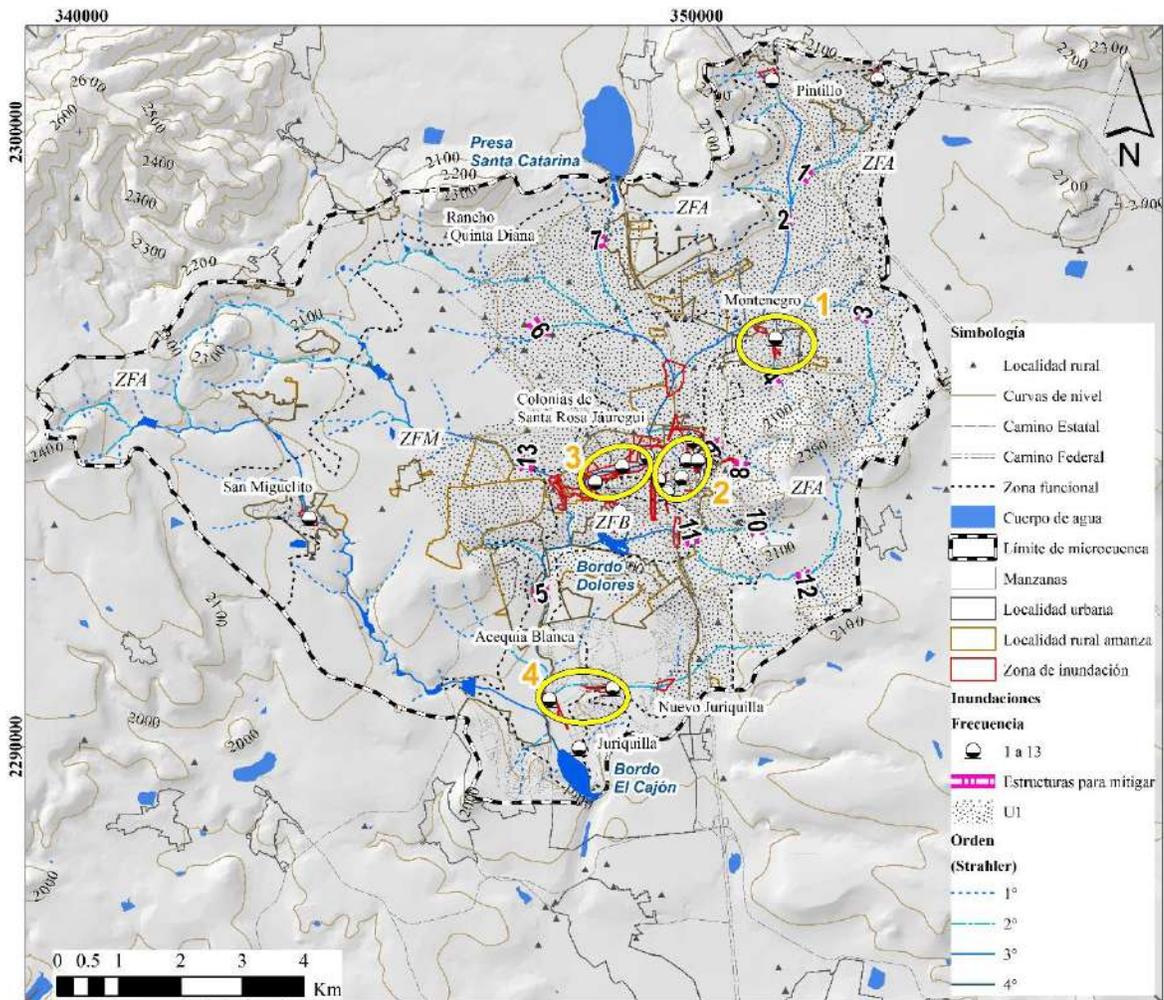


Figura 28. Zonas prioritarias a mitigar, círculos color amarillo.
 Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2015).

Considerando a las zonas para atención prioritaria para mitigar el riesgo por inundación con uso de suelo urbano, construcciones habitacionales y de comercio. La zona prioritaria tres, a la altura del Bachillerato Cobaq No. 9, aguas abajo del Dren de Santa Rosa Jáuregui sobre la calle prolongación Emiliano Zapata, se suma la condición de las aguas del Dren de Santa Rosa Jáuregui aguas alteradas físicamente por color y olor, incrementando la dispersión de residuos durante avenidas de flujo hídrico en precipitaciones máximas. Lugar donde las casas habitacionales presentan una susceptibilidad alta, con escenario de contaminación visual por residuos sólidos (tiraderos de basura), así como incertidumbre de seguridad al transitar por la zona.

Se observó que bajo las características complejas superficiales y del subsuelo, se obtuvo que la zona prioritaria tres se adicionan las condiciones de permeabilidad de agua al subsuelo por los tipos de subsuelo que son depósitos de aluviones (U1), condición donde el flujo de la contaminación del agua superficial infiltre hacia el nivel freático del subsuelo y continúe hacia el agua del acuífero, con ello se traduce la priorización de atención en la zona (Figura 29).

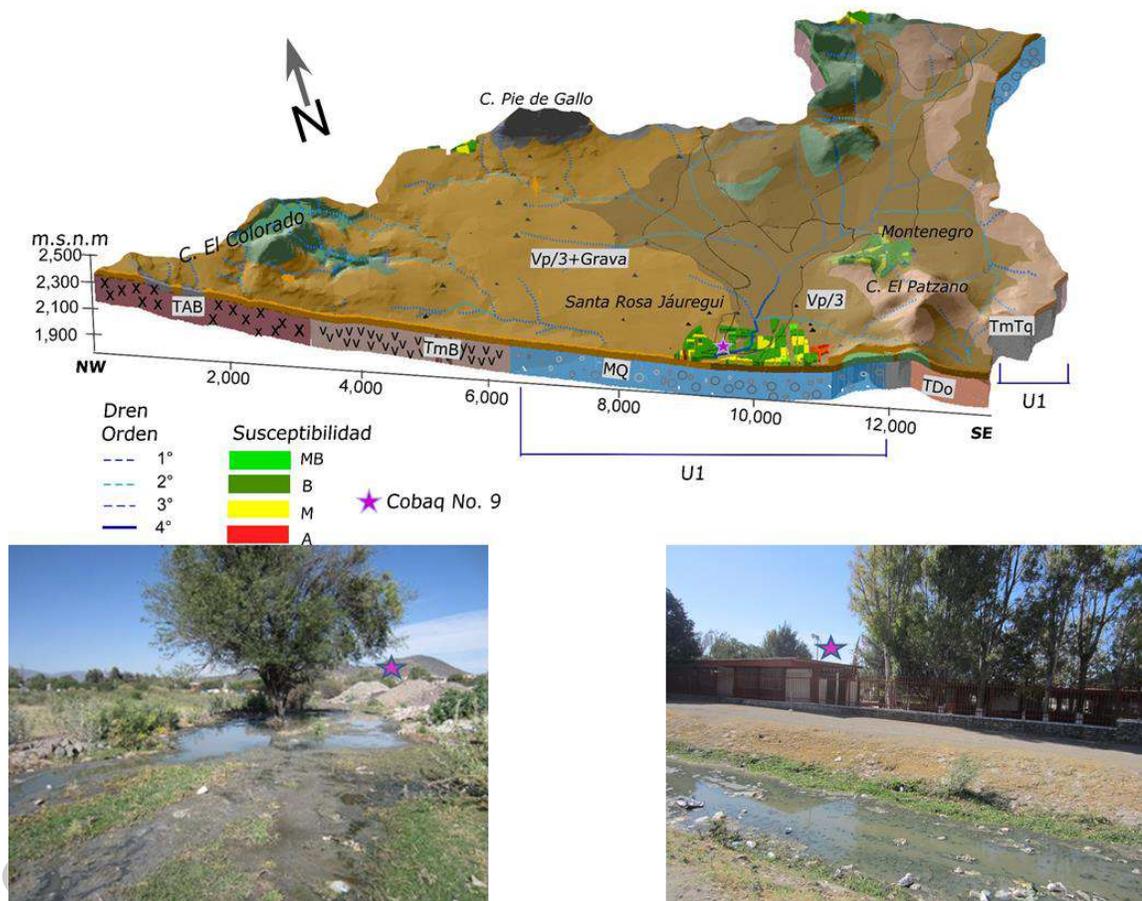


Figura 29. Características superficiales y del subsuelo de la zona prioritaria tres.
 Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011), INEGI (2015) y SGM (2015).

Zona prioritaria para captura y recarga

De las cuatro zonas prioritarias, tres de ellas se encuentran sobre la zona funcional media y baja, donde las unidades hidrogeológicas presentaron permeabilidad alta (U1) debido a la formación de aluviones (MQ) y piroclásticos (TmTq), donde al agua del nivel estático está a una profundidad aproximada de 50 m. Bajo las condiciones encontradas con base en información de las Unidades de Gestión Ambiental del municipio de Querétaro, la proyección de uso de suelo, son de tipo uso urbano donde los polígonos de las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) sobreponen a la unidad hidrogeomorfológica llanura de inundación, áreas con permeabilidad y sobre drenes de tercer y cuarto orden. Con esto descrito, las zonas prioritarias para mitigar el riesgo de inundación a través de las estrategias estructurales se ubican hacia el centro y oriente de la microcuenca donde aún los asentamientos poblacionales no están concentrados y también permitirán la conservación de los espacios óptimos para las construcciones de estructuras con fines de capturar el agua dado a las características del subsuelo, permitan la recarga de agua de manera vertical.

Para definir las zonas prioritarias, no solo se consideraron aspectos hidrográficos, sino también aspectos hidrogeológicos, debido al funcionamiento complejo del agua superficial y subterránea a través de las zonas funcionales de una microcuenca, donde además se deben aprovechar la naturalidad del espacio biofísico que permitan disminuir el flujo de agua hacia aguas en la microcuenca baja, a la vez capturar el agua y recargar el acuífero del cual depende la ciudad capitalina. Esto muestra que el acercamiento de los tomadores de decisiones en considerar las características complejas de la superficie y subsuelo a nivel microcuenca como lo describe Brindha y Pavelic, 2016, son cada vez necesarias, debido a la consideración de diversas variables para establecer medidas de mitigación a las inundaciones de forma sustentable.

Asimismo, refuerza lo mencionado por Shen, Zhong, Huang y Chen (2014) que bajo un esquema sobre de zonas prioritarias para el manejo de una microcuenca donde se consideran las características de flujo de aguas arriba o flujo de aguas abajo de un dren, pueden ser integrados un sistema de apoyo para los tomadores de decisiones para proteger la calidad y cantidad de agua en una microcuenca.

Para Brindha y Pavelic, 2016 y Shen *et al.* (2014), identificar zonas prioritarias a nivel microcuenca, resultan más efectivos que establecer estrategias generales sobre una amplia área. Las zonas prioritarias a nivel funcional integran múltiples factores para el establecimiento integral de las estrategias para mitigación de riesgo por inundación en zonas periurbanas.

5. ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIONES

Bajo la perspectiva de gestión de riesgo como proceso continuo interactivo apoyado por los tomadores de decisiones, construcción de planes, conocimientos adquiridos y creación de conciencia ante problemas de emergencia, las estrategias estructurales y no estructurales forman parte esencial para la mitigación. Con ello la aproximación de un análisis integral del funcionamiento de la microcuenca periurbana como unidad de estudio donde involucra diferentes espacios horizontales y verticales.

En los siguientes apartados abordan los resultados del apartado cuatro, que son las características propias de la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui, complementados con la sistematización de las entrevistas focales de las instituciones gubernamentales, revisión de los programas y leyes que involucran lineamientos para disminuir los impactos de riesgo por inundación desde una perspectiva nacional a local.

El apartado tiene el objetivo de construir estrategias estructuras (apartado 5.1) de manera sustentable aportando al favorecimiento de las recargas de aguas al subsuelo de manera natural y de conservación de drenes de distinto orden, paralelamente previniendo asentamientos poblacional a través de propuestas estratégicas sustentables, después se incorporan los resultados de las estrategias no estructurales (apartado 5.2) donde se considera la microcuenca como unidad de estudio en el análisis de riesgo por inundación.

5.1 Estrategias estructurales

Los resultados obtenidos de las zonas funcionales de la microcuenca y de las afectaciones cíclicas de las inundaciones expuestas en la gráfica (Figura 22), se obtuvo un diseño base para las construcciones de las estrategias estructurales donde se reflejó una desvinculación en la aplicación de estrategias estructurales para mitigar las inundaciones, como se representa en la discontinuidad de los aros de la figura 30. Por lo tanto, las características en las construcciones de las estructuras incluyeron la naturaleza del agua superficial y al agua subterránea, fenómenos perturbadores como las irregularidades de la distribución de los asentamientos humanos en las áreas periurbanas y los resultados de la precipitación media anual y las características propias de las zonas funcionales de la microcuenca. Estas características son esenciales para la gestión de riesgo por inundación.

Con base en el párrafo anterior, las estrategias estructurales fueron dirigidas con diseño de material biológico, no solo como prevención para la disminución del flujo del agua, si no también estuvieron encausadas hacia la conservación de los servicios ecosistémicos como son: la regulación de agua, donde las estructuras con material nativa servirán para disminuir el flujo de agua y erosión de suelo hacia la zona baja de la microcuenca y por consecuente a la ciudad de Querétaro; el servicio de provisión de alimentos, encaminado hacia la recarga de agua en áreas naturales para contribuir al acuífero del Valle de Querétaro; los servicios de cultura donde algunas estructuras serán de uso recreativo; y el servicio de soporte, a nivel subcuenca la aportación es una mínima cantidad en agua al subsuelo, conservación del suelo y espacio cultural de recreación natural (Figura 30). Las estrategias estructurales fueron proyectadas hacia donde aún no hay intervención de asentamientos humanos y otras fueron dirigidas hacia la disminución de la susceptibilidad ante el daño, con el objetivo de alinear los aros de la figura 30 para un equilibrio ecosistémicos para la disminución de los impactos de las inundaciones.

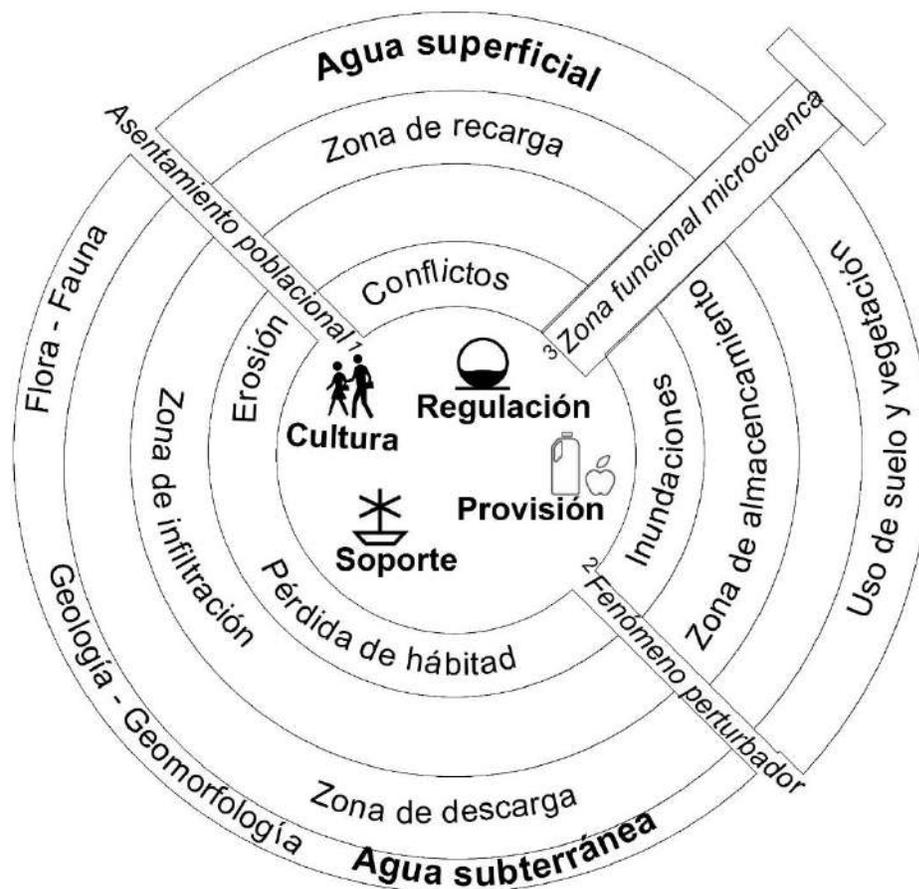


Figura 30. Desvinculación en la aplicación de construcciones de obras para mitigación. Consideraciones que integran las estrategias estructurales: los aros discontinuos del exterior al interior representan interacciones con los procesos del agua, los que cortan los aros son fenómenos perturbadores^{1,2}, mientras que otro corte de aros integra características de los procesos del agua, a través de las zonas funcionales.³ Fuente: Elaboración propia.

Estructura en la zona de Santa Rosa Jáuregui (zona prioritaria tres)

En Santa Rosa Jáuregui, los registros de inundaciones señalan que El Bachillerato No. 9 ha sido afectado por las crecidas de agua en la margen izquierda del dren de Santa Rosa Jáuregui, a pesar de que ha sido encausado continúa rebasando el agua cuando se presentan precipitaciones extraordinarias.

La característica de la zona de inundación está vinculada con la ocupación de la llanura de inundación, formación de depósitos de aluviones, cubierta de suelo vertisol

pélico y grava, situadas en una zona baja de la microcuenca con U1. La acumulación del volumen de agua de cuatro escurrimientos principales aguas arriba, donde fluye un gasto en un periodo máximo de 169.54 de m³/h en un periodo de cinco años con una precipitación de 47.82 en una hora. La zona está clasificada como riesgo bajo, sin embargo, la escuela Bachillerato es la más afectada por el tipo de cauce.

La estrategia ideal sería una reubicación del plantel, debido a la sección hidrogeomorfológica y las características de las zonas funcionales de la microcuenca. Se propone para mitigar la zona, una estrategia por medio de la aplicación de combinación de técnicas mediante el uso de material vegetal y obra civil. Esto es, una modificación del plantel en levantar la estructura sobre la cota de 1953 a 1954 msnm, a través de la inclusión de un nivel de la planta baja donde la altura levantada pueda mitigar la inundación, misma estructura puede ser utilizada solo para uso vehicular o zonas de áreas verdes del plantel (flechas rojas de figura 31).

Para la zona del cauce canalizado, se incrementaría un dique mediante el uso de gaviones hacia la altura de un metro (de la cota 1953 a 1954) paralela a la altura del margen derecho del cauce (color amarillo en la figura 31). La incorporación de los diques de gaviones tiene el objeto de aprovechar las condiciones de las unidades uno (U1) de la zona funcional de la microcuenca ya que la zona está en una ubicación de recarga de agua hacia el acuífero del Valle de Querétaro (AVQ), así mismo disminuirá el flujo del agua hacia el plantel escolar.

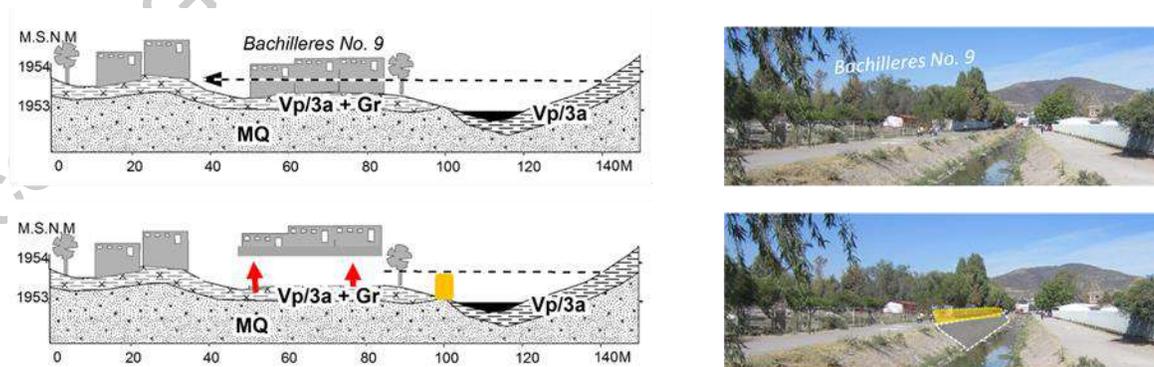
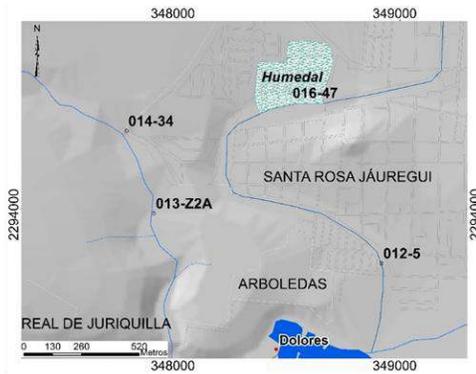
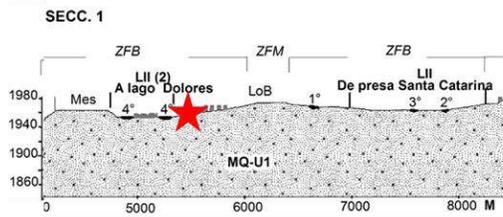


Figura 31. Construcción de diques sobre en el Dren de Santa Rosa Jáuregui.
Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (1973), Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011) y SGM (2015).

Estructura para aprovechamiento de zona inundable (zona prioritaria tres)

Derivado de las características verticales y transversales de las zonas funcionales, así como las recurrencias de las inundaciones, el área de acumulación de agua en el trayecto del dren de Santa Rosa Jáuregui entre el Fraccionamiento El Pedregal y Las Lajitas, el agua que baja de aguas arriba proviene de cuatro unidades de escurrimiento, incrementando el volumen por el desagüe de la presa Santa Catarina en tiempos de precipitaciones máximas.

La estrategia para mitigar las inundaciones, es hacia aguas arriba de la curvatura del dren de Santa Rosa Jáuregui, mediante el aprovechamiento de las características biofísicas identificada en el punto de verificación de campo 016-47 (Anexo III), compuesta de materiales permeables en el subsuelo definido como la U1 de la ZFB y tipo de cauce de cuarto orden en cual forma una curvatura. En ese punto, la construcción de un humedal permitirá la incorporación del agua al subsuelo y el crecimiento de la vegetación nativa. En la ubicación, el área forma un punto crítico, en el sentido de la contaminación del agua por las descargas de aguas residuales de aguas arriba del mercado de la Delegación de Santa Rosa Jáuregui, zona definida como área de recarga de agua para el acuífero de AVQ, área de acumulación de desechos sólidos, asentamientos irregulares, zona de riesgo por inundación de nivel medio (Figura 32).



Características de la acumulación de agua.

Espacio para diseño de humedal.

Figura 32. Área de acumulación de agua para el funcionamiento de un humedal.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu, *et al.* (2011) y SGM (2015).

Estructura en la Zona de Juriquilla (zona cuatro)

En la figura 33 se aprecia las características biofísicas de las zonas de inundaciones como la zona de Juriquilla (ZFB), donde la población está asentada sobre formación de basaltos de Querétaro (TAB-U3) y suelos tipo vertisol pélico. En la zona inundable, hay una confluencia de drenes de tercer y cuarto orden, así como asentamientos poblacionales que ocupan áreas dentro de la llanura de inundación. Las secciones transversales de la figura 33 con orientaciones ligeramente E-W (Secc. 1A) y N-S (Secc. 1), donde el círculo verde es un área de inundaciones, por lo tanto, donde se ubica la estrella blanca es la ubicación de la estructura para mitigar el riesgo por inundaciones.

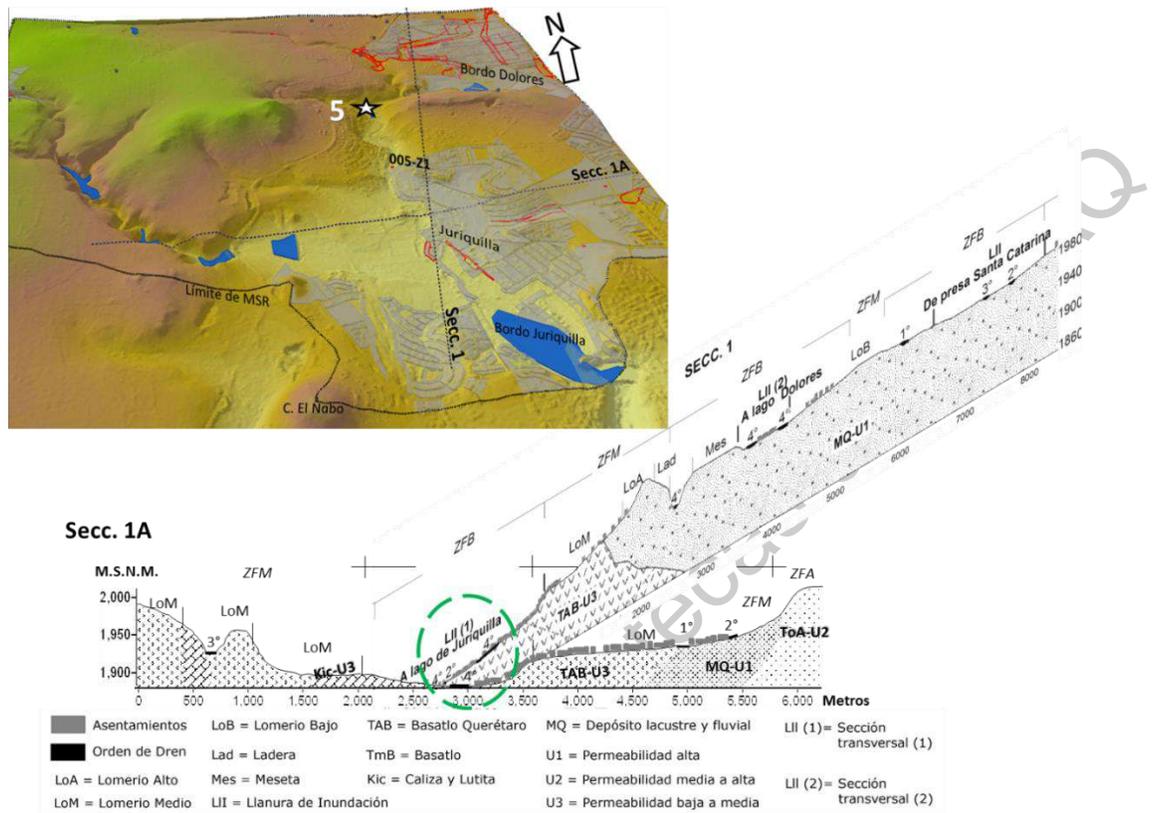


Figura 33. Características biofísicas de la ZFB. Secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Aguirre *et al.* (2000), Morales (2011), Xu *et al.* (2011) y SGM (2015).

Para mitigar el riesgo en el área de Juriquilla, se diseñó una estructura localizada aguas arriba pasando el punto de verificación de campo 005-Z1, donde presentaron suelos arcillosos y ligero contenido de grava ($(Vp+1)/3$ a + grava), así como fluvisol éutrico (Je/2 a) que cubre a depósitos de aluviones del Cuaternario (MQ, U1). El uso de suelo y vegetación es de tipo matorral, donde los asentamientos próximos están a una distancia de 500 m.

El uso de materiales biológicos tiene el objetivo de una proximidad de conservación de las características naturales, al mismo tiempo de aprovechar el escurrimiento del agua, a través de la vegetación para direccionar el agua hacia la recarga de agua durante precipitaciones máximas. Los materiales que se requieren para el diseño de las estructuras son: material cantos rodados con una variabilidad de tamaños para formar presas de

gaviones. El material vegetativo puede ser de origen *in situ* de las áreas circundantes (Hernández, González, Malda y Suzán, 2010). El diseño se enfoca además hacia la retención de velocidad de agua y el flujo horizontal como vertical.

En la figura 34 muestra una sección transversal del Dren Jurica, ubicación UTM X:347466 y Y:2292547, el área forma parte de la llanura de inundación en las cercanías de Acequia Blanca, sin embargo, la estructura de obra diseñada se enfocó en la zona baja de la llanura de inundación entre los 100 y 220 m de la sección transversal. Durante las precipitaciones máximas que reciben los escurrimientos de las aguas cuenca arriba, presentan un gasto máximo de 234.39 m³/h en un periodo de retorno de cinco años con duración de 60 minutos lo que se estima que los niveles de agua incrementen en la llanura de inundación.

Resultó que las características geomorfológicas y los registros históricos de las inundaciones (1999-2018) tuvieron una relación estrecha, donde las zonas de inundaciones se presentaron en las cercanías de los drenes de cuarto orden. Por tal motivo se considera la protección de los espacios de los ríos a través de la construcción de estructuras como bordos y encausamiento con gaviones y con material biológico que se aproximen a una alteración mínima del área en la llanura de inundación y con ello disminuir la ocupación de los drenes a través de los asentamientos residenciales.

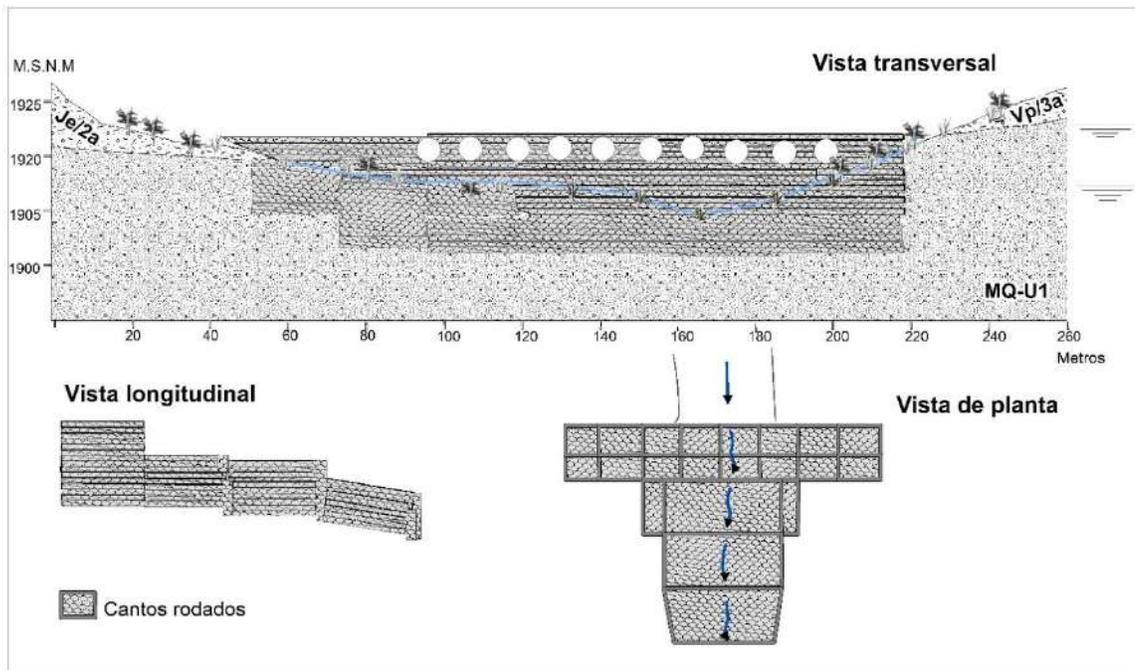


Figura 34. Diseño de obra tipo bordo y encausamiento con gaviones para la mitigación de riesgo por inundación de aguas abajo del Dren de Juriquilla.
 Fuente: Elaboración propia con datos de Hernández, González, Malda y Suzán (2010).

La importancia de caracterizar las unidades hidrogeomorfológicas, las inundaciones históricas y definir las áreas susceptibles en las zonas periurbanas bajo las condiciones de las zonas funcionales, llevó a proponer diseños estratégicos de combinación de técnicas amigables con el medio ambiente sin llegar a ser herencias gravosas o cíclicas irremediables. En este sentido Protección Civil Municipal mediante el área de Gestión de Riesgo menciona que conocen la problemática de las alteraciones de aguas cuencas arriba, como los asentamientos alteran los escurrimientos de primer y segundo orden, donde el problema es reflejado en la parte baja, pues los escurrimientos incrementan e inundan en zonas bajas y las áreas problemáticas se vuelven cíclicas.

Esto comprueba el trabajo realizado por González (2018) las inundaciones de la ciudad de Querétaro, es por una tendencia debido a los cambios de uso de suelo, llevando un incremento de asentamientos en los escurrimientos cuencas arriba, así como los desbordamientos de cauces debido a la capacidad de precipitación superada por las lluvias. Lule (2015) menciona que a través de la compra de los derechos de desarrollo en la cuenca se pueden brindar servicios ecosistémicos. El diseño de las estrategias estructurales bajo las

zonas funcionales en la zona periurbana, permite diferenciar cuales son las áreas óptimas para el establecimiento de obras para mitigar el riesgo por inundación, como son los aprovechamientos de los bordos para las infiltraciones (Morales, 2011) para infiltración al norte del acuífero de AVQ.

Estructurales en áreas sin asentamientos humano

Las estrategias estructurales se proyectaron hacia las zonas donde presentan rocas con permeabilidad media a alta (U1 y U2), como fueron áreas con depósitos de aluviones (MQ) áreas con depósito de piroclastos (ToA), fuera de los asentamientos humanos, ubicadas en los puntos de salidas de las unidades de escurrimientos, así como la consideración de las llanuras de inundación. Se obtuvieron secciones transversales con el objeto de expresar el comportamiento del suelo y rocas en las llanuras de inundación donde representan la problemática de las inundaciones siguiendo las bases de Walker *et al.* (2016) y de Lachat (2001) como son los diseños de estructuras con técnicas combinadas y de material biológico que tienen beneficios, no solo de disminuir el impacto de las inundaciones en las zonas bajas de microcuenca, sino también el aprovechamientos de las características biofísicas que suman a las estrategias para la conservación de las áreas de recarga de los acuíferos mediante las condiciones hidrogeomorfológicas (Figura 35).

Las estrategias estructurales están inclinadas hacia obras con ingeniería naturalística, obras civiles o mixtas, hacia una tendencia de obras sustentables en el aprovechamiento de las zonas de inundaciones, tanto a las áreas que presentan un nivel de susceptibilidad al impacto como aquellos espacios que pueden ser utilizados con funciones diferentes. Sin embargo, en los recientes manifiestos de impacto ambiental, así como las proyecciones de obras hidráulicas en los planes de manejo pluvial, han sido solo encaminadas hacia obras civiles con materiales impermeables como material tipo concreto y mampostería (PMDU, 2017; UAQ, 2019). A través de la entrevista realizada a la Dirección de Hidrogeología y de Explotación de Aguas de la CEA, mencionó ante las circunstancias del uso de los materiales permeables para la infiltración del agua, es deseable usar materiales permeables, sin embargo, aún no han sido contemplados.

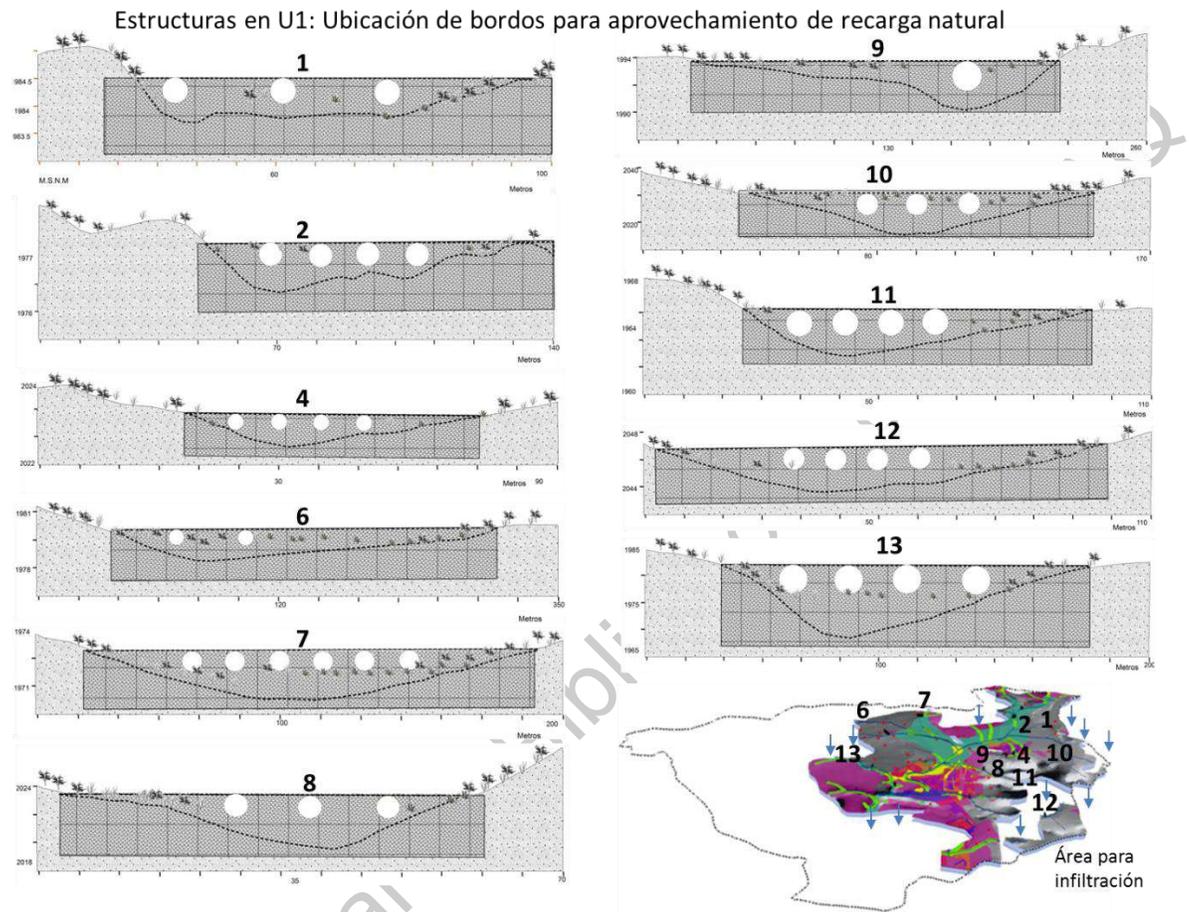


Figura 35. Estructuras propuestas para la mitigación de riesgo por inundaciones en la U1.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2015).

El aprovechamiento de las zonas de inundaciones, así como los diseños de combinación de obras, permiten la protección de las zonas de inundaciones y de recarga de agua natural hacia los acuíferos, de la misma manera serian espacios ocupados antes de que sean proyectados para los asentamientos humanos, ya que la zona es considerada como periurbana y en constante crecimiento.

5.2 Estrategias no estructurales

Los diseños de las estrategias no estructurales se formularon con base en los resultados de las revisiones de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), Ley de Planeación (LP), Ley General

de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), y la Ley de Protección Civil (LPC), así como las instituciones gubernamentales, sus planes y programas que forman vínculos para las aplicaciones de los lineamientos que establecen las leyes.

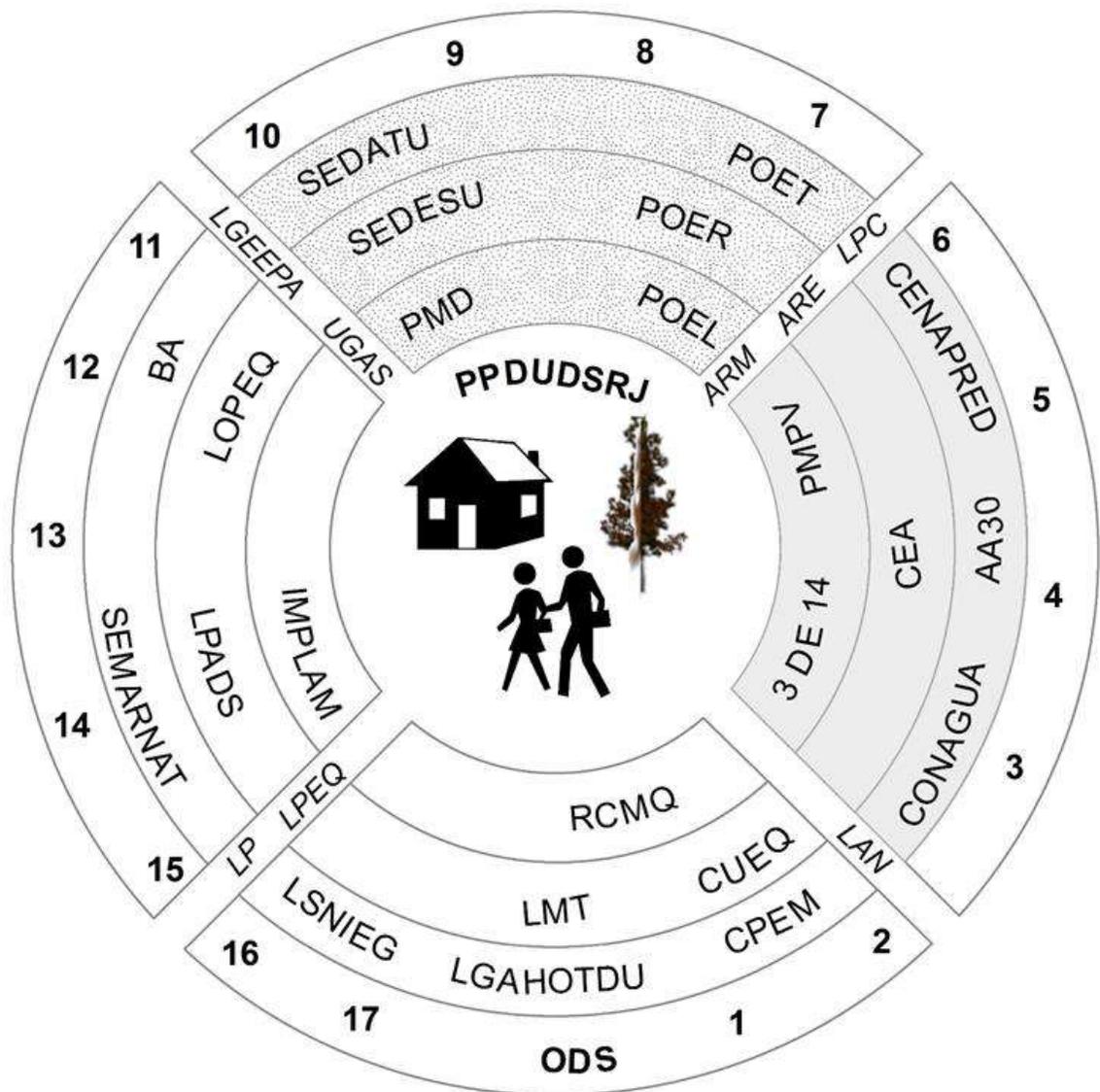
Dichos programas y planes manejados a nivel nacional, forman parte de un enfoque sustentable, dentro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) establecidos por las Naciones Unidas con algunos objetivos a cumplir en el año de 2030. Para la Comisión Nacional de Agua a través de la Agenda del Agua 2030 AA2030 (CONAGUA, 2012) considera solo tres de 14 objetivos alcanzables, dentro de ellos el primero: es cuencas y acuíferos en equilibrio, el segundo: es ríos limpios y cobertura universal, y el tercero: es asentamientos seguros frente a inundaciones. Para lograr este tercer objetivo se necesita, además de la vinculación directa hacia la misma LAN, que en el manual para el control de inundaciones (CONAGUA, 2013) que emite la CONAGUA (aparte de hacer mención a nivel cuenca y zonas geomorfológicas alta, media y baja) se establezcan las delimitaciones de una cuenca conforme a las características biofísicas propias de la microcuenca donde se haga énfasis de la protección de los drenes de las zonas periurbanas con características de las zonas funcionales óptimas para efectos positivos, con ello considerar las obras estructurales con técnicas vegetales o ingeniería biológicas con el objeto de mantener el acercamiento al equilibrio entre el agua subterránea y agua superficial mediante las estructuras de mitigación de riesgos por inundación que favorezca de manera natural la incorporación de agua al nivel freático durante precipitaciones extraordinarias, en su defecto al agua subterránea.

Protección Civil Municipal de Querétaro está relacionado directamente por las situaciones de emergencia durante los riesgos por inundaciones, durante la entrevista con el personal, mencionaron que bajo los riesgos por inundaciones, se respaldan con base a lo mencionado en el Artículo 111 de la Ley de Protección Civil de la cual dictamina que los asentamientos estén fuera de riesgo, en este caso el riesgo por inundación a nivel microcuenca, por lo que resaltaron la importancia del Artículo entorno a las medidas para mitigación de inundaciones a nivel microcuenca.

Sin embargo, dicho Artículo no se vincula con la LAN, no dice nada acerca entre agua y la planeación del territorio para reforzar la LPC, la LGEEPA, la LAH o incluso LP,

para la mitigación de riesgo por inundación. En la figura 36 se resume como las instituciones, planes, programas y leyes presentaron una desvinculación entre ellas al mencionar medidas preventivas encaminados a los 17 objetivos de desarrollo sustentable y lograrlo para el 2030, como son: cuencas y acuífero en equilibrio y asentamientos seguros frente inundaciones, mencionados en la AA2030. En la figura 36 los cortes transversales de los círculos son leyes principales a nivel nacional. Lo achurado menciona la necesidad de estudios donde involucran la unidad de una cuenca. En gris aquellos que involucran características de una cuenca dentro de estudios técnicos requeridos.

Los programas, planes y leyes, como se representan en la zona gris de la figura 36, mencionan la importancia de estudios a nivel cuenca, pero no se logran concretar la transversalidad desde lo nacional a lo local donde involucren a los asentamientos irregulares de las periferias de las ciudades o las zonas altas optimas de protección para mitigar las inundaciones. En la figura 36, la zona achurada, representa que la transversalidad en la consideración de la unidad de cuenca, disminuye, dentro de los lineamientos de regulación de las UGAs mencionan la protección de cuenca, mientras algunos usos de unidad en las UGAs se contraponen con zonas vulnerables en riesgo hacia un uso de suelo urbano. Un esquema para lograr una vinculación coherente y disminuir los impactos de las inundaciones en zonas vulnerables, seria vincular las consideraciones de la unidad cuenca en los diferentes planes, programas y leyes, donde la figura 36 fuera todo de color gris.



SEDESU: Secretaría de Desarrollo Sustentable; SEDATU: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano; SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; CONAGUA: Comisión Nacional de Agua; CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres; CEA: Comisión Estatal del Agua; UGA's: Unidad de Gestión Ambiental; POER: Programa de Ordenamiento Ecológico Regional; POEL: Programa de Ordenamiento territorial; IMPLAN: Instituto Municipal de Planeación del Municipio de Qro.; PMD: Programa Municipal de Desarrollo; PMPV: Plan Maestro Pluvial; ARE: Atlas de Riesgos Estatal, ARM: Atlas de Riesgos Municipal; 3 DE 14: 3 objetivos de 14 del Plan Hidrico Nacional; AA30: Agenda del Agua 2030; RCMQ: Reglamento de Construcción del Municipio de Qro.; LMT: Ley de Movilidad para el Transporte del Edo. De Qro.; CUEQ: Código Urbano del Estado de Qro., CPEM: Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; BA: Bitácora Ambiental; LAN: Ley de Aguas Nacional; LP: Ley de Planeación; LPEQ: Ley de Planeación del Estado de Qro., LPADS: Ley de Protección Ambiental Para el Desarrollo Sustentable del Edo. De Qro.; LOPEQ: Ley de Obra Pública del Edo. De Qro.; LGEEPA: Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; LPC: Ley de Protección Civil; LGAHOTDU: Ley General de Asentamiento Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano; ODS: Objetivos de Desarrollo Sustentable.

Figura 36. Ausencia de transversalidad entre programas para mitigar las inundaciones. El círculo exterior programas a nivel internacional y el interior programas a nivel local. El color gris y lo achurado programas y leyes donde mencionan la necesidad de considerar la cuenca como unidad de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La Dirección de Hidrogeología y Explotación de la CEA, dentro de la entrevista realizada, mencionó los beneficios de hacer bordos, los cuales permiten el control de los eventos pluviales y el efecto que tiene hacia las recargas de agua subterránea. Mencionó que la determinación de la recarga es complicada, resulta que las obras como los bordos es una forma de conservar las áreas de recarga de agua, misma que no se aceleren los asentamientos humanos y se protejan las zonas naturales del curso del agua. Así mismo, hizo mención a la importancia del Plan Estatal de Desarrollo, mismos que deben ser llevados a nivel constitucional para lograr una transversalidad entre el Plan Nacional, Estatal y Municipal, ya que esta última es autónoma.

Por otro lado, la Ley de Planeación no menciona nada al respecto de las problemáticas de las inundaciones, riesgos o cuenca, solo en el Reglamento y en el apartado de Transitorio Décimo Tercero, acerca de sanciones a quien autorice o edifique en asentamientos en riesgo. Las zonas con mayor vulnerabilidad a las inundaciones no solo se ubicaron en las llanuras de inundación, sino también sobre algunos drenes de primer orden en unidades de lomeríos bajo y medio como son el caso al noroeste las colonias de Santa Rosa Jáuregui, San Miguelito, Montenegro y La Solana de las cuales las problemáticas fueron por la ocupación de los escurrimientos de primer orden.

Al respecto, un representante de colono de La Solana que ha habitado durante aproximadamente 30 años, comentó que las áreas rurales de la Delegación de Santa Rosa Jáuregui ha presentado un cambio en los crecimientos rurales, de las cuales ya no se distinguen si son rurales o urbanas, mismos cambios afectan a la Delegación. Por ejemplo, Juriquilla, Buenavista y Parque Industrial han sido muy notorios, que a su vez percibe que no hay una lógica de crecimiento. Identificó que, en temporadas de lluvias extraordinarias, las inundaciones han llegado a afectar el mercado de Santa Rosa Jáuregui, Jofrito y otras afectaciones drásticas en la parte de Pie de Gallo, donde han sido arrastrados hasta 15 vehículos.

Esto refuerza que no solo las llanuras de inundación deben considerarse en los planes y programas, si no también se protejan aquellos drenes de primer, segundo y tercer orden para que los impactos de las precipitaciones no incrementen en los espacios de flujo de agua.

En tanto a los Ordenamientos Ecológicos Territoriales vinculados hacia las UGAs, se mencionan la consideración de las cuencas, sin embargo, al ser definidas las UGAs, las unidades que involucran el uso urbano, se sitúan sobre los ríos, incluso sobre las llanuras de inundación, así como zonas de recarga de infiltración natural, a pesar que dentro de los mismos lineamientos mencionan a través de las estrategias y regulaciones se dirigen hacia amortiguar los conflictos ambientales. De las 30 UGAs en la microcuenca solo seis mencionan la relación de las unidades sobre amortiguar impactos ambientales, mantener zonas de crecimiento de agua y servicios ambientales, sin embargo, en el caso de la unidad 100 “Zona Urbana de Qro.” los límites de los polígonos se encuentran situados sobre llanuras de inundación y/o en zonas de recargas de aguas definiendo dichas áreas como compatibles para uso urbano. De esta manera se contraponen las unidades de gestión ambiental sobre zonas que deben ser protegidas o definidas con diferentes estrategias de regulación donde se ven afectadas desde las áreas de los asentamientos vulnerables hasta las áreas de aguas abajo de la microcuenca.

Bajo las respuestas de las entrevistas y el análisis del esquema de leyes, planes y programas, se consideraron los siguientes criterios. 1: la coordinación conjunta entre los tres niveles de gobierno, 2: realismo de la formación de inundaciones, 3: respeto del medio ambiente, 4: prevención y transparencia, 5: niveles de riesgos, 6: tiempo de respuesta de una cuenca y 7: las diferentes acciones como la reforestación, renaturalización de las zonas ribereñas y las llanuras de inundación.

Se proponen los siguientes estrategias no estructurales para la mitigación de riesgo por inundación a través de las zonas funcionales de la microcuenca:

Análisis multiescala en la determinación del riesgo por inundación en la microcuenca

Considerar el tamaño de peligrosidad de cada área de formación de la inundación y la frecuencia, magnitud y velocidad, ambas establecidas en la cartografía de riesgo a nivel microcuenca, con visión de subcuenca. Misma cartografía será relacionada con medidas que establece Protección Civil Estatal y Municipal bajo la Ley de Protección Civil. Así

también la cartografía de riesgo deberá estar bajo los lineamientos vigentes del Reglamento del IMPLAN, donde incluya la participación de la administración local (Delegación).

La delimitación de zonas de riesgo debe abordar un nivel de zonas funcionales de la microcuenca, la cual resalta la inclusión de estudio hidrogeomorfológico, hidrogeológico, morfométrico y socio residencial, este último, entorno hacia un estudio territorial urbanístico debido a las características periurbanas de la microcuenca, así como un análisis económico de las inundaciones obtenido con el cruce de la cartografía de riesgo con los tipos y usos de suelo para considerar los daños de materiales directos.

Inventariar las estructuras para desagüe en tramos inundables con problemas específicos y el funcionamiento de la estructura como sistema incorporado al mapa de riesgo. Esto conduce a un análisis multiescala, sin embargo una escala óptima es de 1:5,000.

Incorporación de la cuenca (microcuenca) y zonas funcionales en los lineamientos de las leyes o programas

El Programa de Ordenamiento Ecológico Local POEL, tiene como objetivos la protección y restauración del sistema y el Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Santa Rosa Jáuregui responde a un análisis de sistema integral de Planeación Urbana que son aterrizados desde los establecidos de las leyes y reglamentos de las leyes nacionales.

(A) Para la Ley de Aguas Nacionales mediante el Reglamento de la Ley (2016), menciona el Art. 128. "... a través de planes regionales de operación para aminorar los daños por inundaciones e implementar medidas de emergencia conducentes". Este Artículo se relaciona con el PMPV que tiene el objeto de aminorar las inundaciones. En el PMPV se mencionan las obras hidráulicas para la mitigación de riesgo por inundaciones a nivel zona metropolitana.

La incorporación de las estructuras con técnicas combinadas para la mitigación de inundaciones a nivel microcuenca maximizará el alcance hacia el objetivo de cuencas y acuíferos en equilibrio, pues la ubicación de la estructura a nivel zona funcional de la microcuenca son unidades favorables a las infiltraciones.

(B) En el Reglamento de la Ley de Protección Civil por medio del Art. 110 (2015). “Análisis de riesgo y vulnerabilidad de construcciones, edificaciones, infraestructura o asentamientos humanos dentro del predio en estudio, en el entorno y en su cuenca”. El enlace directo para este artículo son los Atlas de Riesgos, ejecutados a nivel Estatal y Municipal, donde se mencionan las microcuencas geográficamente.

La incorporación del análisis de riesgo por inundación basada en las zonas funcionales absorbe no solo los asentamientos poblacionales, si no también todas aquellas infraestructuras propensas al riesgo por inundación.

(C) En la Ley de Planeación (2018) no se menciona un artículo referente al espacio de una cuenca o riesgo de inundaciones, solo en el Reglamento de la Ley Planeación Estatal en el apartado de Transitorio Décimo Tercero sobre la sanción a quien autorice asentamiento en riesgo.

La incorporación en este reglamento para vincular con el Reglamento de la Ley de Protección Civil, es un análisis para la planificación territorial a nivel microcuenca y por zonas funcionales. Esto permitirá que los asentamientos no se proyectarán en unidades de permeabilidad alta ni en llanuras de inundaciones. Con ello se cumplirá uno de los Objetivos de Desarrollos Sustentables que son asentamientos seguros frente a las inundaciones.

(D) Para el caso de la LGEEPA (2014), en el Art. 36 “...el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en cuencas o ecosistemas”; Art. 23 (VIII) “... que no se permitan usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población”; Art. 53 “... las zonas de protección de ríos, lagos, lagunas, manantiales y demás cuerpos considerados nacionales, particularmente cuando éstos se destinen al abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones.”

De esta ley directamente relacionadas con las UGAs dentro de las cuales los lineamientos construidos entorno a la regulación y estrategias mediante políticas ambientales, uso de suelo definidos, protección y restauración del medio ambiente y ecosistemas importantes.

La incorporación en las 30 UGAs, serán: las zonas de inundaciones mediante zonas funcionales en la unidad de microcuenca. Como en el caso del lineamiento 100 “Zona urbana de Qro.” presenta el “uso urbano” como “compatible”, donde son zonas bajas con

llanuras de inundación y con registros de ciclos históricos. Mismos que ayudarán al criterio de la regulación ecológica como zonas de “salvaguarda y riesgo” implícito por riesgo por inundación y el “aprovechamiento sustentable del agua y ecosistema acuáticos”. De las 30 UGAs, se tienen tres (29, 51 y 53) unidades establecidas con la misma similitud a la unidad 100 (Zona urbana de Qro.) que expresan un uso de suelo urbano compatibles con zonas de inundaciones y zonas aptas para recarga de agua.

Las unidades de uso de suelo urbano en las UGAs ya establecidas, en la zona funcional con unidades de alta permeabilidad (U1), se vuelve necesaria la protección de las llanuras de inundación y los drenes desde los de primer orden hasta los de cuarto orden, por otro lado, para el aprovechamiento de las unidades de suelo urbano de las UGAs proyectadas hacia las unidades de baja a media permeabilidad (U3), los espacios deben tomar una alternativa hacia la propuesta de ciudades verticales (Figura 37).

Las incorporaciones de las microcuencas y zonas funcionales a nivel de reglamento de las leyes, conducen a que los planes, programas y atlas de riesgo, contribuyan en materia de planear, programar y establecer zonas de protección y aprovechamiento sustentable a la microcuenca y subcuenca, con ello abonar a la conservación de los servicios ecosistémicos principalmente aquellos de regulación, relacionada con la formación de inundaciones (Figura 38).

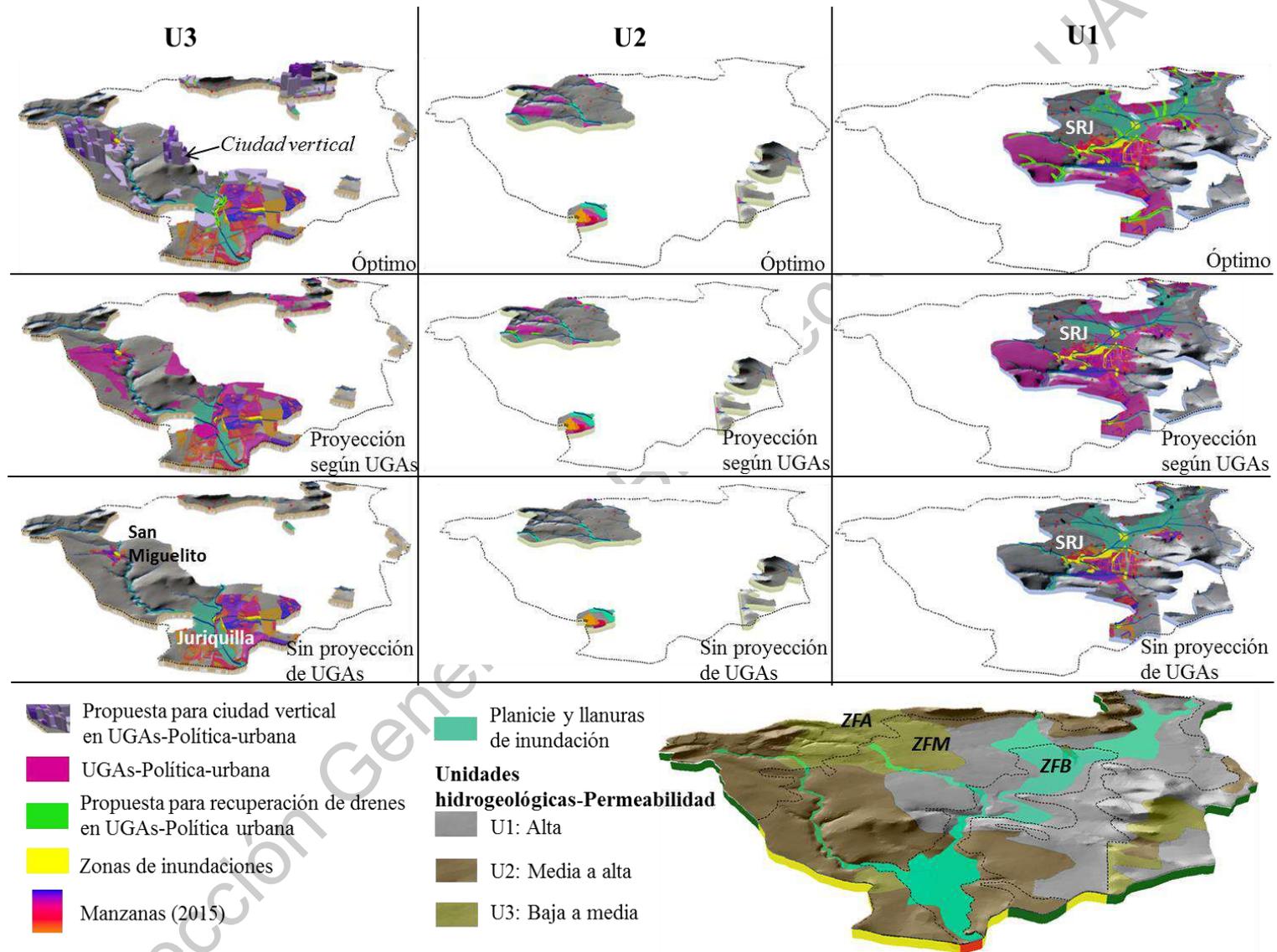


Figura 37. Proyección de los usos de suelo con base en las UGAs sobre las zonas funcionales.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2015).

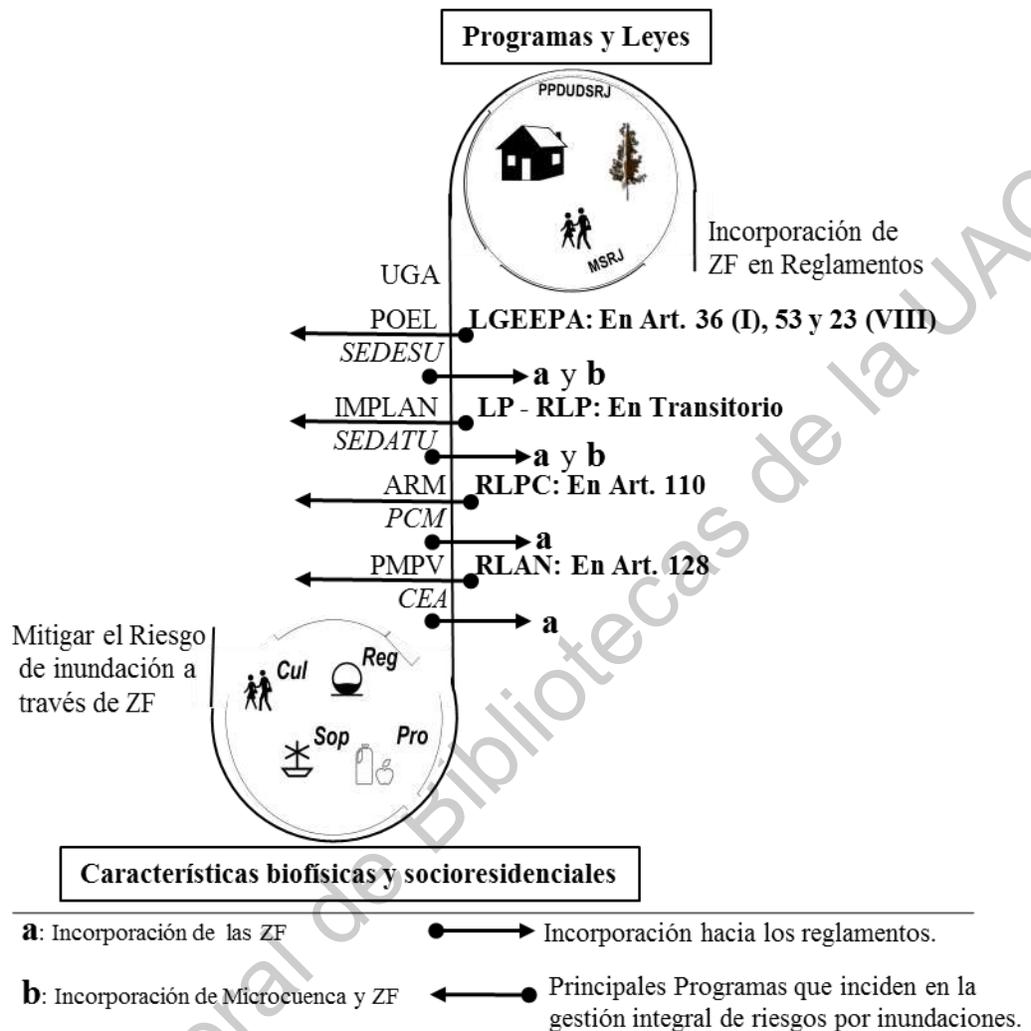


Figura 38. Estrategias no estructurales para la mitigación de riesgo por inundación.
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, las incorporaciones a nivel reglamento, los planes y programas en materia de ordenamiento como es el Plan Estatal de Desarrollo del Estado y municipio pueden incorporarse las siguientes estrategias:

- *Protección de las unidades de escurrimiento de una microcuencia.
- *Introducción de vegetación riberena.
- *Zonas inundables con delimitación de zona peligrosa correspondiente a un período de retorno de 100 años.
- *Zonas de inundación con uso de suelo urbano. Para las futuras construcciones residenciales, proyectar un nivel base o planta baja sobre una cota que no sea afectada la

avenida de flujo dentro del período de retorno de 100 años. Ni la producción de riesgo en un período de 500 años. Para las construcciones no residenciales, diseñar bajo la consideración de las cotas de inundación en un período de retorno de 100 años de tal manera que no se vean afectados por las inundaciones.

* Dentro de los asentamientos futuros de vital catástrofe como áreas industriales con vertederos químicos u hospitales deben de considerar el período de retorno de 500 años. Para evitar que los contaminantes sean dispersados en eventos de peligrosidad por la perturbación de fenómenos extraordinario de inundaciones.

* Para aminorar la susceptibilidad de los asentamientos con problemática de zonas inundables, una medida puede ser el cierre temporal de las edificaciones o las construcciones de pequeños diques en los alrededores de los asentamientos. Estas medidas involucran las Escuela Bachillerato de Santa Rosa Jáuregui, zonas en Montenegro, la zona baja de Juriquilla en la calle Independencia de la Rochera.

* Estudio económico que desglose las cantidades invertidas en atención la mitigación de riesgo por inundación a nivel microcuenca o subcuenca en un período de 30 años.

Las estrategias no estructurales apoyan al Artículo 111 de Protección Civil, donde las casas habitacionales deben estar fuera de riesgo. Así también, lo mencionado por De Alba (2009) quien menciona que una alternativa para que todas las personas tengan servicios puede considerar viable los establecimientos de departamentos y tener mejor aprovechamiento de los espacios. En el cual, preservar los espacios de zonas de recarga de agua para el acuífero, es vital para aportar agua al subsuelo.

Las estrategias no estructurales refuerzan lo escrito por Félix (2015) acerca del crecimiento vertical de la ciudad para un desarrollo sustentable. Félix menciona que los habitantes de la periferia de expansión de la ciudad, están lejos en pensar de habitar en ciudad vertical, sin embargo, en la entrevista realizada en la CEA, uno de los objetivos del establecimiento de estructuras como son los bordos, detienen los asentamientos y aprovechar los espacios ya definidos como urbanos. Esto conduce poder proyectar cuales son los espacios que no intervengan en el flujo del agua tanto superficial y subterráneo, con ello la propuesta del crecimiento vertical a través de las estrategias ya planteadas.

Las propuestas de las estrategias no estructurales están solo a nivel nacional en el Manual de Riesgo por Inundación de la CONAGUA (2013). El Plan Maestro Pluvial de la Zona Metropolitana (UAQ, 2009), solo considera lineamientos técnicos de acuerdo al Estado y Municipio para la regulación del crecimiento urbano. El Plan Estatal para la Atención de Fenómenos Hidrometeorológicos de Protección Civil del Estado de Querétaro (PCEQ, 2015), tiene como líneas de acción técnicas y de vinculación generalizada. Estos enlistan las medidas estructurales como medidas para la mitigación de riesgo por inundación, sin embargo, las estrategias no estructurales son medidas efectivas que ayudan a disminuir los impactos de las inundaciones.

CONCLUSIONES

Las inundaciones son eventos con mayor problemática a nivel mundial, donde los impactos se acentúan hacia áreas de mayor densidad poblacional asentadas en las cercanías de los ríos u ocupación de los drenes. Este trabajo encontró fundamental que la mitigación de riesgo por inundación debe realizarse bajo el funcionamiento de una microcuenca, que abarquen tanto zonas urbanas como periurbanas, donde al estudiar las zonas funcionales permite proyectar los diseños de estrategias estructurales y no estructurales para apoyar a la disminución de los impactos cíclicos del riesgo por inundaciones en las ciudades en constante crecimiento.

El trabajo analizó una aproximación integral en la identificación de riesgo por inundación a través de un análisis multicriterio, donde los parámetros principales fueron las determinaciones de zonas de inundación, los índices de vulnerabilidad y los niveles de riesgos por inundaciones en relación a las zonas funcionales de la microcuenca. La delimitación de las zonas de inundación por zonas funcionales, resaltaron las características biofísicas, donde un gran porcentaje del área de estudio ha presentado alteraciones en un periodo entre 2007 al 2020 en el uso de suelo y vegetación y donde las unidades de uso urbano y de agricultura han absorbido las áreas de vegetación nativa y con ello la ocupación de escurrimientos de primer y segundo orden, siendo en la microcuenca la zona funcional baja, donde las áreas fueron mayormente alteradas y repercutidas.

La clasificación de las zonas funcionales de la microcuenca a través de los caracteres litológicos e hidrogeológicos, permitieron conocer las características de manera horizontal y vertical de las zonas funcionales típicamente definidas geomorfológicamente, donde resaltó que la zona funcional alta en la porción oriente de la microcuenca, comúnmente definida como zona de captación, es también zona de transición debido a las características del subsuelo que son los depósitos piroclásticos. Asimismo, la zona baja geomorfológicamente definida como descarga, debido a los depósitos basálticos con conductividad hidráulica baja, es también una zona de captación y de transición. Por lo que definir las zonas funcionales a través de las características litológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas permitió conocer el funcionamiento de la microcuenca, tanto superficial como del subsuelo para evaluar las implicaciones de los asentamientos poblacionales en la desviación del flujo pluvial en temporadas de precipitaciones extraordinarias.

Al relacionar el comportamiento de los registros de precipitación máxima del período de 2006 al 2018, los datos de registros de inundaciones y las intervenciones de mitigación gubernamental, resultó un patrón repetido, que fueron las intervenciones, así como una tendencia de afectación gradual en dirección a la zona baja de la microcuenca, que continuó las inundaciones en la zona media entre 2013 al 2017 y después la zona alta en el 2014 y 2017, de no establecer estrategias para la prevención de las inundaciones a nivel microcuenca, el problema será similar a las presentadas en la ciudad Queretana, donde cada vez las inundaciones son graduales y frecuentes durante precipitaciones extraordinarias.

Los asentamientos poblacionales con mayor vulnerabilidad a inundación se acentuaron sobre las cercanías de los drenes de Santa Rosa Jáuregui y Juriquilla, donde el nivel de riesgo que prevalece es de nivel medio, sin embargo los que están en riesgo alto a muy alto como son Las Lajitas, El Pedregal, mercado de Santa Rosa Jáuregui, La Solana y San Miguelito no solo se ven afectados por el riesgo de inundaciones, si no también se vuelven puntos de zonas prioritarias debido al agua contaminada por la descarga de aguas residuales de la Delegación y por definirse como zona de recarga del agua subterránea al acuífero del Valle de Querétaro. Sin embargo, las medidas realizadas para direccionar el agua han sido enfocadas a través del encausamiento de los cauces naturales, sin considerar

los periodos de retornos de precipitaciones máximas de 30 años y 100 años dentro del margen de la llanura de inundación, por lo que las estructuras para mitigar deben ser entorno a la microcuenca.

Las estructuras de mitigación fueron ubicadas y diseñadas con material de cantos rodados para presas de gaviones, donde aún no hay una concentración de asentamientos poblacionales para el aprovechamiento de las condiciones que presentan las zonas funcionales de la microcuenca y conservar las llanuras de inundación y los drenes de la microcuenca que sirvan de prevención en la formación de las inundaciones hacia las partes bajas de la microcuenca y a la vez ayudar a la recarga de agua al acuífero y protección de los drenes.

Las estructuras para mitigación de riesgo por inundación bajo el funcionamiento de una microcuenca, mitiga de manera indirecta a las zonas susceptibles estableciendo áreas de conservación mediante la implementación de estructuras, aun cuando están definidas dentro de las UGAs como uso de suelo urbano, de aprovechamiento sustentable y de conservación.

Por otra parte las estrategias no estructurales apoyadas a través de entrevistas focales de Protección Civil Municipal, Comisión Estatal del Agua y del representante de la Colonia Solana, corroboraron que para mitigar el riesgo por inundación, las instituciones involucradas deben trabajar de manera vinculada y coordinada a través de normas y leyes que sean coherentes para su aplicación, bajo acciones y estrategias que permitan una disminución del problema continuo debido a las características de crecimiento urbano acelerado del municipio.

Dentro de las leyes e instituciones involucradas se observaron que el riesgo por inundación es un tema presente en la Ley de Protección Civil, la cual involucra a la unidad de estudio a nivel cuenca, sin embargo, la Ley de Aguas Nacionales está ausente el tema entre el agua y planeación del territorio. Solo a través del manual del control de inundaciones hace referencia de analizar el riesgo con base en la microcuenca, pero cuando se realizan los Atlas de Riesgos son elaborados a través de límites geopolíticos donde además los análisis están centrados en las zonas de concentración poblacional como son las ciudades, dejando atrás la unidad de estudio a nivel microcuenca.

Por lo tanto al direccionar las estrategias no estructurales hacia una modificación de reglamentos de la Ley de Planeación, Ley de Agua, Ley de Protección Civil, y la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al medio Ambiente, permite incorporar la unidad de estudio a nivel microcuenca y las zonas funcionales que ayuden al cumplimiento de los artículos ya establecidos como el Art. 111 de la Ley de Protección Civil, lograr los objetivos de los Atlas de riesgos, los Planes y Programas de Planeación Territorial municipal y de Delegación, así como aquellos estudios de impacto ambiental para los encauzamientos de los drenes de la microcuenca.

Las estrategias de mitigación estructurales y no estructurales servirán para conservar los escurrimientos de diferente orden, aportar agua al acuífero y disminuir la velocidad de flujos de agua hacia las partes bajas susceptibles de la microcuenca, deseando que las estrategias sean un complemento para los planes, programas y atlas de riesgo mediante la conservación de las zonas media y alta de la microcuenca con base en las características propias de las zonas funcionales de los espacios temporales del ambiente periurbano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, D. G., Zúñiga, D. F., Pacheco, A. F., Guzmán, S. M., & Nieto, O. J. (2000). El graben de Querétaro, México. Observaciones de fallamiento activo. *GEOS*, 20(1), 2-7.
- Allen, A., Dávila, J., y Hofmann, P. (2006). *So close to the city, so far from the pipes: The Governance of Water & Sanitation and Peri-urban Poor*. London, United Kingdom
- Álvarez, O. G., Morales, R. L., Cisneros, C. C., & Sustaita, R. F. (2019). La urbanización como una de las causas de la extensión de las áreas de inundación en Huajuapán de León, Oaxaca. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 23 (68), 15-21.
- Aparicio, M. F. (2005). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México, D.F.: LIMUSA.
- Arreguín, F., y Cervantes, C. (2017). Flood Risk in Mexico. En Theodore V. Hromadka II (Ed). *Flood Risk Management*. (266-271). London, United Kingdom: IntechOpen.

- AIPIN, Associazione Italiana Per la Ingegneria Naturalistica. (2003). *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni*. Perugia, Italia.
- Bouaakkaz, B., El Morjani, Z. A., Bouchaou, L., & Elhimri, H. (January, 2018). Flood risk management in the Souss watershed. En: *E3S Web of Conference*, 37, 04005. EDP Sciences. doi: 10.1051/e3sconf/20183704005
- Brindha K., & Pavelic. P. (2016). Identifying priority watershed to mitigate flood and drought impacts by novel conjunctive water use management. *Environ Earth Sci* 75 (399), 27.
- Brooks, K. N., Ffolliott P. F., Gregersen, H. M., & DeBano L. F. (1992). *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa, United State of American:AMES.
- Camarasa, B. A., & Bescos, A. A. (2000). Las inundaciones en España en los últimos veinte años. Una perspectiva geográfica. *Serie Geográfica*, 9, 219-236.
- Campos, A. D. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, México:Editorial Universitaria.
- Cardoso, M. M., & Fritschy, B A (2012). Revisión de la definición del espacio rural y sus criterios de delimitación. *Contribuciones científicas GAEA*, 24, 27-39.
- CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2019), Atlas Nacional de Riesgos. Ciudad de México: CENAPRED. Recuperado de <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- Chardon, A., y González, J. (2002). *Ejecución del componente II Indicadores para la Gestión de Riesgos*. Banco interamericano de desarrollo. Recuperado de <http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geos-2111GIS/Ref/GA4267-IdentifyingRisks.pdf>
- CONAPO, Consejo Nacional de Población. (2017), La Situación demográfica en México 2017. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/344406/SDM-2017_completo_web2.pdf
- CONAPO, Consejo Nacional de Población. (2010). Metodología de estimación del índice de marginación urbana 2010. Consejo Nacional de Población, México D.F.

- Coombes, J., Babister, M., & Mcalister, T. (2015). Is the science and data underpinning the rational method robust for use in evolving urban catchments. *Conference Paper*. 2-16. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286450093_Is_the_Science_and_Data_underpinning_the_Rational_Method_Robust_for_use_in_Evolving_Urban_Catchments
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2012). *Agenda del Agua, 2030*. México, México. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-10-12baja.pdf>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2013). *Manual para el Control de Inundaciones*. Recuperado de https://backend.aprende.sep.gob.mx/media/uploads/proedit/resources/manual_para_el_contr_d6bbce9f.pdf
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2018). *Red de estaciones climatológicas*. Ciudad de México: Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacionclimatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Cotler, H. (2007). *El manejo integral de cuencas en México*. México, SEMARNAT. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2008/06/El-Manejo-Integral-de-Cuencas-en-Mexico-segunda-edici%C3%B3n.pdf>
- Custodio E. & Llamas, M. (1983). *Hidrología subterránea*. Barcelona. Omega (2). 445-497.
- Davis, S. N. (1969). Porosity and permeability of natural materials. *Flow Through Porous Media*, ed. R. J. M. De Wiest. Academic Press, New York, pp. 53-89.
- De Alba, M. (2009). Representaciones y prácticas sociales en torno a políticas urbanas: la movilización NIMBY frente a la redensificación de las zonas centrales de la Ciudad de México. En *Cultura y representaciones sociales*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- DOF, Diario Oficial de la Federación. (20 de Noviembre 2019). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Valle de Buenavista, clave 2204 en el Estado de Querétaro, Región Hidrológico-Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico. P (10).
- Periódico Oficial del Estado de Querétaro (2014). *La Sombra de Arteaga*, p. 384.
- DIREN-PACA, Direction Régional de l'Environnement-Provence Alpes Cote D'Azur. (2007), L'approche hydrogéomorphologique en milieux méditerranéens. Une méthode de détermination des zones inondables. Recuperado de http://www.paca.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/L_approche_hydrogeomorphologique_cle71a4d9.pdf
- Dunne, T., & Leopold, L. B. (1978). *Water in environmental planning*. San Francisco, United State of America: W.H Freeman and Company.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., y Roberts, S. (2004). Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards. Recuperado de <http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geos-2111GIS/Ref/GA4267-IdentifyingRisks.pdf>
- Félix, P. A de M. (2015) *Impactos del crecimiento vertical en la expansión de la zona conurbada de Querétaro*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León
- FIRCO, Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2016). Mapa de microcuencas de México. Información vectorial.
- Forman, R. T. (2018). *Urban Regions, Ecology and Planning Beyond the City*. New York, United State of America:Cambridge.
- Flotemersch, J.E., Leibowitz, S.G., Hill, R.A., Stoddard J.L., Thoms, M.C., & Tharme, R.E. (2016). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, 32, 1654-1671. doi: 10.1002/rra.2978
- Fu J., Jang, J., Huang, C., Lin, W., & Yeh, C. (2018). Cross- Analysis of Land and Runoff Variations in Response to Urbanization on Basin, Watershed, and City Scales

- with/without Green Infrastructures. *MDPI. Water*. (10) 106, 18. doi: 10.3390/w10020106
- Gain, A. K., Giupponi, C., & Renaud, F. G. (2012). Climate change adaptation and vulnerability assessment of water resource systems in developing countries: A generalized framework a feasibility study inn Bangadlesh. *Water*, 12 (4), 345-366.
- Gallardo, P. A. (2005). *Estimación de la conductividad hidráulica del acuífero del Valle de Querétaro mediante técnicas inversas*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, L., & Hernández, J. (2015). Capacidades de respuesta de los habitantes de Santa Rosa Jáuregui al riesgo asociado a inundaciones en la ciudad de Querétaro, México. *Revista Digital CIENCIA@UAQ*, 8(2), 1-17.
- García, E. (2016). *La respuesta al riesgo asociado a inundaciones. Acciones y estrategias de los habitantes de Santa Rosa Jáuregui, Querétaro*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- García, P. (2007). *Medidas no estructurales y estructurales de defensa a inundaciones*. Escuela de Organización Industrial. Madrid, España. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20087/medidas-estructurales-y-medidas-no-estructurales-de-defensa-frente-inundaciones>
- Garrido A., Pérez D. J. L. y Guadarrama C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En Semarnat (Ed.), *Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización*. (14-17). México D. F.: Pluralia Ediciones.
- Gaspari, F.J., Rodríguez, V.A.M., Senisterra, G.E., Delgado, M.I. y Besteiro, S.I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires, Argentina: La Plata.
- Google (s.f.). (Mapa del Municipio de Querétaro, México, en Google Earth). Recuperado el 13 de noviembre, 2019.
- González, A, I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la AGEN*. 38, 311-329.

- González, E. S. (2018). Propensión de las inundaciones históricas de los últimos 100 años en Querétaro. *Revista Digital Ciencia@UAQRO*, 11 (1), 178-192
- Gunnel, K., Mulligan, M., Francis, R., & Hole, D. G. (2019). Evaluating natural infrastructure for flood management within the watersheds of selected global cities. *Science of the total environment*, 670, 411-424.
- Heathcote, I., W. (1998). *Integrated watershed management: principles and practice*. Publisher: New York, United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Helmi, H., Brasi, H., Sufardi, S., & Helmi, H. (2019). Flood vulnerability level analysis as a hydrological disaster mitigation effort in KruengJreue Sub-Watershed, Aceh Besar, Indonesia. *Journal of disaster risk studies*, 11(1). 8
- Henao, S. J. (2006). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*, Universidad Santo Tomás. Bogotá. Colombia.
- Hernández, J. A. (2011). *Inundaciones y precariedad: Adaptación y respuesta en la zona peri-urbana de la ciudad de Morelia, Michoacán*. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de México.
- Hernández, J. A. (2012). Diagnóstico de escenarios de riesgo vinculado con eventos y amenazas de origen hidrometeorológicos en el Estado de Querétaro. En UAQ y SEMARNAT (Ed.), *En Programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro* (145-169). Querétaro, México: UAQ, Facultad de Ciencias Naturales.
- Hernández, S. L., González, H. M. E., Malda, B. G., & Suzán, H. (2010). Primeras etapas de diez especies arbustivas nativas, en sitios deforestados de la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México. *CIENCIA@UAQ*, 3(2). 27-41.
- Hernández, S. (2016). El Periurbano, un espacio estratégico de oportunidad. Universidad de Barcelona. *Revista Bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 21 (1), 21.
- Hernández, G., & Vieyra, M. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano de Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace? *Revista de Geografía Norte Grande*. (47), 45-62.
- Hernández, U., Barrios, P., & Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8 (3), 5-25.

- Holbraad, M., & Pedersen A. (2009). The intense abstraction of Marilyn Strathern. *Anthropological Theory* 9 (4), 371-394. doi: 10.1177/1463499609360117
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1973), Carta edafológica. Querétaro. Escala 1:50000 Aguascalientes: INEGI. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html#Descargas>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2015). Datos vectoriales. Metadatos de cartas topográficas básicas. Claves de índice de cartas: F14C56 y F14C65.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2017). Erosión de suelos en México. *Boletín* 295, (14). 1-8.
- Jakubinsky, J., Bacova, R., Svobova, E., Kubicek, P., & Herber, V. (2014). *Small watershed management as a tool of flood risk prevention. Envolving Water Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions Proceeding of ICWRS2014*, Bologna, Italy: IAHS. Doi:10.5194/piahs-364-243-2014.
- Jáuregui, E., Aversa, M., & Salas, R. (2017). Estrategias para la mitigación del riesgo por inundación: Caso Cuenca del Arroyo Mandonado, La Plata. *Revista Urbano* (34), p. 14.
- Jha, K. A. Bloch, R. y Lamond, J. (2012). *A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. International Bank for Reconstruction and Development. Washington. Recuperado de: www.worldbank.org.
- Jiang, X., Yang, L., & Tatano, H. (2019). Assessing spatial flood risk from multiple flood sources in a small river Basin: A method based on multivariate design rainfall. *Water*, 11 (1031), 1-17.
- Lachat, B. (Septiembre, 2001). *Tendencias actuales en la restauración de cauces naturales, nociones del espacio de libertad*. XXVIII Congreso nacional de parques y jardines públicos PARJAP. Francia
- Lule, H. G. (2015). *Historic Preservation and Disaster Resilience: Flooding in Santiago de Querétaro, Mexico*. (Master Degree). The University of Texas at Austin. United State of America.
- LAN, Ley de Aguas Nacionales, (2016), Diario Oficial de la Federación 24-03-2016. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf

- LP, Ley de Planeación (2018). Diario Oficial de la Federación 16-02-2018. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/59_160218.pdf
- Marsalek, J., Jiménez, B., & Goldenfum J. A. (2007). *Urban water cycle processes and interactions*. Francia: IHP Technical Documents in Hydrology.
- Mavhura, M. (2019). Analysis drivers of vulnerability to flooding: a systems approach. *South African Geographical Journal*, 101(1), 72-90.
- Miranda, L. (2007). *Evaluación de planes de desarrollo urbano, una alternativa de planeación en microcuenca Santa Rosa Jáuregui*". (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Miranda, F., y Hernández, E. X. (1963). *Los tipos de vegetación en México y su clasificación*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28, 29-179. Recuperado de <https://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/view/1084/776>
- Morales, A. M. (2011). *Propuesta de identificación de sitios para la infiltración de agua al acuífero de Querétaro* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2016), *Urbanización y desarrollo: Futuro emergentes*. Kenia: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Recuperado de Página www.unhabitat.org
- UNIDR, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (2015). *Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe 1990-2013*. Recuperado de https://www.unisdr.org/files/48578_impactodesastresamericalatinacaribe.pdf
- Opere, A. (2013). Floods in Kenya. In: Paron, P., Ochieng-Olago, D. & Thine-Omuto, C. (eds.), *Developments in earth surface processes* (pp. 315-330). Oxford: Elsevier. Nairobi, Kenya: Elsevier.
- Palmeri, F., Silván, Calo, P., Balboni, M., y García, I. (2002). *Manual de Técnicas de Ingeniería Naturalística en Ámbito Fluvial*. Vasco, España: Administración de la Comindad Autónoma del País Vasco.

- Pineda, R. L., Domínguez, M C., Hernández, S. L. y Ventura R., E. (2005). *Microcuencas y Desarrollo sustentable: Tres casos en Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Peña, D. (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, México.
- PMDU, Programa Municipal de Desarrollo Urbano. (2017), *Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Santa Rosa Jáuregui Memoria Técnica*. Recuperado de: http://72.14.184.134/municipio/archivos/movilidad/2017_PDU_Consulta/07_PPDU_SRJ/PPDU_SRJ_Memoria_Tecnica.pdf
- PCEQ, Protección Civil del Estado de Querétaro. (2015) Plan Estatal Para la Atención De Riesgos Por Fenómenos Hidrometeorológicos. Recuperado de http://proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/swbcalendario_ElementoSeccion/730/plan_estatal_de_respuesta_lluvias_intensas_e_inundaciones_2015.pdf
- Reglamento de la Ley de Protección Civil por medio (2015). Diario Oficial de la Federación 09-12-2015. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPC_091215.pdf
- Reglamento de la Ley General Del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente En Materia en Materia de Ordenamiento Ecológico (2014). Diario Oficial de la Federación 31-10-2014. Recuperado de <http://uptapachula.edu.mx/page/wp-content/uploads/2018/03/Reglamento-de-la-Ley-general-del-equilibrio-ecol%C3%B3gico-y-la-protecci%C3%B3n-al-ambiente-en-materia-de-ordenamiento-ecol%C3%B3gico.pdf>
- Reid, L. M. (1998). Accumulative watershed effects and watershed analysis. In: Naiman, R. J. and Robert E. B. Eds. *River Ecology and Management: Lesson from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer-Verlag, Nueva York, United States of America 476-501.
- Rosgen, D. (1994). A classification of natural rivers. *Catena* 22. 169-199

- Lachat, B. (2001). Tendencias actuales en la restauración de cauces naturales. Nociones de espacio de libertad-.XXXVIII Congreso nacional de parques y jardines públicos. León. 17.
- LAN, Ley de Aguas Nacionales, (2016). Diario Oficial de la Federación 24-03-2016. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf
- Lule, H. G. (2015). *Historic Preservation and disaster resilience: Flooding in Santiago de Querétaro, México*. (Master of Science in Community and Regional Planning). University of Texas at Austin.
- Santana, H. J. R., Pérez, D. J. L Vergés, F. R., Villalobos, M. D., Méndez, L. P. A., y Navarro, S. P. A. (2017). Clasificación geomorfométrica del relieve mexicano: una aproximación morfográfica por densidad de curvas de nivel y la energía del relieve. *Investigaciones Geográficas*, 94.49-63
- Sánchez, V. (2012). Grupo focal: acceso y políticas de información. *Códice*, 8 (1), 87-105. Recuperado de http://eprints.rclis.org/19920/1/Grupo%20focal_acceso%20y%20pol%C3%ADticas%20de%20informaci%C3%B3n.pdf
- Sayers, P., Yuantuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin S., Kang, W., Yiwei C., y Le Quesne, T. (2013). *Flood risk Management. A Strategic Approach*. Paris, France. CIWEN.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano, (2018). Datos vectoriales de las cartas F14-10 y F14-C55. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>
- Schaer, C. (2015). *Governance and community responses to floods in poor peri-urban areas. The case of urban disaster risk reduction and climate change adaptation in Pikine, Senegal*. UNEP DTU Partnership.
- Shao, F. L. (2011). Assessment of flood hazard risk based on catastrophe theory in flood detention basins. *Department of Hydraulic Engineering*, Tianjin, China.
- Shen, Z., Zhong, Y., Huang, Q., & Chen, L. (2014). Identifying non-point source priority management areas in watersheds with multiple functional zones. *Water Research*, 68. 563-571

- Silvestre, S. A. (2011). *Respuesta Hidrológica de la Cuenca Urbana del Río Querétaro bajo diferentes escenarios de usos de suelo y regulación por embalses*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- SRA, Society for Risk Analysis. (2015), Risk Analysis Foundations, discussion document. recuperado de <https://www.sra.org/resources>
- Strahler, N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union*, (38), 913-920. doi:10.1029/TR038i006p00913
- Tarbuck, J. & Lutgens, K. (2005). *Ciencias de la Tierra*, Capitulo 6. 175-199. Recuperado de <http://www.xeologosdelmundo.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>.
- Taghavi M., Hasirchian M., Han M., Taghavi J., & Pirzadeh S. (2011). Basin Characteristics Impac on Flood Risk Management: A case Study of the Babol River in Iran. *The 4th IWA-ASPIRE Conference y Exhibition*. Tokyo International Forum.
- UAQ, 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>
- UMPCQ, Unidad Municipal de Protección Civil Querétaro. (2015), Atlas de riesgos del municipio de Querétaro 2015. Querétaro: Municipio de Querétaro/UMPCQ/Sigema.
- UNISDR, Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre, (2015). *Impactos de los desastres en América Latina y el Caribe 1990-2013*. Cali, Colombia: Corporación OSSO.
- Vidal, C., & Romero, H. (2010). Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. En (Pérez, L. e Hidalgo). *Concepción Metropolitano Planes, procesos y proyectos*. Santiago de Chile, Chile: SerieGEOlibros.
- Villanueva, H. H., Tovar, R. C., & Vargas, R. C. (2019). Classification of aquifers in the Mina field, Nuevo Leon, using geographic information systems. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(3), 96-123. doi: 10.24850/j-tyca-2019-03-05

- Valdés, A., & Hernández, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 60, 189-229. doi: 10.15359/rgac.60-1.7.
- Walker, L., R. MacDonald, S. McPherson, C. Barnes, C. Cipriano, G. Preston, M. Clarke, M. Chernos, D. Marcotte, C. Hopkins, & J. Byrne. (2016). *Elk River Flood Strategy*. Alberta, Canada: Elk River Watershed Alliance.
- Wright, J. M. (2000). *The Nation's Responses to Flood Disasters: A historical Account*. Tennessee, United State: Association of State Flooding Managers.
- Xu, S., Nieto-Samaniego, A., Alaniz-Álvarez, S., & Cerca-Martínez, L. (2011). Structural analysis of a relay ramp in the Querétaro graben, central Mexico: Implications for relay ramp development. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28 (2). 275-289.
- Yi, S., & Xiao, Y. (2015). The Development of Integrated Watershed Flood Risk Assessment Ontology. *International Conference on Geoinformatics*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Wuhan, China.
- Zareaian, S., & Aziz, Z. K. (2013). The role of climate factors on designing and constructing buildings (from urbanization architecture approach). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3(1). 197-200.
- Zamora, L. (2017). *Estrategias de mitigación y respuesta ante el impacto de inundaciones en la microcuenca del río Tigre, Guanajuato*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Zúñiga, E., & Magaña, V. (2017). Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico: The effect of land use cover change. *Instituto de Geografía UNAM*. 95. 1-18. doi: dx.doi.org/10.14350/rig.59465

ANEXOS

I.- Esquema de fichas de campo (A)



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



Ficha de Campo

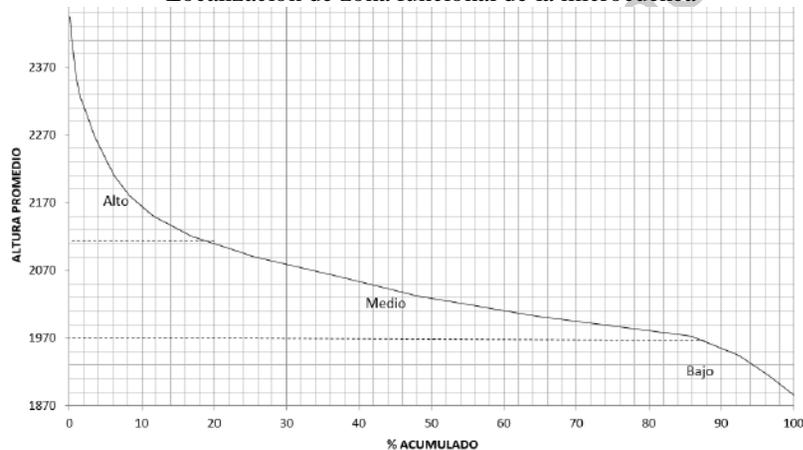
Coordenadas: X _____ Y _____ Z _____
 Colonia / Área _____
 Inundación: Si _____ No _____

Clave de ficha: _____ Fecha: ____/____/____
 Parte de la microcuenca: Alta _____ Media _____ Baja _____

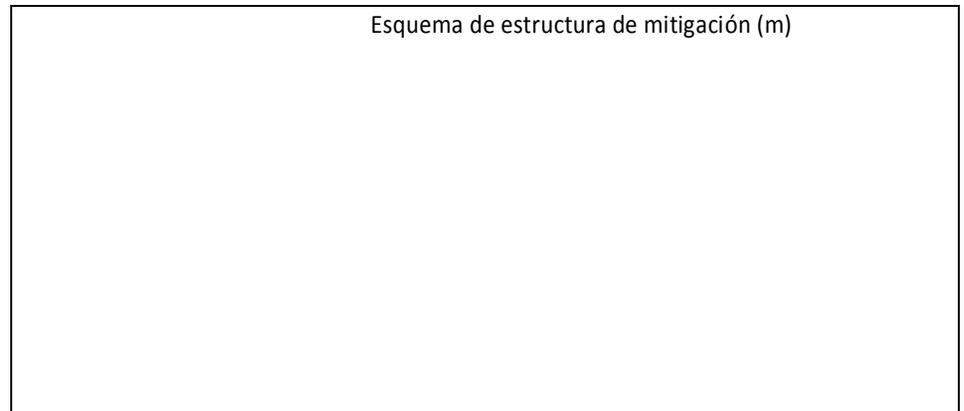
Morfología (A):	Suelo: Si__No__		Roca: Si__No__ Tipo: _____			Vegetación	Arboles:(E)	Arbustos:(F)	Hierbas:(G)
Erosión (B):	Espesor (cm)	Tipo (según carta)	Tipo de Alteración (C)	Grado de Fracturamiento (m ²)	Permeabilidad:(D)	Si__No__			
Pendiente (°):									

Objetos expuestos: Si__No__	Factores: Si__No__	Distancia al cuerpo de agua (m):	Consecuencia (K):	Otros factores de amenaza(L):	Mitigación: Si__No__
Material de construcción (H): Techo: Paredes:					
Fragilidad (I):	Ríos y cuerpos de agua (J):				Estructural (M):

Localización de zona funcional de la microcuenca



Esquema de estructura de mitigación (m)



I.- Esquema de fichas de campo (B)

(A) Tipo:
Cañada
Lomerío
Meseta
Llanura
Planicie

(B) Tipo:
Fluvial
Pluvial
Eólica
Gravitacional
Antrópica

(C) Tipo:
Falla, fracturamiento, vetillas, diaclasas
Oxidación, cloritización, caolinización, argilización y silicificación
Plantas, animales y/o antrópico

(D) Tipo:	
Porosidad (según tipo de roca)	Primaria
Fracturamiento (Diaclasas, estratificación, esfuerzos)	Secundarias
Sin porosidad, Sin discontinuidad	Impermeable

(E) Tipo :	Subtipo:	Altura (m)
Bosque tropical		
75-100%	Perennifolio	>33 = Alto
50-75%	Subperennifolio	≥25 = Medio
25-50%	Subcaducifolio	
0-25%	Caducifolio	≥15 = Bajo

(F)Tipo: Matorral espinoso	Subtipo:
66-100%	Espinoso
33-66%	Subinermes
0-33% (Sin espina)	Inermes
	Micrófilo, escrolofilo

(G) Tipo: Pastizal
Pastizal Alpino
Pastizal sabana
Resto es pastizal
Pastizal Inducido

(H)Tipo: Clasificar con materia
Escuela
Casa habitacional: autoconstruida o en serie
Centro de salud
Negocios
Industrias
Deportivo
Mercado
Oficina de delegación

(I) Material: Techo y paredes
Susceptible como cartón, madera, plástico (Alto)
Poco susceptible como block sin castillos (Medio)
Muy bajo o nulo susceptibilidad construcción concreto con pilares (Bajo)

(J)Tipo:
Dren
Arroyo
Presa
Bordo

(K)Tipo:
Desbordamiento
Acumulación de agua
Ocupación (sobre dren)

(L)Tipo:
Área de derrumbe
Zona de hundimiento
Área contaminada
Ubicación de alcantarillado

(M) Tipo :
Colocación de costales. Costales
Incremento de área afectadas. Barda
“Obra” de modificación de trayecto del agua. Estructura
Uso de otro material. Natural, industrial o combinación

II.- Entrevista a actores clave

Nombre:

Edad:

Lugar:

Cargo del entrevistado:

1. ¿Ustedes atienden cuestiones sobre riesgo por inundaciones?
2. ¿Cuentan con algún programa, plan o estrategia para mitigar inundaciones?
¿Cuáles?
Antes:
Durante:
Después:
3. ¿Cuentan con medidas de prevención de inundaciones? ¿Cuáles?
4. ¿En los alrededores de la Delegación de Santa Rosa Jáuregui, conoce las obras que se han realizado para disminuir el efecto de las inundaciones (dren, bordos u otros)? ¿Dónde?
5. ¿Conoce las obras o estructuras que han tenido problemas relacionada al funcionamiento durante las inundaciones?
6. ¿Conoce algún mapa que zonifique las áreas propensas a inundaciones? ¿Cuál?
7. ¿Dentro de los planes o programas, se han considerado información sobre las condiciones de suelo, vegetación o áreas permeables?
8. ¿Sabe de los lugares donde ocurren las inundaciones? ¿A nivel microcuenca, ciudad o delegación?
9. ¿Conoce de algunos cauces que estén ocupados por asentamientos poblacionales?
10. ¿Cómo se organizan para prevenir o reducir los riesgos por inundaciones?
11. ¿Existe un intercambio de ideas, comunicación u programa que vinculen entre los programas de la CEA, CONAGUA, Protección Civil u otras dependencias públicas que traten con el tema?
12. ¿Dentro de las estrategias establecidas en los programas o planes de manejo de las inundaciones, han contemplado materiales permeables para la construcción?
13. ¿Aproximadamente cuánto se invierte anualmente en los eventos de inundaciones?
14. ¿Considera que la situación de inundaciones en el municipio ha mejorado o empeorado? ¿por qué?
15. ¿Quiénes son las autoridades que (antes, durante o después) de ocurridos los eventos de inundaciones acuden al lugar? Y ¿cuál es la labor de cada una de ellos?

III.- Tabla de datos de campo

ID	PUNTOS	COORDENADAS EN UTM			FECHA	COLONIA/ZONA	MORFOGEOLOGÍA	EROSIÓN	PENDIENTE (°)	ESPESOR SUELO (CM)	TIPO DE SUELO
		X	Y	Z							
1	001-38	347941	2287088	1790	10/04/2019	JURICA PUEBLO	LOMERÍO BAJO	FLUVIAL, ANTRÓPICA	1	101	VERTISOL PÉLICO FINA LÍTICA
2	002-2	349269	2284926	1812	10/04/2019	AMPLIACIÓN LOMA BONITA	LOMERÍO BAJO	FLUVIAL, ANTRÓPICA	1	101	VERTISOL PÉLICO FINA
3	003-16	349476	2283591	1815	10/04/2019	TABACHINES Y DREN	LOMERÍO BAJO	FLUVIAL, ANTRÓPICA	1	101	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
4	004-35	350437	2283805	1819	10/04/2019	PASEO JURICA	PLANICIE	ANTRÓPICA	1	101	VERTISOL PÉLICO FINA
5	005-Z1	347531	2291995	1893	11/04/2019	ENTRE ACEQUIA BLANCA Y CENTRO DEPORTIVO	LLANURA DE INUNDACIÓN	FLUVIAL	5	101	VERTISOL PÉLICO FINA
6	006-12	349342	2291188	1932	11/04/2019	JURIQUILLA LAS CRUCES	LOMERÍO BAJO	ANTRÓPICA	1	101	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
7	007-13	348484	2290948	1900	11/04/2019	CONJUNTO HABITACIONAL LOMA JURIQUILLA	LOMERÍO BAJO	ANTRÓPICA	3	0	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
8	008-26	347855	2290493	1884	11/04/2019	ÁREA GOLF, AV. JURIQUILLA	PLANICIE	ANTRÓPICA	3	0	VERTISOL PÉLICO FINA LÍTICA
9	009-23	347548	2290780	1883	11/04/2019	JURIQUILLA, CALLE HACIENDA DE LA ROCHA	LLANURA DE INUNDACIÓN	FLUVIAL, ANTRÓPICA	0	0	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
10	010-Z2	348777	2290444	1919	11/04/2019	AFLORAMIENTO DE RX, PUNTO DE VERIFICACIÓN	LOMERÍO ALTO	EÓLICA	6	0	-
11	011-28	349760	2293486	1958	11/04/2019	SRJ, PASEO DE LA REPÚBLICA	LOMERÍO BAJO	ANTRÓPICA	0	101	VERTISOL PÉLICO FINA LÍTICA
12	012-5	348917	2293757	1935	13/04/2019	ARBOLEDAS	LLANURA DE INUNDACIÓN	FLUVIAL	1	99	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
13	013-Z2A	347892	2293981	1944	13/04/2019	ENTRE LINDAVISTA Y BELLAVISTA	LOMERÍO ALTO	FLUVIAL	8	10	
14	014-34	347768	2294354	1972	13/04/2019	ENTRADA A SAN MIGUELITO	PLANICIE	FLUVIAL	2	10	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
15	015-33	346743	2294913	1993	13/04/2019	REAL JURIQUILLA	PLANICIE	FLUVIAL	3	10	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
16	016-47	348508	2294530	1948	13/04/2019	SRJ, CENTRO DEPORTIVO	LLANURA DE INUNDACIÓN	FLUVIAL	0	101	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
17	017-50	349289	2294943	1956	13/04/2019	SRJ, CERCA AL PANTEÓN	LLANURA DE INUNDACIÓN	FLUVIAL	0	101	VERTISOL PÉLICO FINA
18	018-52	349681	2295130	1955	13/04/2019	SRJ, PROLONGACIÓN INDEPENDENCIA	LLANURA DE INUNDACIÓN	ANTRÓPICA	0	101	VERTISOL PÉLICO FINA
19	019-20	349715	2296149	1958	13/04/2019	SRJ, ESQUINA DE SANTA LUCÍA	LLANURA DE INUNDACIÓN	FLUVIAL, ANTRÓPICA	0	101	VERTISOL PÉLICO FINA
20	020-29	349861	2294636	1966	13/04/2019	SRJ, CALLE MARGARITA	LOMERÍO BAJO	FLUVIAL	4	10	VERTISOL PÉLICO FINA
21	021-57	349405	2294655	1951	13/04/2019	SRJ, JARDIN, ESCUELA Y MERCADO	LLANURA DE INUNDACIÓN	NA	0	0	NA
22	022-Z3	352080	2292273	2122	14/04/2019	SAN JOSÉ BUENAVISTA	LOMERÍO ALTO	EÓLICA, ANTRÓPICA	12	10	VERTISOL PÉLICO FINA LÍTICA
23	023-Z4	352091	2292884	2049	14/04/2019	SAN JOSÉ BUENAVISTA	LOMERÍO BAJO	EÓLICA, ANTRÓPICA	5	20	VERTISOL PÉLICO FINA LÍTICA
24	024-24	351304	2296228	2003	14/04/2019	MONTENEGRO	LOMERÍO BAJO	NA	4	10	VERTISOL PÉLICO FINA
25	025-Z5	350545	2296064	2016	14/04/2019	MONTENEGRO	CAÑADA	EÓLICA	18	5	VERTISOL PÉLICO FINA
26	026-Z6	353730	2297314	2010	14/04/2019	A TIERRA BLANCA	LOMERÍO BAJO	EÓLICA	4	3	VERTISOL PÉLICO FINA
27	027-Z7	348882	2299203	2027	14/04/2019	SAN ISIDRO BUENAVISTA, PRESA SANTA CATARINA	LOMERÍO BAJO	EÓLICA, ANTRÓPICA	5	10	VERTISOL PÉLICO FINA
28	028-Z8	342227	2295758	2201	14/04/2019	CASA BLANCA	MESETA	EÓLICA, ANTRÓPICA	0	4	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA
29	029-39	343686	2293713	2056	14/04/2019	SAN MIGUELITO	PLANICIE	FLUVIAL	0	3	VERTISOL PÉLICO FINA PEDREGOSA

Continuación

ID	PUNTOS	ROCA:SI/NO	ALTERACIÓN DE ROCA	ROCA FRACTURA	ROCA PERMEABILIDAD	VEG: SI/NO	ARBOLES	ARBUSTOS	HIERBAS	OBJETOS EXPUESTOS: SI/NO	MATERIAL DE TECHO
1	001-38	BASALTO QUERÉTARO	-	-	-	SI	SUBPERENNIFOLIO	ESPINOSO	-	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA	CONCRETO, LÁMINA
2	002-2	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	SUBPERENNIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL	CONCRETO
3	003-16	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	SUBPERENNIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL	CONCRETO
4	004-35	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	SUBPERENNIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL, NEGOCIOS	CONCRETO
5	005-Z1	BASALTO QUERÉTARO	-	-	-	SI	RIPARIA	PERENNIFOLIO	PASTIZAL	NO	-
6	006-12	BASALTO QUERÉTARO	-	-	-	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL, NEGOCIOS, ESCUELA	CONCRETO
7	007-13	BASALTO QUERÉTARO	-	-	-	NO	NA	NA	NA	CASA HABITACIONAL	CONCRETO
8	008-26	BASALTO QUERÉTARO	-	-	-	NO	NA	NA	NA	CASA HABITACIONAL, NEGOCIOS	CONCRETO
9	009-23	BASALTO QUERÉTARO	-	-	-	SI	RIPARIA	PERENNIFOLIO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL	CONCRETO
10	010-Z2	CALIZA-LUTITAS	OXIDACIÓN, FRACTURAMIENTO	ALTO	SECUNDARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	NA	NA
11	011-28	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	PERENNIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	NEGOCIOS	LÁMINA
12	012-5	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	RIPARIA	NO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA	LÁMINA, CONCRETO
13	013-Z2A	ANDESITA BASÁLTICA	DIACLASA	BAJO	IMPERMEABLE	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA	LÁMINA, CONCRETO
14	014-34	ANDESITA BASÁLTICA	DIACLASA	BAJO	IMPERMEABLE	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA	LÁMINA, CONCRETO
15	015-33	ANDESITA BASÁLTICA	-	-	-	SI	CADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL	CONCRETO
16	016-47	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA, ESCUELA, MERCADO	LÁMINA, CONCRETO
17	017-50	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	SI	RIPARIA	PERENNIFOLIO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA, CANCHA DEPORTIVA	LÁMINA, CONCRETO
18	018-52	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	NO	NA	NA	NA	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA,	LÁMINA, CONCRETO
19	019-20	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	NO	NA	NA	NA	CASA HABITACIONAL, INDUSTRIA	LÁMINA, CONCRETO
20	020-29	DEPÓSITO LACUSTRE Y FLUVIAL	-	-	-	NO	NA	NA	NA	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA	LÁMINA, CONCRETO
21	021-57	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA, ESCUELA, MERCADO	LÁMINA, CONCRETO
22	022-Z3	TOBA RIOLÍTICA	ARGILIZACIÓN	ALTO	PRIMARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	NA	NA
23	023-Z4	TOBAS PIROCLÁSTICOS DE CAÍDA LIBRE	VITRIFICACIÓN	ALTO	PRIMARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	SUBINERME	PASTIZAL	NA	NA
24	024-24	TOBA RIOLÍTICA	ARGILIZACIÓN	ALTO	PRIMARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA, ESCUELA	LÁMINA, CONCRETO
25	025-Z5	BASALTO ANDESÍTICO	DIACLASA	BAJO	SECUNDARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	CASA HABITACIONAL AUTOCONSTRUIDA	NA
26	026-Z6	TOBAS PIROCLÁSTICOS DE CAÍDA LIBRE	VITRIFICACIÓN	ALTO	PRIMARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	NA	NA
27	027-Z7	TOBA RIOLÍTICA	DIACLASA	MEDIA	IMPERMEABLE	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	NA	NA
28	028-Z8	TOBAS PIROCLÁSTICOS DE CAÍDA LIBRE	VITRIFICACIÓN	MEDIA	PRIMARIA	SI	SUBCADUCIFOLIO	ESPINOSO	PASTIZAL	NA	NA
29	029-39	BASALTO ANDESÍTICO	DIACLASA	BAJO	SECUNDARIA	SI	RIPARIA	SUBINERME	PASTIZAL	NA	NA

Continuación

ID	PUNTOS	MATERIAL DE PARED	FRAGILIDAD	FACTOR: SI/NO	RÍO/CUERPO DE AGUA	DISTANCIA AL CUERPO DE AGUA (M)	CONSECUENCIA	OTRA AMENAZA	MITIGACIÓN: SI/NO
1	001-38	BLOCK	POCO SUSCEPTIBLE	SI	RÍO JURICA	4	DESBORDAMIENTO	ÁREA DE DERRUMBE	SI
2	002-2	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO JURICA	4	DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA	NO
3	003-16	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO JURICA	100	DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA	NO
4	004-35	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO JURICA	800	DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA	NO
5	005-Z1	-	-	SI	RÍO JURICA	OCUPACIÓN	DESBORDAMIENTO	DERRUMBE	SI
6	006-12	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	NO	RÍO JURICA	1000	-	HUNDIMIENTOS	NO
7	007-13	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	NO	-	-	-	NO	NO
8	008-26	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO JURICA	200	DESBORDAMIENTO	NO	NO
9	009-23	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO JURICA	OCUPACIÓN	DESBORDAMIENTO	NO	SI
10	010-Z2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
11	011-28	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	DREN	OCUPACIÓN	ACUMULACIÓN	BASURA	SI
12	012-5	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	DREN	4	DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA	SI
13	013-Z2A	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	DREN	200	ARRASTRE DE MATERIAL	AGUA CONTAMINADA Y DE DERRUMBE	NO
14	014-34	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO SAN ISIDRO	OCUPACIÓN	ARRASTRE DE MATERIAL	BASURA Y AGUA CONTAMINADA	SI
15	015-33	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	RÍO SAN ISIDRO	4	DESBORDAMIENTO	NO	NO
16	016-47	BLOCK	POCO SUSCEPTIBLE	SI	RÍO EL GATO	4	ACUMULACIÓN Y DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA, INSEGURIDAD	SI
17	017-50	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	SI	CANAL	4	ACUMULACIÓN Y DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA, INSEGURIDAD	SI
18	018-52	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	NO	NA	NA	ACUMULACIÓN	NO	SI
19	019-20	BLOCK	MUY BAJA A NULA SUSCEPTIBILIDAD	NO	NA	NA	ACUMULACIÓN	AGUA CONTAMINADA	SI
20	020-29	BLOCK	POCO SUSCEPTIBLE	SI	DREN	OCUPACIÓN	ACUMULACIÓN Y DESBORDAMIENTO	NO	SI
21	021-57	BLOCK	POCO SUSCEPTIBLE	NO	RÍO EL GATO	OCUPACIÓN	ACUMULACIÓN Y DESBORDAMIENTO	AGUA CONTAMINADA	SI
22	022-Z3	NA	NA	NA	ARROYO LA CHINITA	600	NA	NA	NA
23	023-Z4	NA	NA	NA	ARROYO LA CHINITA	10	NA	NA	NA
24	024-24	BLOCK	POCO SUSCEPTIBLE	SI	DREN	OCUPACIÓN	ARRASTRE DE MATERIAL	NO	SI
25	025-Z5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
26	026-Z6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
27	027-Z7	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA
28	028-Z8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
29	029-39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Continuación

ID	PUNTOS	MITIGACION:SI/NO MATERIAL	ZFM	INUNDACIÓN: SI/NO	OBSERVACIONES
1	001-38	COSTALES, INCREMENTO DE BARDA	BAJA	SI	DEPÓSITOS ALUVIALES. EN RÍO VARIABILIDAD TAMAÑO DE CANTOS RODADOS
2	002-2	-	BAJA	SI	NO SE OBSERVÓ AFLORAMIENTO. SOLO SUELO
3	003-16	-	BAJA	SI	NO SE OBSERVÓ AFLORAMIENTO. SOLO SUELO
	004-35	-	BAJA	SI	NO SE OBSERVÓ AFLORAMIENTO. SOLO SUELO
5	005-Z1	MURO DE CONTENCIÓN	BAJA	NO	NO SE OBSERVÓ AFLORAMIENTO, SEGÚN BIBLIOGRAFÍA ROCAS DE ANDESITAS BASÁLTICAS
6	006-12	-	MEDIA	SI	NO SE OBSERVÓ AFLORAMIENTO
7	007-13	-	MEDIA	SI	TOPOGRÁFICAMENTE ES EL PASO DE UN DREN
8	008-26	-	BAJA	SI	SE OBSERVABA MARCA DE HUMEDAD EN LAS PAREDES
9	009-23	DESOCUPACIÓN	BAJA	SI	APARENTEMENTE, DESOCUPARON UNA PROPIEDAD
10	010-Z2	NA	MEDIA	NO	CALIZA CON LUTITAS MUY ALTERADAS Y OXIDADAS. SE CONSIDERA DE PERMEABILIDAD ALTA
11	011-28	OBRA ESTRUCTURAL	BAJA	SI	MODIFICACIÓN DE OBRA. OCUPACIÓN DE DRENES, SE CONJUNTAN DOS DRENES.
12	012-5	OBRA ESTRUCTURAL	BAJA	SI	DEJÓ DE INUNDARSE HACE DOS A TRES AÑOS
13	013-Z2A	NA	MEDIA	NO	CERCA A LA ZONA, COMENTA QUE EN TIEMPOS DE LLUVIA AL AGUA ARRASTRA SEDIMENTOS
14	014-34	OBRA ESTRUCTURAL	BAJA	SI	SE OBSERVÓ QUE ES LA MISMA ROCA, ANDESITA BASÁLTICA
15	015-33	NA	MEDIA	SI	CON BASE A ANTECEDENTES, SE INUNDA, PERO POR CARACTERÍSTICAS NO
16	016-47	OBRA ESTRUCTURAL Y LIMPIEZA	BAJA	SI	EL ÁREA DE INUNDACIÓN AFECTA A ESCUELA, MERCADO. EN EL MARGEN DERECHO HAY ACUMULACIÓN DE AGUA
17	017-50	OBRA ESTRUCTURAL Y LIMPIEZA	BAJA	SI	HAY ALCANTARILLAS, SE OBSERVÓ QUE HAN REALIZADO LIMPIEZA
18	018-52	OBRA ESTRUCTURAL Y LIMPIEZA	BAJA	SI	LAS TUBERÍAS PARA PASO DEL AGUA SON DE DIÁMETRO ANGOSTO
19	019-20	OBRA ESTRUCTURAL Y LIMPIEZA	BAJA	SI	ACUMULACIÓN DE AGUA, PUEDE OCUPARSE COMO ÁREA VERDE. SE OBSERVÓ CASA HABITACIÓN ABANDONADA
20	020-29	COSTALES, INCREMENTO DE BARDA	BAJA	SI	LO ASENTAMIENTOS ESTÁN SOBRE EL PASO DE UN DREN.
21	021-57	OBRA ESTRUCTURAL Y LIMPIEZA	BAJA	SI	LA ZONA ESCUELA, MERCADO Y JARDÍN, SON AFECTADOS POR LA ACUMULACIÓN Y DESBORDE
22	022-Z3	NA	ALTA	NO	TOBA ALTAMENTE ALTERADA, ES PERMEABILIDAD PRIMARIA
23	023-Z4	NA	ALTA	NO	ALTAMENTE PERMEABLE
24	024-24	OBRA ESTRUCTURAL	MEDIA	SI	LA ZONA ESTA EN PENDIENTE, ESTO HACE QUE EL AGUA ARRASTRE SEDIMENTOS. INCREMENTA LA BANQUETA
25	025-Z5	NA	ALTA	NO	LA ZONA ES DE BAJA PERMEABILIDAD
26	026-Z6	NA	MEDIA	NO	ALTAMENTE PERMEABLE
27	027-Z7	NA	ALTA	NO	LA TOBA RIOLÍTICA ES IMPERMEABLE, POR SER ROCA SANA
28	028-Z8	NA	ALTA	NO	ALTAMENTE PERMEABLE
29	029-39	NA	MEDIA	SI	LA ZONA ES DE BAJA PERMEABILIDAD