

Análisis socio-ambiental de servicios ecosistémicos urbanos.
El caso de la microcuenca Colinas de Santa Cruz del
municipio de Querétaro

2021

Josué Gómez
Sandoval



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Análisis socio-ambiental de servicios
ecosistémicos urbanos. El caso de la
microcuenca Colinas de Santa Cruz del
municipio de Querétaro

Tesis

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

Presenta

Josué Gómez Sandoval

Dirigido por

Mtro. José Carlos Dorantes Castro

Querétaro, Qro. a noviembre 2021



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

**Análisis socio-ambiental de servicios ecosistémicos urbanos. El caso de la
microcuenca Colinas de Santa Cruz del municipio de Querétaro**

T E S I S

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Josué Gómez Sandoval

Dirigido por

Mtro. José Carlos Dorantes Castro

Mtro. José Carlos Dorantes Castro
Presidente

Dr. Francisco Raúl Pineda López
Secretario

Mtro. Hugo Luna Soria
Vocal

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero
Suplente

Dr. Victor Hugo Cambrón Sandoval
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Noviembre 2021
México

Resumen

La superficie terrestre está ocupada de varias maneras, y se encuentra delimitada naturalmente por cuencas, las cuales brindan una serie de servicios gracias a sus ecosistemas. Al modificarlos, éstos se degradan y cambian su capacidad para proveer servicios. Esto se da generalmente por su inadecuado uso. Sobre la zona occidental de la ciudad de Querétaro, se encuentra la microcuenca Colinas de Santa Cruz, con una transformación por el proceso de industrialización modificando su estructura y funciones. El impacto del cambio de uso de suelo por urbanización, ha alterado los servicios ecosistémicos de la microcuenca como la regulación hidrológica y la cobertura vegetal. Con el objetivo de elaborar un diagnóstico socio-ambiental de servicios ecosistémicos urbanos a través de enfoque de cuencas, se usó un método mixto cuantitativo-cualitativo, con dos etapas: realizar una exploración biofísica para conocer la oferta y demanda del control de escorrentía y cobertura vegetal; y explorar cualitativamente la microcuenca, sus políticas públicas y la percepción de la población sobre su entorno. En cuanto a lo biofísico se obtuvo que la cobertura vegetal tiene una degradación alta, ya que solo representa un 10% de la superficie de la microcuenca, contra un 90% de urbanización y suelos de concreto, pavimento, adoquín y empedrado. Sobre el control de escorrentía se obtuvieron volúmenes de escurrimiento de un máximo de 70 m³/s en unidades de escurrimiento, ubicadas en los puntos donde se presentan afectaciones anuales de encharcamientos, ingreso de agua a las viviendas de la zona baja, y creación de avenidas torrenciales de gran volumen y velocidad en la zona media. En cuanto a la búsqueda cualitativa se obtuvo por un lado que el abordaje de SEU en los planes es de baja calidad, mención y profundidad. La percepción de las personas sobre su espacio es variado, aunque es importante señalar aquellas que presentan problemáticas constantes por eventos hidrometeorológicos, las cuales están dispuestas a pagar para que se conserven y mejoren los SEU sobre todo el relacionado con el control de escorrentía pluvial. Por último, es necesario que a través de políticas públicas inclusivas en materia socio-ecosistémica, se puedan

aportar soluciones a las problemáticas antes descritas, contemplando y generando información con calidad, profundidad y sentido humano.

Palabras clave: *servicios ecosistémicos, microcuenca, periurbanización.*

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Summary

The land surface is occupied in various ways, and is naturally delimited by basins, which provide a series of services thanks to their ecosystems. By modifying them, they degrade and change their ability to provide services. This is generally due to its inappropriate use. On the western part of the city of Querétaro, is the Colinas de Santa Cruz micro-watershed, with a transformation due to the industrialization process modifying its structure and functions. The impact of the change in land use due to urbanization has altered the ecosystem services of the micro-basin, such as hydrological regulation and vegetation cover. In order to develop a socio-environmental diagnosis of urban ecosystem services through a watershed approach, a mixed quantitative-qualitative method was used, with two stages: carry out a biophysical exploration to know the supply and demand of runoff control and coverage. vegetable; and qualitatively explore the watershed, its public policies and the population's perception of its environment. In terms of biophysics, it was obtained that the vegetation cover has a high degradation, since it only represents 10% of the surface of the micro-watershed, against 90% of urbanization and concrete, pavement, cobblestone and cobblestone soils. Regarding runoff control, runoff volumes of a maximum of 70 m³/s were obtained in runoff units, located at the points where there are annual flooding effects, and the entry of water to homes in the lower area, and creation of torrential avenues of great volume and speed in the middle zone. Regarding the qualitative search, it was obtained, on the one hand, that the SEU approach in the plans is of low quality, mention and depth. People's perception of their space is varied, although it is important to point out those that present constant problems due to hydrometeorological events, which are willing to pay for the SEU to be conserved and improved, especially that related to storm runoff control. Finally, it is necessary that through inclusive public policies in socio-ecosystemic matters, solutions can be provided to the problems described above, contemplating and generating information with quality, depth and human meaning.

Keywords: ecosystem services, micro-watershed, periurbanization

DEDICATORIA

A mis padres Micaela y Heriberto por el gran apoyo que me han dado a lo largo de la vida, por sus consejos, sus enseñanzas, por siempre apoyarme en las decisiones que tomo, y por todo su infinito amor.

A mi abuelita Cruz Duran quien me ha apoyado incondicionalmente todo este tiempo, por siempre estar ahí.

A ti Caramelo que sin saberlo siempre estuviste aquí a mi lado, acompañándome en este camino.

Dirección General de Bibliotecas UAG

AGRADECIMIENTOS

A los integrantes de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas por permitirme ser parte de este excelente programa, así como a la Universidad Autónoma de Querétaro, quienes permitieron que el proceso y finalización de esta investigación fuera satisfactoria.

A CONACYT por apoyarme económicamente para la realización de esta investigación.

A Carlos Dorantes Castro quien ha creído en mí, quien siempre ha sido una buena persona en todos los ámbitos, por ser un ejemplo para mí.

A Juan Alfredo por guiarme en este camino, cuando estaba perdido y tuvo el tiempo de explicarme y de hacerme dudar, grandes enseñanzas las que me llevo, sobre todo el cómo ser una gran persona.

A Raúl Pineda por mostrarme el gran universo de la investigación científica, por siempre apoyarme y creer en mí, me llevo extraordinarias enseñanzas y momentos.

A Hugo Luna por siempre dudar y hacerme ver mis errores, por ser sincero y duro en sus comentarios, que me han enseñado a ser un mejor investigador y persona.

A Victor Hugo por ser parte de mis sínodos, y por enseñarme hasta donde puedes llegar con tu trabajo.

A todos los profesores de la MAGIC por tan buenas clases y compañía, a Laurita por toda su ayuda y por ser siempre tan buena persona.

A mis amigos de generación, a mis nuevos colegas que sin su compañía, risas y esencias este camino no hubiera sido el mismo, fueron un gran pilar de apoyo durante este tiempo Paola, Mariana, Megan, Hugo y Edgar los tqm.

Índice

Pág.

Introducción	1
Objetivo general	7
Objetivos particulares	7
Capítulo 1. Marco conceptual	8
Servicios ecosistémicos urbanos en cuencas urbanas	8
1.1. Servicios de los ecosistemas.....	8
1.2. Servicios ecosistémicos urbanos.....	11
1.3. Cuencas urbanas y la modificación de su estructura y funciones	12
1.4 Manejo de cuencas urbanas y el riesgo hidrometeorológico-climático.....	14
1.5 Servicios ecosistémicos urbanos: Algunos antecedentes	18
1.6. Conclusiones finales del capítulo.....	23
Capítulo 2. Métodos y herramientas	25
2.1 Microcuenca de estudio Colinas de Santa Cruz.....	25
2.2 Proceso metodológico	27
2.3 Exploración biofísica.....	29
2.3.1 Morfometría	29
2.3.2 Uso y tipo de suelo	30
2.3.3 NDVI.....	30
2.3.4 Zonas funcionales	31
2.3.5.1 Polígonos de Thiessen	32
2.3.5.2 Análisis de estaciones meteorológicas	32
2.3.5.3 Balance hídrico.....	33
2.4 Búsqueda cualitativa	36

2.4.1 Abordaje de SEU en los planes urbanos del municipio y dentro de la microcuenca CSC	36
2.4.2 Definición de usuarios y necesidades	38
Capítulo 3. Resultados y consideraciones finales	42
3.1 Exploración biofísica.....	42
3.1.1 Morfometría	42
3.1.2 Zonas Funcionales de la microcuenca.....	43
3.1.3 Reconocimiento de cobertura vegetal con NDVI.....	45
3.1.5 Análisis de vegetación	53
3.1.5.1 Vigor de la vegetación	53
3.1.5.2 Vegetación infrarroja.....	57
3.1.5.3 Presencia de la vegetación.....	60
3.1.6.1 Polígonos de Thiessen	64
3.1.6.2 Tiempo de concentración	65
3.1.6.3 Balance hídrico.....	66
3.1.6.4 Caudal diseño.....	68
3.2.2 Amplitud	74
3.2.3 Profundidad y acciones relacionadas con los SEU en los planes urbanos del municipio de Querétaro	80
3.2.4 Abordaje de planes urbanos dentro de la MCSC	87
3.3 Definición de usuarios y necesidades.....	89
3.3.1 Entendimiento del entorno.....	89
3.3.2 Etnografía de la Zona baja	89
3.3.3 Etnografía de la Zona media.....	90
3.3.4 Determinación de puntos susceptibles a riesgo de avenidas torrenciales....	92
3.3.5 Encuestas.....	95

3.3.6 Cobertura vegetal	96
3.3.7 Escorrentía	98
3.3.8 Espacio público y participación social	103
4. Discusión	108
5. Reflexiones finales y recomendaciones	110
6. Estrategias.....	114
Referencias bibliográficas.....	120
Anexos	129

Dirección General de Bibliotecas UAO

Índice de figuras

Pág.

Figura 1. Ubicación Microcuenca Colinas de Santa Cruz municipio de Querétaro.....	27
Figura 2. Proceso metodológico para analizar los SEU de la microcuenca Colinas de Santa Cruz.....	28
Figura 3. Zonas funcionales de la MCSC.....	45
Figura 4. Índice de vegetación de diferencia normalizada para la MCSC.....	47
Figura 5. Superficies de la MSCS.....	49
Figura 6. Rangos de NDVI entre 0.60 y 0.89 en la zona baja de la MSCS.....	50
Figura 7. Rangos de NDVI entre 0.60 y 0.89 en la zona media de la MSCS.....	51
Figura 8. Rangos de NDVI entre 0.60 y 0.89 en la zona alta de la MSCS.....	52
Figura 9. Análisis del vigor en la cobertura vegetal de la microcuenca marzo 2020.....	56
Figura 10. Análisis del vigor en la cobertura vegetal de la microcuenca mes de octubre 2020.....	57
Figura 11. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar el infrarrojo del mes de marzo.....	59
Figura 12. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar el infrarrojo de octubre.....	60
Figura 13. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar la vegetación de marzo 2020.....	62
Figura 14. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar la vegetación de octubre 2020.....	63
Figura 15. Polígonos de Thiessen.....	65
Figura 16. Aspectos climáticos.....	68
Figura 17. Unidades de escurrimiento de la MCSC.....	70
Figura 18. Cauces principales y Unidades de Escurrimiento.....	71
Figura 19. Indicador de puntaje de amplitud de inclusión de al menos un SEU.....	74
Figura 20. Indicador de puntaje de amplitud.....	76
Figura 21. Calidad en general de la inclusión de SEU.....	79
Figura 22. Indicador de puntuación de profundidad.....	82
Figura 23. Número de acciones que abordan cada ES.....	84
Figura 24. Delegaciones que se encuentran dentro de la MSCS.....	89
Figura 25. Avenida de las fuentes.....	91
Figura 26. Mapa de puntos susceptibles a inundación y avenidas torrenciales señalados por los encuestados y en la revisión hemerográfica virtual.....	95
Figura 27. Puntos de percepción de temperatura y características de la cobertura vegetal.....	97
Figura 28. Tipo de encharcamientos sobre las zonas funcionales de la MCSC.....	100
Figura 29. Puntos susceptibles a inundación y avenidas torrenciales dentro de la MCSC.....	101
Figura 30. Participación de la población para conservar la cobertura vegetal.....	105

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Coeficiente de escorrentía para zonas urbanas	33
Tabla 2. Ficha de observación no participante	36
Tabla 3. Morfometría de la microcuenca	40
Tabla 4. Áreas de superficies y rangos NDVI zona baja	46
Tabla 5. Áreas de superficies y rangos NDVI zona media	47
Tabla 6. Áreas de superficies y rangos NDVI zona alta	48
Tabla 7. Precipitación media anual MCSC	60
Tabla 8. Tiempo de concentración	62
Tabla 9. Caudal pico por Unidad de escurrimiento.	65
Tabla 10. Tiempo de concentración y longitud del cauce principal por UE.	66
Tabla 11. Análisis de la frecuencia de mención	69
Tabla 12. Análisis de la mención	71
Tabla 13. Análisis de la calidad de inclusión.	73
Tabla 14. Análisis de profundidad información base	75
Tabla 15. Análisis de profundidad objetivos	76
Tabla 16. Análisis de las acciones abordadas en cada plan	78
Tabla 17. Acciones en función del tipo de intervención propuesta	80
Tabla 18. Tipología, área y herramienta de implementación PPDDFOS.	82
Tabla 19. Afectaciones registradas en la MCSC durante 1 año (2020-2021).	87
Tabla 20. Acciones y ventajas del aumento y conservación de la cobertura vegetal y control de la escorrentía	109
Tabla 21. Acciones y ventajas de Incentivar políticas públicas desde el enfoque de cuenca	111

Introducción

Hoy en día las áreas urbanas enfrentan desafíos ambientales, por lo que es necesario mejorar su sostenibilidad, resiliencia y habitabilidad (MEA, 2005). La urbanización crea modificaciones en el espacio geográfico, dando como resultado diferentes formas y estructuras usadas para el beneficio social, las cuales alteran la adecuada provisión de servicios ecosistémicos de calidad y cantidad en las cuencas urbanas (FAO, 2007). La superficie terrestre se encuentra ocupada de varias maneras, una de ellas es la urbana donde se concentra gran parte de la población mundial, este espacio geográfico se encuentra delimitado naturalmente por cuencas, por lo que toda la humanidad sea en espacios urbanos o rurales habita dentro de una (Agredo, 2013). Las cuencas brindan una serie de servicios según sea su estructura, en zonas urbanas son importantes para reducir los eventos climáticos y ambientales como avenidas torrenciales, inundación, incremento de temperatura, contaminantes, presión al drenaje urbano, entre otras (Bolund y Hunhammar 1999; Pataki *et al.* 2011).

En este contexto, las ciudades ya no son puntos independientes en el paisaje, sino que son parte de ecosistemas conectados hidrológicamente; o sea cuencas (Sujay *et al.*, 2012). Las cuales se definen por las divisiones topográficas de mayor altitud, lo que ocasiona una recolección natural de la precipitación, la cual se dirige hacia un punto en específico como un arroyo, río, humedal o cuerpo de agua (Langbein y Iseri, 1960; Dingman, 2002; Brutsaert, 2005). Se considera que la cuenca urbana es una unidad de drenaje que va hacia un río o dren, y pasan dentro de regiones metropolitanas (Rutherford, 2006).

La modificación en la cabecera de la cuenca es un cambio recurrente en ecosistemas urbanos. Explicado esto, podemos observar que las elevaciones sobre el terreno de un área urbana producen que los límites de las cuencas urbanas no se comparen con las de una cuenca natural, ya que tienen una pendiente y nivelación diferentes (Parece y Campbell, 2015).

Así, una cuenca urbana es aquella que cuenta con una serie de elementos urbanos que influyen en la escorrentía, la cual fluye desde cada elemento ya sea desde la mitad de una calle o callejón siguiendo su camino hasta la salida de la cuenca (Korgaonkar *et al.*, 2018).

Una de las problemáticas derivadas de lo descrito anteriormente, es el cambio en el uso de suelo, que tiene un considerable efecto en la escorrentía superficial de una cuenca; esto por el aumento de superficies selladas como techos, estacionamientos y carreteras (Korgaonkar *et al.*, 2018). Por ejemplo, en una cuenca altamente urbanizada la infiltración es del 0 % al 10 % y la escorrentía aumenta hasta el 90 % o 100 % (Trapote, 2016). Además, esto ocasiona una alteración en las características químicas y físicas de los cuerpos de agua en las partes bajas, por el arrastre de contaminantes (Parece y Campbell, 2015).

En otra escala, el cambio climático ha producido un aumento en la intensidad de precipitación en algunas regiones (Jefferson *et al.*, 2017), esto porque al eliminar la vegetación, como consecuencia del cambio de uso de suelo, se incrementa la escorrentía; dando como resultado mayor frecuencia de inundaciones. Aunado al sellamiento se limita la infiltración, evapotranspiración, calidad de agua, recarga de aguas subterráneas, aumento de temperatura y pérdida de hábitats en cuencas urbanas (Sisay *et al.*, 2017).

Al modificar los ecosistemas dentro de una cuenca, éstos se degradan y cambian su capacidad para proveer servicios (Smith, de Groot, Perrot-Maître, & Bergkamp, 2006). Podemos entonces definir que las cuencas forman un complejo mosaico de ecosistemas, naturales y manejados (Cotler, 2010). Según el World Bank (2012) en los siguientes 30 años aumentará la vulnerabilidad y disminuirá la calidad de vida de la población urbana, por riesgo ante los cambios asociados al cambio climático como aumento de escorrentía, temperatura y contaminación de aire.

Por lo que la naturaleza está siendo redescubierta de varias formas dentro de las ciudades (Jefferson *et al.*, 2017). Se han creado diversas conceptualizaciones acerca de los beneficios de servicios y funciones que los ecosistemas brindan a las personas, para contrarrestar estos cambios en el espacio urbano (Valencia, 2019). Dentro de ellas podemos hallar los llamados servicios ecosistémicos urbanos (Pickett *et al.*, 2001), los cuales se integran por lotes baldíos, parques, cementerios, patios y jardines, parcelas urbanas, bosques nativos, praderas, cañadas, humedales, ríos, lagos y estanques (EEA, 2011). Su importancia radica en la prestación de servicios de impacto directo como el control de escorrentía, el control de temperatura o el control de calidad del aire (Bolud y Hunhammar, 1999). El control de escorrentía por precipitación pluvial, se basa en prevenir o mitigar la acumulación de agua ante eventos hidrometeorológicos (Haines- Young y Potschin 2018). El control de temperatura se basa en el volumen de sombra que aporta la cobertura vegetal (Crossman *et al.*, 2013).

Es por eso que los servicios ecosistémicos urbanos (SEU) funcionan a diferentes escalas y al estudiar su función, se puede aumentar la comprensión de la dinámica del ecosistema urbano (Elmqvist *et al.*, 2013; Haase *et al.*, 2014; Gómez Y Barton, 2013). El uso del concepto de servicios ecosistémicos urbanos en la gestión de la ciudad, puede desempeñar un papel fundamental en la reconexión de la ciudad a la biosfera, y en la reducción de la huella y deuda ecológica de las ciudades, al tiempo que mejora la resiliencia, la salud y bienestar de sus habitantes (Gómez *et al.*, 2013).

Diversas aportaciones de diferentes disciplinas han creado percepciones, donde se reconoce que las leyes de la naturaleza no se derogan en el interior de los límites urbanos. La urbanización es cada vez más reconocida como un agente perturbador que modifica, pero no excluye su entorno físico y natural (Platt, 2006). Produce numerosos cambios en el entorno natural como climatológicos, sedimentológicos,

y un considerable efecto en las características hidrológicas de una cuenca (Sisay *et al.*, 2017).

Por ejemplo, la urbanización ha producido un cambio en la estructura y funciones de las cuencas que componen la República Mexicana y por ende la diversidad de ecosistemas que hay dentro de este espacio geográfico, de igual manera ha impulsado el desarrollo económico y concentración de personas en núcleos urbanos. Fue a lo largo del siglo XX cuando la capital detonó el desarrollo de ciudades a su alrededor, como la de Querétaro, que tiene su historia después de la conquista (Ohmstede, 2008). Comenzó su crecimiento poblacional en 1970, donde se contaba con 140 mil habitantes y su traza no había cambiado después de mucho tiempo, pero en sólo 20 años experimentó una notable expansión urbana que la hizo crecer sobre las tierras de riego y recarga acuífera que la rodean (Frías, 2020). De acuerdo con estimaciones de CREA, para el año 2019 se cuenta con aproximadamente 1, 487,055 habitantes y 399,968 hogares. (Frías, 2020). Esto se traduce en diversas problemáticas como aumento de temperatura, limitación de servicios básicos y riesgos hidrometeorológicos.

Sobre la zona occidental de la ciudad de Querétaro, se encuentra la microcuenca Colinas de Santa Cruz (CSC), con sectores económicos secundarios y terciarios. Cuenta con un 86.5 % de área urbanizada. Su hidrología se conecta al dren el Arenal que trae el agua pluvial de la zona occidental de microcuencas para después llevarla hacia el estado de Guanajuato, conectándose con la cuenca del Río Laja y después con la subcuenca del Río Apaseo, pertenecientes a la región hidrológica Lerma-Santiago que desemboca en el mar Pacífico (Méndez *et al.*, 2020).

El área donde se ubica la microcuenca ha sido transformada por completo, el proceso de industrialización de esta zona generó la creación de vivienda popular en las cercanías de la zona industrial, modificando la estructura y funciones de la microcuenca. La rapidez del proceso superó las posibilidades de planeación

propiciando un crecimiento urbano que rebasó la infraestructura planteada (Secretaría de desarrollo sustentable del municipio de Querétaro, 2007). El impacto del cambio de uso de suelo por urbanización, ha alterado los servicios ecosistémicos de la microcuenca como la regulación hidrológica y la cobertura vegetal, estos muestran mayor predominancia en la microcuenca por el tipo de cambios que existen en la zona, por lo que no hay una respuesta adecuada de sus funciones y estructura ante el riesgo por cambio climático.

La justificación para la creación de un análisis biofísico de servicios ecosistémicos urbanos considera que las ciudades presentan una serie de retos por su constante crecimiento urbano, incrementando el sellamiento del suelo, lo que ha traído problemáticas ambientales como contaminación de agua, pérdida de ecosistemas y cambios en las condiciones ambientales. Por lo que es necesario crear literatura que contribuya a mejorar la gestión de microcuencas urbanas, entendiendo los beneficios que aporta a la población, es por ello que se propone elaborar un análisis socio-ambiental de servicios ecosistémicos urbanos de la microcuenca Colinas de Santa Cruz (CSC) en el municipio de Querétaro, conociendo los puntos susceptibles a presentar afectación por escorrentía pluvial, y así generar una propuesta que solucione los problemas ambientales actuales y por venir. Como la presente en esta investigación, enfocada en los beneficios que nos proporcionan los ecosistemas urbanos delimitados por microcuencas, sobre todo aquellas que han perdido gran parte de sus funciones y servicios. A través de una evaluación socio-ambiental del riesgo por pérdida y modificación de servicios ecosistémicos urbanos se pretende tener un mejor conocimiento de los riesgos que pueden presentarse durante eventos climáticos e hidrometeorológicos. Así como saber la percepción que las personas tienen acerca de estas problemáticas. Aportando datos a los tomadores de decisiones y contribuyendo a la generación de literatura respecto a microcuencas y así fortalecer el conocimiento de todas aquellas que integran la zona urbana de la ciudad de Querétaro.

De lo anterior surge la pregunta: ¿Cuál es la oferta y demanda de los servicios ecosistémicos urbanos de control de escorrentía y cobertura vegetal en la microcuenca Colinas de Santa Cruz?

De modo que es necesario identificar por medio de una evaluación las áreas que muestren el estado actual de la problemática. Con el fin de elaborar un diagnóstico socio-ambiental de servicios ecosistémicos urbanos. La microcuenca CSC se localiza dentro de un mosaico urbano que ha crecido sin manejo, incrementando las zonas selladas por pavimentos y concreto, modificando la estructura del ecosistema y, por ende, los servicios que este ofrece. Al conservar y aumentar los servicios ecosistémicos urbanos, se conseguirán beneficios ambientales como el control de escorrentía y el aumento de su cobertura vegetal. La microcuenca presenta bajos SEU por lo que se seleccionó para esta investigación, y así implementar marcos de referencia orientados a las cuencas urbanas.

Objetivo general

Elaborar una evaluación socio-ambiental del riesgo por pérdida y modificación de servicios ecosistémicos urbanos.

Objetivos particulares

1. Realizar una exploración biofísica para conocer la oferta y estado del control de escorrentía y cobertura vegetal.
2. Elaborar una revisión cualitativa de la microcuenca, sus políticas públicas y la percepción de la población sobre su entorno.

Capítulo 1. Marco conceptual

Servicios ecosistémicos urbanos en cuencas urbanas

En este capítulo se presenta la información sobre el concepto de servicios ecosistémicos y sus clasificaciones, una de ellas son los servicios ecosistémicos urbanos, en este apartado se desarrolla la idea de los beneficios que otorgan a la población urbana, se finaliza con el tema de cuencas urbanas y la modificación de sus funciones hídricas, donde se ahonda sobre la importancia de gestionar los servicios ecosistémicos desde el enfoque de cuencas.

1.1. Servicios de los ecosistemas

El concepto moderno de servicios ecosistémicos (SE), comenzó su uso a raíz de los efectos como la contaminación, deforestación, cambio climático y reducción de la capa de ozono, durante la década de 1960 y 1970 (Carson, 1962; Saville y Bayley, 1980; Farman *et al.*, 1985). Esto inspiró investigaciones como la de Westman (1977) para conocer los beneficios que los ecosistemas en buen estado prestan al bienestar humano. Actualmente los servicios ecosistémicos están fuertemente estrechados al sistema social y natural (Turner *et al.*, 2008).

Dos publicaciones han sentado la base para el entendimiento de los SE, el primero fue el libro "Nature's Services" escrito por Daily (1997) donde se menciona la importancia de las condiciones y procesos de los ecosistemas y las especies que los constituyen para sustentar y satisfacer la vida humana (González, 2019). Y la segunda es la de Costanza *et al.* (1997) con su artículo "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital" en el que conceptualiza a los SE como los beneficios para la población humana derivados directa o indirectamente del funcionamiento de los ecosistemas (González, 2019). Cinco años después De Groot *et al.* (2002) propone un marco estandarizado para la evaluación integral de las funciones, los bienes y servicios de los ecosistemas (De Groot *et al.*, 2002). Se

menciona el valor de las funciones de un ecosistema, que pueden ser analizadas y evaluadas a través de los bienes y servicios que proporciona (Camacho y Ruiz, 2012). Pocos años después, la evaluación de los ecosistemas del milenio (MEA) en 2005, definió a los SE como el complejo de comunidades biofísicas y biológicas que interactúan como una unidad funcional (MA, 2005). Permitiendo comprender la relación entre los SE y el bienestar humano, así como las alteraciones que las ciudades ocasiona al disminuir las funciones de los ecosistemas (MEA, 2003).

La MEA (2005) marco una nueva etapa del concepto de SE, impulso la idea de que el bienestar humano depende de los ecosistemas, y que sus conexiones pueden ser georreferenciadas y descritas (La Notte, 2017). Dentro de esta evaluación y clasificación se obtuvieron una serie de datos sobre todo relacionados al daño que presentan los ecosistemas, se descubrió que más del 60 % de los SE en el mundo están degradados y transformados (La Notte, 2017).

Esto generó preguntas, indagaciones científicas, políticas y normativas en todo el mundo (Valencia, 2019). Desde entonces la investigación de SE ha incrementado, comenzando así su conceptualización teórica y aplicaciones prácticas (Braat y de Groot, 2012; Egoh *et al.*, 2012; Seppelt *et al.*, 2011; Potschin *et al.*, 2016). Otros como (Boyd y Banzhaf, 2007; Fisher *et al.*, 2009; HainesYoung y Potschin, 2012; Landers y Nahlik, 2013; Staub *et al.*, 2011; Wallace, 2007). Han desarrollado varios conceptos, marcos empíricos, evaluaciones de cambios en los ecosistemas, las consecuencias para el bienestar humano y acciones para su uso (Albert *et al.*, 2015). Varias iniciativas internacionales se han basado en la publicación de MEA (2005), como las de: The Economics of Ecosystem and Biodiversity (TEEB, 2010), The UK National Ecosystem Evaluation (UK NEA, 2011) y algunos proyectos de la Unión Europea, donde se busca clasificar a detalle los SE, y así puedan integrarse varias disciplinas científicas a la gran gama de elementos que componen los ecosistemas (CICES, 2015).

Al contar con diversas interpretaciones del concepto, se encuentran grandes diferencias de estructura en las clasificaciones y conceptualizaciones (Boerema *et al.*, 2016). Lo que genera que en la actualidad no haya una clasificación universalmente aceptada, aunque la MEA es la más difundida y reconocida. La dinámica compleja de los procesos en los ecosistemas complica contar con un esquema de clasificación general, ya que esta cambia según la región geográfica (Camacho y Ruiz, 2012).

Las diferencias entre los sistemas de clasificación hacen difusas las distinciones entre servicios (*ídem*). Actualmente La Clasificación de Servicios de los Ecosistemas (CICES) de la Agencia Europea de Medio Ambiente, se ha posicionado como un marco de referencia actualizado para la investigación de SE (Maes *et al.*, 2014). El cual se basa en el marco de referencia en cascada de Haines-Young & Potschin (Haines-Young y Potschin, 2010; Potschin y HainesYoung, 2016). Su objetivo es mostrar el camino de los SE desde estructuras ecológicas y procesos para el bienestar humano (La Notte, 2017).

Existen varias clasificaciones de servicios ecosistémicos, desde la década de los 70 se han hecho intentos por tener una clasificación única, sin embargo, se ha demostrado que el concepto puede ser flexible y adaptable a cada situación y lugar.

Las más representativas a nivel mundial son las mostradas en la tabla 1 de los anexos. Donde se mencionan los servicios de las cuatro categorías: Evaluación de ecosistemas del milenio (MA), La economía de los ecosistemas y la biodiversidad (TEEB), Clasificación internacional común de servicios de los ecosistemas (CICES) Y La Evaluación Nacional de Ecosistemas del Reino Unido (UKNEA).

Según Palma (2019), otras clasificaciones son las de De Groot *et al.* (2002) quien creó una clasificación de 23 funciones básicas en cuatro categorías con varios bienes y servicios. Wallace (2007) quien presenta cuatro categorías de valores humanos y su vínculo con los servicios ecosistémicos. Turner (2008) clasifica a los SE en servicios intermedios y servicios finales relacionando el servicio con el

bienestar humano. Finalmente, la Agencia Ambiental Europea propone tres niveles principales de clasificación: provisión, cultural y regulación y mantenimiento (Haines-young & Potschin, 2013).

1.2. Servicios ecosistémicos urbanos

Las ciudades como sistemas socio-ecológicos dependen de otros ecosistemas. El concepto de servicios ecosistémicos urbanos es considerado desde hace poco tiempo por los investigadores, quienes han enfocado sus trabajos en diversas temáticas del ámbito urbano, como el mantener sus condiciones de vida a largo plazo (Odum, 1989), La Salud de la población (Maas *et al.*, 2006; Tzoulas *et al.*, 2007), seguridad (Costanza *et al.*, 2006; Dixo *et al.*, 2006), buenas relaciones sociales (EEE, European Agencia Ambiental, 2011) aspectos sobre el bienestar humano (TEEB, The Economics of Ecosystem and Biodiversity, 2011). Biofísicos, económicos y dimensiones socioculturales (Escobedo *et al.*, 2011; Pataki *et al.*, 2011; Jim *et al.*, 2009; Sander *et al.*, 2010; Chiesura, 2004; Andersson y col., 2007; Barthel *et al.*, 2010). Sus dimensiones espaciales, temporal, de valor o práctica (Gómez-Baggethun *et al.* 2013; Haase *et al.*, 2014). Algunos otros como Gómez-Baggethun y Barton (2013) han sintetizado conocimientos y métodos para clasificar, evaluar y valorar los SEU para la planificación, gestión y toma de decisiones. En 2005, la MEA y en 2011 el TEEB abordaron a manera de iniciativa los servicios que proveen las áreas urbanas (McGranahan *et al.*, 2005).

Los servicios ecosistémicos urbanos son aquellos que se encuentran sobre superficies terrestres construidas con altas densidades de población (Pickett *et al.*, 2001). La integran parques, cementerios, patios y jardines, parcelas urbanas, bosques urbanos, humedales, ríos, lagos y estanques (EEA, 2011). Su importancia radica en la prestación de servicios de impacto directo como la salud, seguridad, purificación del aire, reducción de ruido, control de temperatura y mitigación de

escorrentía (Bolud y Hunhammar, 1999). Los SEU funcionan a diferentes escalas espaciales (edificios, calles, colonias y regiones) lo que puede facilitar su gestión (Gómez Y Barton, 2013).

Estudiar la función de los ecosistemas urbanos puede aumentar la comprensión de la dinámica del ecosistema y mejorar la gobernanza de los servicios de los ecosistemas urbanos (Elmqvis *et al.*, 2013; Haase *et al.*, 2014).

El uso del concepto de servicios ecosistémicos urbanos puede desempeñar un papel fundamental en la reconexión de las ciudades a la biosfera y en la reducción de la huella ecológica y la deuda ecológica de las ciudades al tiempo que mejora la resiliencia, la salud y la calidad de vida de sus habitantes (Gómez *et al.*, 2013). El crecimiento de las zonas urbanas está constituido por el desarrollo económico, industrialización, modernización y mejora de calidad de vida, lo que complica la disponibilidad de recursos naturales y perspectiva de la cuenca (Davis y Henderson, 2003). Los espacios urbanos y periurbanos representan un reto para la gestión de bienes y servicios (Olvera, 2019).

1.3. Cuencas urbanas y la modificación de su estructura y funciones

El planeta Tierra se encuentra delimitado topográficamente por cuencas, por lo que toda la humanidad habita dentro de una, cada ocupación y transformación de las actividades humanas conlleva a una repercusión ambiental (Agredo, 2013).

La cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales (Mondaca, 2011). Es el territorio en el cual habitan las poblaciones en concentraciones grandes (urbanas) o pequeñas (rurales) y en donde se producen importantes actividades que demandan de agua para su desarrollo (Mondaca, 2011).

La cuenca se delimita por las divisiones topográficas de mayor altitud lo que ocasiona una recolección natural de la precipitación, la cual se dirige hacia un punto en específico como un arroyo, río, humedal o algún otro cuerpo de agua (Langbein y Iseri, 1960; Dingman, 2002; Brutsaert, 2005). Está formada por un conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos conectados (Flotemersch, 2016).

Estos pueden proveer múltiples servicios ecosistémicos de importancia y beneficio para la sociedad (Huerta y Jiménez, 2010). Los servicios que suministran usualmente son ignorados por las personas (Smith, 2007). Estos a su vez son sistemas jerárquicos con un funcionamiento a diferentes escalas y niveles de organización (Thoms *et al.*, 2007).

Las cuencas forman un complejo mosaico de ecosistemas, naturales y manejados (Cotler, 2010). Al modificar los ecosistemas dentro de una cuenca estos se degradan y cambia su capacidad para proveer servicios (Smith, de Groot, Perrot-Maître, & Bergkamp, 2006). Al ser sistemas socio-ecológicos, su capacidad de otorgar servicios obedece a su adecuado funcionamiento (Bunch *et al.*, 2011; Walker y Salt, 2012). Por lo que la sociedad depende de los ecosistemas para satisfacer su demanda de bienes y servicios (Flotemersch, 2016).

Como lo menciona Rotger (2017) es necesario poner en valor a la cuenca como unidad organizativa del territorio, al menos en dos sentidos. Por un lado, desde lo físico-natural, como unidad sintética de los procesos ambientales, siendo especialmente relevante para el análisis de un territorio predominantemente urbano, pero también como un tejido conectivo configurado a partir del agua y de los procesos ecológicos derivados de la interacción de los ámbitos terrestre y acuático.

La cuenca hidrográfica es un espacio geográfico idóneo para reconstituir la relación sociedad-naturaleza y facilitar la aplicación de criterios de sustentabilidad en espacios geográficos concretos (Burgos *et al.*, 2015).

Así mismo la cuenca es reconocida como la unidad territorial más adecuada para la gestión integrada de los recursos hídricos de manera conjunta, se ha demostrado sobre todo a nivel microcuenca que esta idea es buena ya que facilita la aplicación de proyectos que benefician a las poblaciones (Montico y Di Leo, 2007).

La cuenca urbana se considera una unidad de drenaje que va hacia un río o dren, y pasan dentro de regiones metropolitanas (Rutherford, 2006). Uno de los cambios en ecosistemas urbanos es la modificación en la cabecera de la cuenca lo que convierte en arroyos urbanos a desagües pluviales, cunetas, zanjas o drenes. Son sistemas emergentes, en especial los relacionados a las redes de drenaje, estas modificaciones están subestimadas ya que realmente influye en los flujos y transformaciones, continuando con la conectividad hidrológica con otros ecosistemas aguas abajo (Kaushal y Belt, 2012).

Los ecosistemas y los sistemas sociales son sistemas complejos, se les denomina complejos porque entre ellos existen segmentos y conexiones, son adaptativos ya que su estructura brinda la habilidad de cambiar en formas que promueven la persistencia en un ambiente oscilante (Marten, 2001). El principal desafío de la gestión urbana es el abastecimiento y la distribución de servicios como el agua para uso industrial, urbano y agrícola, así como detener la degradación del suelo y vegetación (Olvera, 2019).

1.4 Manejo de cuencas urbanas y el riesgo hidrometeorológico-climático

El manejo y la gestión son conceptos que tienen varias diferencias conceptuales, ya que estos pueden ser abordados desde diferentes corrientes del pensamiento científico. Por un lado, la gestión es un término muy amplio en donde se deben realizar acciones para su adecuada aplicación, además proporciona mayor detalle en las características que componen la cuenca o región a intervenir.

El manejo está asociado a conducir, dirigir o utilizar, aplicando intervenciones puntuales o zonales en cierta región o cuenca, por lo que se enfoca en resolver diferentes problemáticas o necesidades en territorios geográficos (Musalem *et al.*, 2014). Así pues, el manejo de cuencas se centra en encontrar soluciones integrales según la funcionalidad y aptitud de sus recursos naturales (Caire, 2008).

Las cuencas son sistemas complejos, sus límites derivados de la topografía se encuentran abiertos a la entrada y salida de diversos recursos, éstos se rigen por aspectos hidrológicos donde el agua es el eje integrador. Las entradas pueden presentarse como flujos (precipitación, radiación solar, agroquímicos, mano de obra, semillas, tecnología entre otros), y componentes como suelo, vegetación y fauna, todos ellos se interrelacionan y generan salidas (consumo, producción, recreación, servicios ambientales, contaminación, inundaciones o pérdida de biodiversidad) (Báez, 2014). Al ser un sistema bien definido naturalmente, y de origen hidrográfico se centra la atención a las relaciones hidrológicas entre la cuenca alta, media y baja (Musalem *et al.*, 2014). Donde cada elemento influye en todo lo demás y no en lo individual (Báez, 2014).

El enfoque de cuenca es antropocéntrico, centrado en la sociedad, pretende unificar a las personas con su entorno, así como entender procesos e interacciones, ser adaptable, reconocer limitaciones y buscar soluciones apropiadas a las variables sociales, ambientales, políticas y económicas (Musalem *et al.*, 2014). Dentro del enfoque de cuenca se manejan los recursos naturales de manera integrada, adecuando las actividades humanas para conservar los ecosistemas de la cuenca (Caire, 2008). Se caracteriza por la participación de abajo hacia arriba, donde se puedan coordinar acciones y recursos en una estrategia común (Caire, 2008).

El manejo de cuencas hace un uso racional y sostenible de los recursos que la integran, tomando en consideración su vocación, implica compromiso y participación de las personas (Báez, 2014). Su manejo puede perjudicar o

beneficiar según su uso, al grado que las actividades realizadas en la parte alta tienen consecuencia en la parte baja (Musalem *et al.*, 2014). Ayuda a la población a planificar, identificar y proteger áreas de abastecimiento de agua y sitios propensos a riesgos hidrometeorológicos (Báez, 2014). El manejo integral de cuencas es útil para crear proyectos estratégicos territoriales (Báez, 2014). Además, se pueden resolver problemas como contaminación, salud pública, pesca, costos de agua, inundaciones, entre otros (Caire, 2008).

Las actividades humanas generan una modificación del equilibrio ambiental, por ejemplo, en las zonas urbanas se incrementa la escorrentía, acelera las crecidas, aumenta los caudales, volumen de escurrimiento que fluyen según la pendiente y van más allá de los límites político administrativos (Báez, 2014). El problema es visible sobre todo en la parte media y baja (Martínez *et al.*, 2011).

La cuenca es un sistema regulador de riesgos (Báez, 2014). Ya que al intervenirla se pueden controlar varios efectos perjudiciales para las personas que habita en estas zonas. Se entiende por riesgo a las circunstancias o condiciones sociales donde las personas hayan sido afectadas de forma importante, por el impacto de eventos físicos de diverso origen (terremotos, huracanes, inundaciones) que perturben su cotidianeidad y sus niveles de operatividad normal (Bloch, Jha y Lamond, 2012).

Existen dos opciones en torno al riesgo de desastre, por un lado, esta aquel enfocado en lo social y económico, y por otro el enfocado en las ciencias de la tierra; donde se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento físico que detone el desastre (Bloch, Jha y Lamond, 2012). El riesgo es una condición latente, este se presenta por el cambio en las condiciones del entorno natural, incluyendo infraestructura en cauces, pendientes y suelo. Esto crea una vulnerabilidad en las personas, ya que sus viviendas están expuestas a sufrir daños y pérdidas. Los

eventos físicos y la vulnerabilidad son factores de riesgo, por lo que uno no puede existir sin el otro (Bloch, Jha y Lamond, 2012).

Toda amenaza se puede manifestar por la intervención humana y la transformación del espacio natural, aumentando la potencia de eventos físicos que causan daños. La construcción social del riesgo se fundamenta en que el ambiente genera eventos físicos que pueden modificar la dinámica natural transformándose en una amenaza, que se mide por la vulnerabilidad (Bloch, Jha y Lamond, 2012).

La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente, aquellas socio-naturales, producidas como resultado de la relación del mundo natural con las prácticas sociales (inundación, contaminación, deslizamiento o aumento de temperatura) ocasionan cambios en los patrones de uso del suelo, lo que amplía las condiciones de amenaza (Herzer, 2002).

Las cuencas que cuentan con un porcentaje mayor a 60% de cobertura impermeable limitan la restauración de la vida acuática, pero pueden reducir la amenaza de contaminantes y escurrimientos (Kitchell y Schueler, 2005).

Así pues, el manejo de cuencas urbanas es un proceso holístico que busca incrementar los beneficios y reducir los efectos de un anegamiento temporal en determinado lugar, con el uso de herramientas científicas, legales y administrativas orientadas al bien común (Lara, 2012). Algunos ejemplos son la reforestación, la estabilización de pendientes, el manejo integral de cuencas para reducir o evitar riesgos por la periurbanización, proponiendo actividades de prevención, también pueden incluirse ciertas obras de ingeniería, como diques, presas, entre otros (Herzer, 2002).

Es por ello que los grandes desafíos del manejo integral de cuencas es la participación y la adecuación de soluciones a cada actividad humana y ambiental, logrando un aprovechamiento productivo y la conservación de sus recursos (Caire, 2008).

Para tener una mejora en la calidad ambiental se debe tomar en cuenta los elementos que la integran, algunas actividades que contribuyen al mejoramiento es la intervención industrial, de residuos y en el medio natural (Araque *et al.*, 2019). Se debe tener una colaboración de los actores que residen en la microcuenca para un adecuado resultado, como manejo integrado de recursos naturales, diagnóstico integrado de cuencas, planes de ordenamiento, rehabilitación de espacios degradados, restauración (Araque *et al.*, 2019).

Las líneas de acción a priorizar son el prevenir la degradación ambiental, recuperar, rehabilitar, fortalecer, potenciar recursos naturales, crear gobernanza de agua y suelo (Araque *et al.*, 2019). Las áreas urbanas enfrentan desafíos ambientales, por lo que es necesario mejorar la sostenibilidad, la resiliencia y la habitabilidad en las ciudades (MEA, 2005).

1.5 Servicios ecosistémicos urbanos: Algunos antecedentes

Los servicios ecosistémicos son mayormente estudiados en el norte global, sin embargo, en los últimos años se ha creado un mayor interés por crear investigaciones en países latinoamericanos, enfocándose sobre todo al pago por servicios ecosistémicos. En este apartado se habla sobre las diferentes maneras que han sido abordados los servicios ecosistémicos urbanos (SEU) alrededor del mundo, así como cuáles han sido los temas más relevantes, terminando con ejemplos asociados al texto de la investigación, así como su implementación con gran tendencia en las ciudades. Se concluye con ejemplos de investigaciones con diferentes perspectivas sobre manejo de recursos ambientales enfocados al beneficio humano, en la ciudad de Querétaro.

Los SE han sido abordados en al menos tres temas i) Tradeoffs entre SEU donde la gestión es enfocada a un solo servicio, esto ocasiona una valoración de sus efectos sean deseados o no; ii) Asociación entre SEU observando su capacidad

de alterarlos ya sea positiva o negativamente; y iii) Pérdida de SEU estudiando los cambios repentinos inesperados y no deseados (Bennett *et al.*, 2009).

Algunos ejemplos sobre trabajos relacionados a SEU a nivel mundial son los estudios sobre su potencial de restauración y manera de transformar el paisaje urbano en Ciudad del Cabo, Nueva York y Barcelona (Gómez- Baggethun *et al.*, 2013). La provisión de SEU por parte de la infraestructura verde y su relación con la capacidad de resiliencia urbana de la Ciudad de México (Calderón-Contreras y Quiroz-Rosas, 2017). También aquellos análisis espaciales de SEU fundamentados en el clima urbano, calidad del aire, retención de aguas pluviales y biodiversidad en Alemania (Grunwald *et al.*, 2017). Otros como Lin *et al.* (2018) al suroeste de China basando sus estudios en detección de hotspots y mapeo de sinergias entre SEU (ganadería, producción de cultivos, almacenamiento de carbono, suministro de agua, secuestro de carbono, retención de suelos, hábitat y recreación natural). Por su parte Dobbs *et al.* (2018) en Bogotá Colombia y Santiago de Chile se enfocan a descubrir patrones espacio-temporales de cambio y los desajustes que hay entre SEU (regulación de carbono, mitigación del clima y su potencial de recreación).

Algunos ejemplos de trabajos relacionados con esta investigación y que usan variables similares son los siguientes:

Cano y Haller (2018) hablan sobre servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH) en las montañas Huaytapallana y Huancayo en Perú, donde gracias a la degradación y contaminación de la subcuenca se crea un estrés hídrico y desabastecimiento afectando los SEH y el bienestar de la población, se usó una valoración sociocultural de los SE, tomando en cuenta la MEA (2005). Se mostró la similitud en la percepción de las personas a través de cuestionarios, de igual manera es importante diferenciar los SE ya que se confunde su función con otros servicios

Por su parte Martínez y Márquez (2017) plantean los elementos para construir un índice de riesgo que sirva para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en microcuencas urbanas, a través de una revisión de conceptos y exploración de metodologías dan la base para generar según el escenario, un marco analítico en SIG idóneo para la evaluación de riesgos por inundación, con el uso de métodos multivariados que trabajen varias variables simultáneamente.

Por su parte, De Alba (2019) evalúa el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en la microcuenca El Guayabo en Tlaquepaque de la Zona Metropolitana de Guadalajara con base en la capacidad de los servicios ecosistémicos que ofrece para reducir el riesgo a eventos extremos de lluvia, a través de la caracterización, datos de precipitaciones máximas diarias, se simuló la hidrología en periodos de retorno, sus resultados muestran que existe una pérdida de suelo agrícola y una ganancia de suelo urbano, su trabajo sienta las bases técnicas para implementar medidas de protección en zonas que mitiguen la escorrentía de eventos extremos de lluvia.

Montoya (2019) menciona la importancia del arbolado urbano para mitigar efectos del cambio climático y como esto favorece a la sostenibilidad de las ciudades. Con el objetivo de determinar la relación entre los conocimientos y actitudes hacia la conservación del arbolado urbano, a través de cuestionarios de conocimientos aplicados en Lima Perú, muestran que el conocimiento ambiental no está explícitamente incluido en las unidades didácticas de aprendizaje en primarias y secundarias por lo que menciona la importancia de fortalecer la educación ambiental urbana.

Reyes y Gutiérrez (2010) establecen orientaciones que permitan establecer el uso apropiado de los árboles en ambientes urbanos, destacando la importancia, no como elemento del paisaje, sino además los servicios ecosistémicos que provee (almacenamiento de agua, recarga de agua subterránea, barrera contra ruido,

control de la temperatura, hábitat, generación de oxígeno, captura de carbono y como recreación), logran mostrar el valor de las características de los árboles y el lugar donde serán colocados, para un mejor manejo así como la importancia de planeación ambientalmente viable.

Gallo (2017) evalúa los servicios ecosistémicos que presta el arbolado en la regulación del clima a partir de la determinación de la temperatura, humedad relativa y captura de carbono. A través de un inventario forestal en 20 barrios tomando información dendrométrica, estructura y composición del arbolado, se conoció la oferta y demanda que hay en diversas zonas y el papel funcional de este tipo de vegetación en espacios urbanos.

Alrededor del mundo se tiene ejemplos sobre el uso de servicios ecosistémicos urbanos, en México algunas aproximaciones son la de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Biodiversidad (2005) que realizó un estudio sobre el Capital Natural de México, promoviendo el valor de la biodiversidad y los servicios ambientales.

Después Balvanera y Cotler (2007) publican el artículo titulado “un acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos” donde se revisan las definiciones de dichos servicios, su desarrollo histórico y una reseña de los principales tipos de acercamiento.

El gobierno federal creó el libro “Biodiversidad, Servicios Ecosistémicos y los Objetivos del Desarrollo Sostenible en México 2019”, donde se espera crear posibles estrategias en favor de la conservación de la biodiversidad y los beneficios que obtenemos de la naturaleza en todo el país.

En la Ciudad de México se generó el libro “La biodiversidad de la Ciudad de México volumen 3” donde se plasma la situación actual del patrimonio biológico de la entidad (SEDEMA, 2016).

Otros como López (2020) han señalado a los servicios ecosistémicos urbanos en su investigación, donde se centra en estimar la riqueza, diversidad, indicadores ecológicos, contenido de carbono y valoración económica de tres parques urbanos en el municipio de San Pedro Garza García.

Palma (2019) evalúa y mapea los servicios ecosistémicos de una microcuenca periurbana en Querétaro, para tener un panorama de la oferta potencial y su relación con la demanda de los habitantes.

La ciudad de Querétaro es un pilar en cuanto a la generación de conocimiento en cuencas y microcuencas hidrográficas, las cuales se relacionan estrechamente con esta investigación, por lo que algunos ejemplos de trabajos sobre microcuencas y servicios ecosistémicos son las diversas tesis por parte de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, algunas realizadas en el municipio de Querétaro sobre la microcuenca La Joya donde (Bárceñas, 2010; Montaña, 2012; Granados 2011; Contreras, 2011) han propuesto alternativas sobre vivienda sustentable, manejo y gestión de suelo, manejo y gestión del agua, manejo de la vida silvestre, así la implementación de un vivero de especies nativas.

Algunas microcuencas cercanas a la zona de estudio de esta investigación, son las analizadas por Peña (2017) donde propone el desarrollo de una estrategia de manejo para la mitigación del riesgo asociado a inundaciones en la microcuenca San José el Alto en la ciudad de Querétaro, a través de los servicios ecosistémicos de regulación. Por su parte, Olvera (2019) analizó las problemáticas del acceso, distribución y disponibilidad del agua en la microcuenca San José el Alto, generando una propuesta de gestión integrada del agua, usando el servicio ecosistémico de abastecimiento. Otra es la investigación mencionada anteriormente; Palma (2019).

En el Plan parcial de desarrollo urbano para la delegación Félix Osores Sotomayor (2007) se menciona que los ritmos de crecimiento y expansión urbana de la ciudad, han ocasionado problemas no previstos en los instrumentos de planeación, su situación geográfica, carácter industrial, comercial y urbano constituyen un detonador de problemas urbanos que tienen una tendencia de agudizarse con el tiempo.

Esto ha generado que la resiliencia de las personas decrezca ante riesgos generados por la periurbanización, como el aumento de temperatura, mayor escorrentía superficial y mala calidad de aire. Varias afectaciones por precipitación pluvial han sido registrados dentro de la microcuenca afectando zonas bajas y medias, de igual manera dentro se encuentra una zona industrial que afecta y altera constantemente la calidad del aire, además por ser una zona en expansión se tiene un alto porcentaje de suelo sellado por pavimento y concreto, lo que ha generado una constante pérdida y degradación en la estructura y funciones de la microcuenca por el acelerado crecimiento urbano y poblacional del municipio.

Si bien los servicios ecosistémicos han tenido una diversa y gran gama de ramas que estudiar, se han adaptado las necesidades urbanas a este concepto, lo que ha transformado la manera de planificar y manejar la ciudad. Generando nuevas perspectivas y maneras de manejar el espacio urbano según sus necesidades y configuración.

1.6. Conclusiones finales del capítulo

Gestionar los servicios ecosistémicos desde el enfoque de cuenca, facilita el manejo de los recursos que hay dentro de ella, desde naturales hasta humanos, también se permite un mejor flujo de energía. Los servicios ecosistémicos urbanos han sido estudiados alrededor del mundo, sin embargo, en México se tiene poco conocimiento y trabajo al respecto, por lo que es importante generar literatura que enriquezca el tema en nuestro país. El concepto que mejor se adapta a esta

investigación es el propuesto por (Geneletti *et al.*, 2020) donde el manejo de los SEU se da desde una visión holística, permitiendo incluir las necesidades de la población y la oferta que la estructura de las zonas urbanas proveen.

La periurbanización es un factor que altera y modifica por completo los ecosistemas que integran al sistema urbano, sin embargo se tienen estudios donde la recuperación de SEU mejora las condiciones ambientales actuales, las cuales han sido alteradas por el sellamiento y pérdida del suelo, afectaciones como el incremento de temperatura, ruido, mala calidad de aire y escurrimiento superficial alto, han generado que la resiliencia humana decrezca, mientras aumenta su vulnerabilidad y riesgo a estos cambios, que serán y están siendo de gran impacto para todo el mundo.

El enfoque de cuenca permite manejar los recursos de manera integral, viendo de manera holística las funciones y componentes dentro de la delimitación natural que nos ofrece la cuenca. Es por ello que esta investigación toma como eje articulador el enfoque de cuenca vinculado a la zona urbana para así conocer la oferta y demanda de los servicios ecosistémicos urbanos de control de escorrentía y cobertura vegetal, los cuales son de gran importancia para el bienestar de la población que habita en este espacio geográfico, que hoy en día está siendo degradado y perdiendo relevancia para los actores sociales.

Así pues la microcuenca Colinas de Santa Cruz presenta un gran porcentaje de suelo sellado, crecimiento urbano y gran pérdida de vegetación, que ha provocado una disminución en la resiliencia de los mismos así como el incremento de vulnerabilidad ante cambios climáticos para la población, es por ello que los conceptos antes mencionados se integran y hacen que la microcuenca sea apta para realizar esta investigación centrándose en controlar la escorrentía y mejorar e incrementar la cobertura vegetal.

Capítulo 2. Métodos y herramientas

2.1 Microcuenca de estudio Colinas de Santa Cruz

La ciudad de Querétaro es un núcleo urbano que tiene su historia después de la conquista, pertenece a las ciudades del bajío que avanzaron gracias a la fundación de conventos y agricultura, lo que dio paso a la urbanización de varias ciudades, y a su vez de movimientos de población indígena hacia estos centros. La traza urbana de estas ciudades se dio gracias a un sistema urbano de canalillos que recorrían la cuadrícula de las calles, con la cual regaban las hortalizas y frutales de las haciendas o conventos, por lo que se las llamó ciudades huerteras (Ohmstede, 2008).

La microcuenca Colinas de Santa Cruz está ubicada en la porción noreste de la subcuenca 12 Hd (Río Apaseo) cuenca Río Laja perteneciente a la Región Hidrológica Lerma Santiago (SIATL, 2020). Sin embargo, su red pluvial ha sido modificada sustituyendo los cauces naturales por calles y canales, que llevan el agua de la microcuenca fuera para no presenta inundaciones, sin embargo, esta infraestructura es saturada en ciertos puntos lo que ocasiona avenidas torrenciales y encharcamientos, los cuales tardan algunos minutos en bajar su nivel por la gran cantidad de agua que rebasa los límites de los canales que se encuentran en la salida del cauce principal. La microcuenca cuenta con una superficie de 24.48 km², se ubica en el Municipio de Querétaro (ver figura 1), abarca las delegaciones Félix Osores (15.2 km²), Epigmenio González (4.3 km²), Felipe Carrillo Puerto (691 m²) y Centro Histórico (488 m²). Cuenta con una población de 152,290 habitantes.

Se encuentra en la provincia fisiográfica del eje neovolcánico subprovincia llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, su sistema de topofomas se comprende por lomeríos de basalto con llanuras aluviales. Se asienta sobre roca ígnea extrusiva

con basalto de la era Cenozoico periodo terciario época Neogeno, en la parte Este de la microcuenca tenemos andesita y basalto de hace aproximadamente 25 millones de años, en la parte central de la microcuenca se encuentra arenisca conglomerada de hace 1.7 a 5 millones de años, en la parte Este encontramos una mina con manifestación de mineral in-situ de muestreo con esquirla. Los elementos estructurales geomorfológicos que pueden encontrarse dentro de la delimitación de la microcuenca son: falla de rumbo, fractura inferida y falla normal con componente lateral (Servicio Geológico Mexicano, 2010).

La microcuenca presenta pendientes mayores a 10° en zonas medias lo que contribuye a un mayor arrastre y velocidad de agua durante precipitaciones. Se pueden encontrar varios microclimas con diferentes temperaturas, en gran parte de la microcuenca se presentan islas de calor durante el día y la noche de entre 25° - 30°C esto gracias al 86 % de superficie sellada con pavimento y concreto. El uso de suelo y vegetación se caracteriza por un uso residencial (vivienda, hoteles, departamentos, conjuntos habitacionales), actividades productivas (industrial químico, mecánico, manufacturero y minas de extracción por esquirlas), equipamiento (comercio, cultural, deportivo, educación, esparcimiento, salud, seguridad, servicios y social), infraestructura (transporte y energético), espacio público (sistema vial, parques, plazas y áreas verdes públicas), y por último el sistema de drenaje sanitario y pluvial que representa la red hidrológica de la microcuenca. Dentro de estos usos existe diverso arbolado el cual desempeña varios servicios como el control de temperatura, de escorrentía, de ruido, limpieza del aire contaminado, hábitat y esparcimiento.

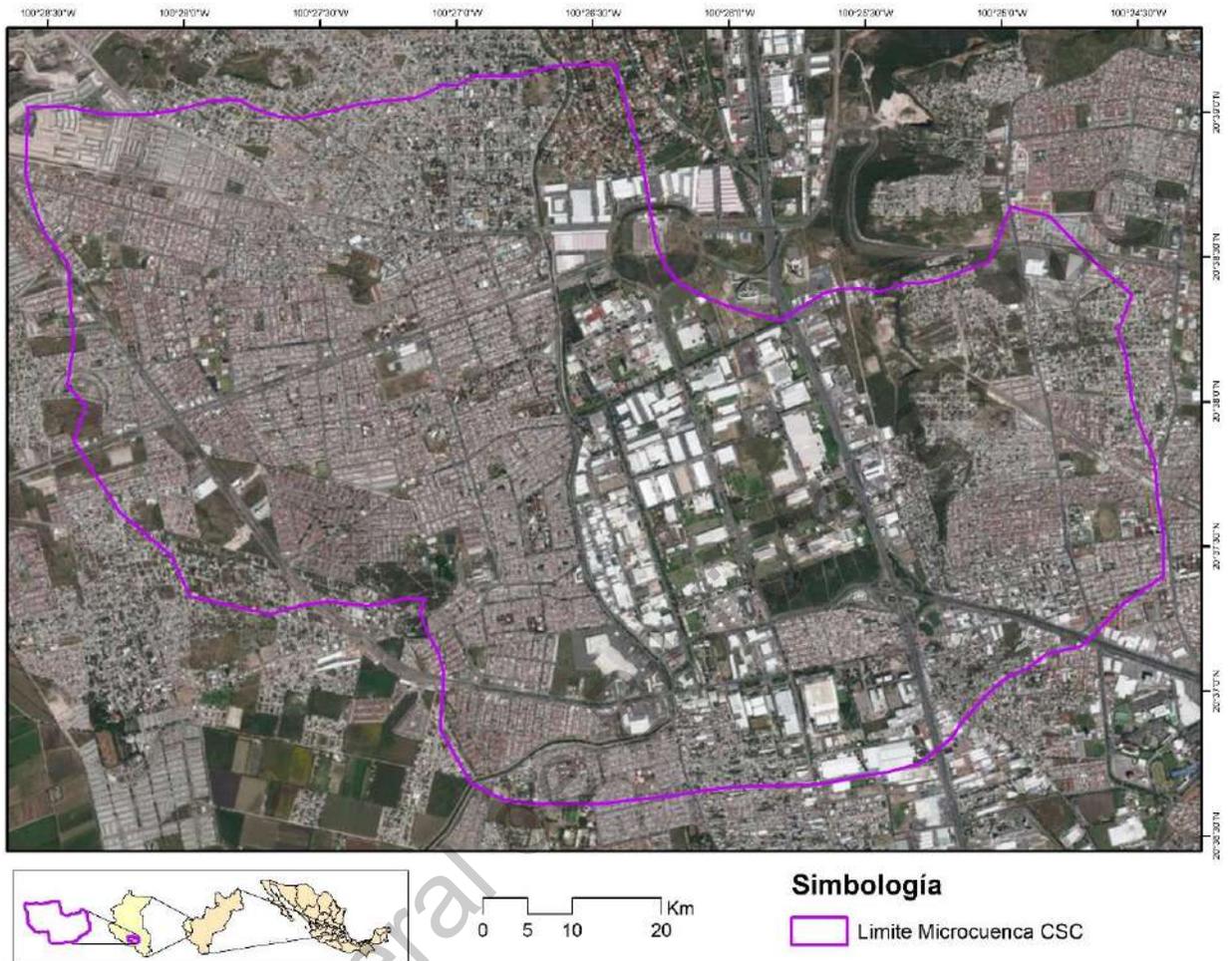


Figura 1. Ubicación Microcuenca Colinas de Santa Cruz municipio de Querétaro.
 Fuente: Gómez J. Limite MCSC. Software ArcGIS versión 10.2. 2020.

2.2 Proceso metodológico

Se busca comprender el contexto actual de la microcuenca tanto físico como humano, realizando una aproximación cualitativa de los actores sociales y su espacio, el trabajo se realizará bajo un carácter cualitativo-cuantitativo usando una metodología mixta, para elaborar un diagnóstico socio-ambiental de los servicios ecosistémicos urbanos como la regulación de escorrentía y cobertura vegetal, y así recomendar estrategias de manejo para incrementar los SEU en la

microcuenca Colinas de Santa Cruz. Usando el enfoque de cuencas basado en lo holístico, donde todos los componentes se interrelacionan como pequeños engranes que unen un gran sistema, entendiendo de esta manera los fenómenos ambientales y humanos desde la perspectiva de los actores. El método mixto cuantitativo-cualitativo provee inferencias más sólidas ya que los datos son observados desde múltiples perspectivas. Las etapas a seguir se basan en los objetivos de la investigación que son dos: 1) Realizar una exploración biofísica para conocer la oferta y demanda del control de escorrentía y cobertura vegetal; y 2) Explorar cualitativamente la microcuenca, sus políticas públicas y la percepción de la población sobre su entorno.

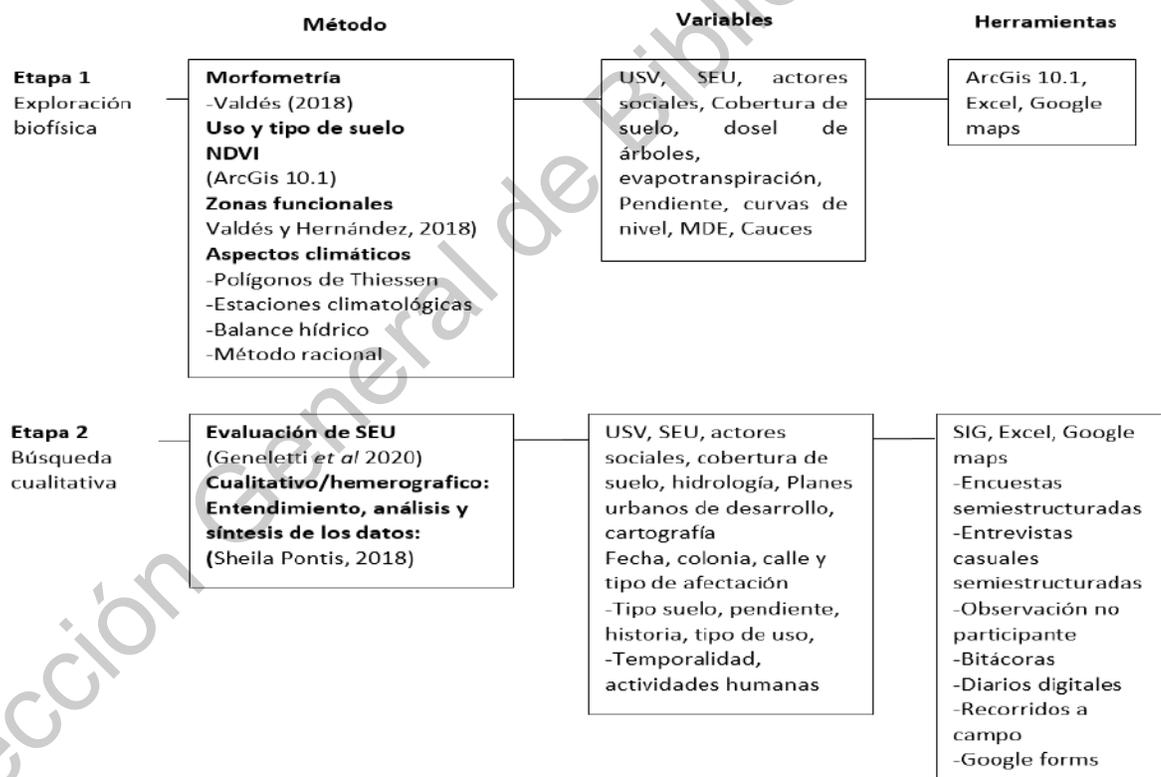


Figura 2. Proceso metodológico para analizar los SEU de la microcuenca Colinas de Santa Cruz.

2.3 Exploración biofísica

2.3.1 Morfometría

Para conocer los datos de forma, relieve y drenaje se usó el manual elaborado por Valdés (2017). A través de diversas fórmulas se calcularon los valores para cada sección. Con ayuda del MDE, curvas de nivel e hidrología se definieron las superficies, longitudes, distancias, índice de Gravelius (Kc) resultante de la división del perímetro de la cuenca y el de un círculo igual al área de la microcuenca, mientras el valor sea cercano a 1 mayor peligro a crecidas tendrá, si es mayor será poco susceptible a este peligro, su expresión algebraica es:

$$K = \frac{0.282 * P_c}{\sqrt{A_c}}$$

Donde:

K: Coeficiente de compacidad (k)

A_c: área de la cuenca (km²)

P: perímetro de la cuenca (km)

La curva hipsométrica se usó para conocer las zonas funcionales y pendiente de la microcuenca. También se calcularon los parámetros relacionados con el drenaje, como la densidad de drenaje, orden de la cuenca y tiempo de concentración (t_c) que se usó para conocer el valor de otros procesos dentro de los aspectos climáticos. Se aplicó la fórmula siguiente:

$$T_c = 0.06628 * (L_{cp}^{0.77} / S^{0.385})$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración en horas (min)

L_{pc}: longitud del cauce principal (km)

S: pendiente media de la cuenca (%)

2.3.2 Uso y tipo de suelo

Para crear las capas de uso y tipo de suelo se digitalizó la imagen satelital ofrecida por ArcGis 10.1 como mapa base, y los mapas de geología propuestos por Xu *et al.* (2011) y el mapa base de geomorfología propuesto por Álvarez *et al.* (2017). Cada uno fue trazado usando también el MDE y las curvas de nivel. Esta información fue necesaria para hacer el balance hídrico y el método racional.

2.3.3 NDVI

Se usó la imagen satelital obtenida de la ESA (Agencia Espacial Europea) Misión Sentinel 2-A del 15 de marzo de 2020, esta tiene como características principales 13 bandas con 10m, 20m y 60m de resolución espectral las cuales están corregidas atmosféricamente, lo que las hace más nítidas, con mayor brillo, contraste y colores más realistas. Para el NDVI se usaron las bandas 4 roja y 8 infrarroja.

Para conocer la oferta de la cobertura vegetal se realizó un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. Este permitió generar una imagen que muestra el verdor de la vegetación (biomasa relativa). Se usó el contraste de las características de dos bandas de una imagen multiespectral, por un lado, la banda roja muestra la absorción de pigmento de clorofila y la por otro la banda cercana al infrarrojo que muestra la reflectividad de las plantas.

La reflexión diferencial de las bandas roja e infrarroja permitió observar la densidad e intensidad del crecimiento de la vegetación verde, usando la reflectividad espectral de la radiación solar.

Se calculó con la siguiente formula:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR-RED}}{\text{NIR+RED}}$$

Donde:

NDVI= Índice de vegetación de diferencia normalizada

NIR= Banda Infrarrojo cercano

RED= Banda roja visible

El índice generó valores entre 0 y 1.0 los cuales representan el follaje de la vegetación, los valores negativos corresponden al agua o nubes, los valores cercanos a 0 corresponden a rocas y suelo desnudo, los valores por debajo de 0.1 representan rocas o arena, los valores de 0.2 a 0.3 representan arbustos o pastizal, mientras que los valores mayores a 0.6 corresponden a zonas muy húmedas.

2.3.4 Zonas funcionales

Se complementa con la creación de las zonas funcionales, las cuales permiten identificar y clasificar el espacio mediante la pendiente, orografía y curvas de nivel, mejorando la gestión de SEU. Se aplicó el método propuesto por Hernández y Valdés (2018). Primero se delimitó la microcuenca con las curvas de nivel y el modelo digital de elevación. Para generar las curvas de nivel se usó la herramienta Contour del software ArcGis 10.1. Posteriormente se generó un TIN, con estos productos se generó la delimitación de la microcuenca. Después se reclasificó el ráster TIN.

Posteriormente se trabajó en una tabla Excel para generar la curva hipsométrica, con las elevaciones alta, baja y promedio. Se gráfica la superficie en metros cuadrados y las cotas de altitud. Se toman los primeros 20 valores para la zona baja, 30 valores para la zona alta y lo que queda a la mitad se considera zona media, también se toma en cuenta la geomorfología y morfometría. Esta parte se complementa con la hidrología de la microcuenca generando los cauces, el cauce

principal, los órdenes de los ríos y el perfil de elevación del cauce principal, después el ráster anteriormente clasificado se transforma a una capa de polígonos y se modifica con las curvas de nivel. Como resultado final se obtuvo un mapa con las 3 zonas funcionales definidas por los aspectos antes señalados.

2.3.5 Aspectos climáticos

2.3.5.1 Polígonos de Thiessen

Para conocer el área de influencia que tienen las diferentes estaciones climatológicas, se crearon polígonos de Thiessen con el método propuesto por Bateman (2007), dentro del programa ArcMap 10.1 se generaron a través de la herramienta polígonos de Thiessen que crea una salida con polígonos triangulares y área de influencia, después se cortó con el límite de la microcuenca para saber el porcentaje de influencia de que tienen las estaciones sobre esa área.

Para conocer la precipitación se usó la fórmula:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

Pi: es la precipitación puntual de la estación i

Ai: área de influencia de la estación i

2.3.5.2 Análisis de estaciones meteorológicas

Se usó la información del Servicio Meteorológico Nacional, de su base información estadística de estaciones meteorológicas, usando la precipitación máxima en 24 horas, donde se extrajo la media anual de las normales desde 1951-2010, se usó

la tabla generada en Excel para los polígonos de Thiessen, y se generaron la precipitación media anual (PMA) y temperatura media anual (TMA).

2.3.5.3 Balance hídrico

El balance hídrico es el agua que se reparte y recibe durante una precipitación alguna región determinada, evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración, con la fórmula:

$$I = P - ETR - Q$$

Dónde:

I: infiltración

P: precipitación

ETR: evapotranspiración

Q: escurrimiento superficial

Se realizó una interpolación con la herramienta IDW de ArcGis 10.1 de los datos obtenidos de TMA, PMA y evapotranspiración. Para calcular la evapotranspiración se usó el método de Chow (1994) con la fórmula siguiente:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 - \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Donde:

P: precipitación media anual (mm/h)

T: temperatura media anual (C°)

Para conocer el escurrimiento superficial se usó la fórmula:

$$Q = Ce * P$$

Donde:

Ce: coeficiente de escurrimiento

P: precipitación mensual

Se calculó K y K ponderada, se obtuvo el promedio de K con un valor de .268, usando la tabla de rugosidad y los mapas realizados en la parte 1.3 de uso y tipo de suelo, se generó una tabla en Excel donde se calcularon estos parámetros.

Para el coeficiente de escurrimiento (ce) de uso la fórmula:

$$Ce = \frac{K(P-250)}{2000} + \frac{K-0.15}{1.5}$$

Donde:

P: precipitación media

2.3.5.4 Método racional

Para calcular el método racional se usó la fórmula:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q: caudal máximo (m³/s)

C: coeficiente de escurrimiento

I: Intensidad de lluvia (mm/h)

A: área de la cuenca (ha)

Produce resultados aceptables en áreas pequeñas y con altos porcentajes de impermeabilidad, asume que la lluvia es uniforme en el tiempo, lo cual ocurre cuando la duración de la lluvia es muy corta.

Se usó el coeficiente de escorrentía para generar C ponderada con la fórmula:

$$C_{ponderado} = \frac{\sum (C_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

Donde:

C_i: es el coeficiente de escorrentía (tabla)

A_i: área de la microcuenca (ha)

Tabla 1. Coeficiente de escorrentía para zonas urbanas

Tipo de área	Valor de C
Áreas de viviendas unifamiliares	0.3-0.5
Viviendas multifamiliares	0.6-0.75
Zonas industriales densidad baja	0.5-0.8
Zonas industriales densidad alta	0.6-0.9
Pavimentos	0.7-0.95
Ladrillo	0.70-0.85
Techos	0.75-0.95

Fuente: Dobbs. (2020).

Se usa el tiempo de concentración que se obtuvo en la morfometría, con la fórmula:

$$T_c = 0.06628 \cdot (L_{cp}^{0.77} / S^{0.385})$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración en horas

L_{cp}: longitud del cauce principal (km)

S: pendiente media de la cuenca (%)

Para conocer la intensidad de diseño se usó un periodo de retorno de 5 años con la siguiente formula:

$$I = \frac{615 \cdot Tr^{0,18}}{(D + 5)^{0,685}}$$

Donde:

Tr: es tiempo de retorno

D: tiempo de concentración

Para conocer el caudal se usó la formula general del método racional.

2.4 Búsqueda cualitativa

Se debe tener en cuenta que la metodología cualitativa y cuantitativa no son incompatibles, sino que son complementarias. La investigación cualitativa se basa en proporcionar técnicas para comprender las acciones humanas. En otras palabras, es un estudio sistemático de la experiencia cotidiana. El enfoque que se uso fue el de Investigación-Acción que se basa en la indagación y tiene semejanza con la investigación participante. Se caracteriza por centrarse en los problemas encontrados, dentro de una comunidad, pretende aclarar la problemática y resolverla. La búsqueda cualitativa de esta investigación se basa en el método propuesto por Geneletti *et al.* (2020).

2.4.1 Abordaje de SEU en los planes urbanos del municipio y dentro de la microcuenca CSC

Se analizó el contenido de los planes de desarrollo urbano como el Programa de Ordenamiento Ecológico Local, los Planes Parciales de Desarrollo de las delegaciones (Centro histórico, Epigmenio González, Carrillo Puerto y Félix

Osores), Plan Maestro Pluvial 2008-2025, Plan Municipal de Desarrollo, y el Reglamento de Protección Ambiental y Cambio Climático del Municipio de Querétaro; siguiendo el procedimiento propuesto por Geneletti *et al.* (2020). Se realizó un análisis de contenido cualitativo compuesto. Se seleccionaron los servicios ecosistémicos urbanos de regulación climática, recarga de acuífero, regulación de escorrentía, regulación de temperatura, corredores biológicos, tratamiento de desechos, recreación y moderación de eventos ambientales.

Después se determinó la amplitud de inclusión, conociendo la frecuencia de mención de SEU dentro de los planes. Seguido se calculó la inclusión de SEU dentro de los componentes de cada plan (información base, objetivos-metas y acciones), para la información base se usó el indicador de puntaje de amplitud propuesto por Baker *et al.* (2012), exponen una puntuación de 0-4, donde el número más bajo representa que el plan no contiene ninguna prueba del concepto de servicios ecosistémicos, y la más alta cuando el plan muestra una aplicación del concepto de servicios ecosistémicos en el análisis de la oferta local urbana, incluyendo mediciones y evaluaciones detalladas de la demanda y sus beneficiarios.

Para los objetivos y metas se usó el protocolo de puntuación propuesto por Tang *et al.* (2010) quienes adoptaron una escala de 5 puntos, desde 0 (sin inclusión) a 4 (inclusión de alta calidad) donde el plan debe definir objetivos y metas relacionadas con la provisión de SEU. Para las acciones se asignaron puntuaciones binarias solo para registrar su presencia como en Wilkinson *et al.* (2013).

Los resultados de este análisis se usaron para conocer la calidad de inclusión de los componentes dentro de los planes con un puntaje de calidad que va de 0 a 3. Posteriormente, usando los datos de información base y objetivos-metas se calculó el puntaje de profundidad de 0 a 1.00 propuesto por Tang *et al.* (2010).

Después se contabilizaron el número de acciones propuestos para cada SEU dentro de los planes, por último se creó una tabla con cada SEU usando la tipología (conservación, restauración, mejora y nuevo ecosistema), el área objetivo o de destino donde se describió la escala de cada acción, y la herramienta de implementación propuesta (regulatorias, basadas en el diseño, basadas en incentivos, programas de adquisición de tierras u otras), según Geneletti *et al.* (2020) y contabilizando el número de planes en los que se hace mención.

2.4.2 Definición de usuarios y necesidades

En esta etapa se adoptan conocimientos de la etnografía clásica basada en observaciones, experiencias y formas de interacción en el espacio. Se realizó una aproximación etnográfica la cual se dividió en 4 sub-etapas: 1) entendimiento del entorno; 2) revisión hemerográfica elaborada con información de medios electrónicos 3) entendimiento de la comunidad; y 4) contextualización, en todas las etapas se implementó la técnica y método desarrollado por Sheila Pontis (2018).

El primer paso fue entender el entorno. Aplicando la herramienta de recorridos a campo para entender el lugar, se realizaron 3 recorridos por toda la microcuenca abarcando un porcentaje aproximado del 70% de la misma. En estos recorridos se aplicaron 50 fichas de observación no participante para la identificación de características del espacio, esto durante distintos horarios del día, y en diferentes usos del suelo urbano (Tabla 2), con el objetivo de tener una visión etnográfica, y así realizar aproximaciones representativas al lugar. Algunos aspectos que se tomaron en cuenta fueron las dinámicas espaciales; apropiación, actividades recurrentes y entornos. Sus procesos y flujos; movilidad, tránsito, horarios de la calle), entre otros.

Tabla 2. Ficha de observación no participante

Fecha:							
Coordenadas	Latitud						
	Longitud						
Nombre/lugar							
Descripción							
Observaciones							
Uso	Conservación	Protección/ Restauración	Cultural	Deporte	Bienestar	Comercio	
Tipo de Cob.veg.	Árboles		Pasto	Arbustos			
	Jardín		Parque	Camellón			
Densidad	0-30%/ bajo		31-61%/ medio	62-100%/ alto			
Altura árboles y matorrales	1m		3m	Más de 3m			
	30-59cm		1m	1.50m			
Estacionalidad	Perenne		Caducifolia	Mixto			
Tipo de suelo	Pavimento/Concreto Adoquín/ Empedrado		Calle / Avenida	Tierra /Concreto Pasto/Otro			
Espacio público	# personas						
Infraestructura	Pluvial		Nada	Drenaje			
Pendiente	Orientación						
	0-25		25-55		Más de 55		
Clima	Percepción de calor						
	Agradable/Fresco			Bochornoso/Caluroso			
Dinámica espacial	Apropiación		Actores recurrentes	Entorno			
				Habitacional	Comercio	Industrial	Mixto
Procesos y flujos	Movilidad		Transito		Horarios de la calle		

Fuente: Elaboración propia.

Lo segundo fue determinar los puntos susceptibles a riesgo de avenidas torrenciales, por lo que se hizo una revisión hemerográfica virtual de diversos periódicos digitales que circulan en el municipio de Querétaro, además de hacer una revisión digital de imágenes, videos y publicaciones realizadas en la red social Twitter durante fechas donde se presentaron afectaciones por lluvia. Se generó una base de datos obteniendo: colonia, calle, tipo de afectación y fecha. Esto se conjuntó con recorridos a campo para ubicar, corroborar y crear una base de datos sobre las condiciones que hay en cada sitio señalado por las personas en redes virtuales.

El tercer paso fue aplicar encuestas, que están dirigidas a la población de la microcuenca, para contar con una aproximación de sus comportamientos y formas de pensar. Así como descubrir su percepción, relatos, valores y actitudes hacia su espacio vivido.

Existen varios tipos de encuestas, en esta investigación se usará una encuesta de opinión, para averiguar lo que el público en general piensa acerca de una determinada situación. Se generó un cuestionario sobre los hechos y aspectos que interesan a los encuestados. El cuestionario de esta investigación se presenta bajo el esquema de un Cuestionario-lista. El tipo de preguntas que se aplicaran son cerradas, están serán de identificación, hecho, acción, información, intención y opinión.

Se realizó un muestreo probabilístico, el tamaño de muestra se obtuvo con la población total (152,000 personas), a partir de esto se estableció un nivel de confianza de los datos de 90% y un margen de error de 10%. Por lo que se aplicaron 97 encuestas, a personas que habitan o trabajan sobre las principales avenidas y zonas donde se han presentado afectaciones hidrometeorológicas según la revisión hemerográfica con fuentes virtuales, se eligió a este grupo poblacional ya que son quienes han presenciado el riesgo de ser afectados por la

lluvia y la baja cobertura vegetal, fueron repartidas en seis zonas de la microcuenca, esto para tener un resultado lo más homogéneo posible en cuanto a la superficie de obtención de datos. Esta segunda etapa sirvió para establecer una aproximación colaborativa al manejo de los SEU.

Como cuarto y último paso se conceptualizó la información haciendo una búsqueda de los datos recolectados, localizando los verbos que mejor representaron las necesidades y deseos de los encuestados, priorizando según las palabras más repetidas.

Capítulo 3. Resultados y consideraciones finales

3.1 Exploración biofísica

3.1.1 Morfometría

El análisis morfométrico permitió describir el comportamiento del agua dentro de la microcuenca. Para conocer los datos de forma, relieve y drenaje se usaron diversas fórmulas y se calcularon los valores para cada sección. Con ayuda del MDE, curvas de nivel e hidrología se definieron las superficies, longitudes y distancias.

La superficie de la microcuenca es de 22.48 km², el coeficiente de Gravelius (1.33) nos indica que es de forma oval-oblonga achatada con un mayor peligro de presencia a crecidas o avenidas torrenciales. El relieve de la microcuenca se realizó con la curva hipsométrica la cual indica un 8.8 % de pendiente. Indica un relieve con algunas zonas de lomeríos y cañadas, su altura media es de 1905 msnm, la elevación media es de 1833 msnm. Muestra una rápida deposición de sedimentos de la parte media y alta a la baja. Su orientación es dirección Norte-Sur, esto quiere decir que el cauce principal no recibe insolación uniforme en las dos vertientes durante el día.

Los indicadores relacionados al drenaje la clasifican como una cuenca exorreica interpluvial con una longitud del cauce principal de 7.5 km. Tiene diferentes corrientes de agua que la convierten en orden 3, su relación de bifurcación es de 1.4 y una densidad de drenaje de 2.1 km²/km², la estructura de la microcuenca cuenta con un tiempo de concentración de 8.4 minutos lo que indica que drena rápidamente. Nos indica que por su pendiente, forma y tipo de suelo es propensa a presentar avenidas torrenciales y crecidas de agua repentinas.

Tabla 3. Morfometría de la microcuenca

	Parámetro	Símbolo	Unidades
FORMA	Área de la cuenca (Ac)	Superficie comprendida dentro del Parteaguas Raíz=4.74	22.48 Km ²
	Perímetro de la cuenca (Pc)	Longitud de la línea del parteaguas	22.27km
	Longitud axial de la cuenca (Lc)	Distancia del punto más alejado del exutorio de la cuenca que sigue el comportamiento del río principal y toca el extremo del parteaguas	7.29 km
	Ancho promedio de la cuenca (W)	$W=Ac/Lc$	3.08 Km ² /km
	Coefficiente de compacidad o de Gravelius (K)	$K=0.282*Pc/\sqrt{Ac}$ (4.7) K=1.33	Clase: Kc4 Forma oval redonda a oval-oblonga
	Factor de forma (Rf)	$Rf=W/Lc$ Rf=0.42-2.3	Cuenca achatada, con tendencia a la ocurrencia de avenidas
	Relación de elongación (Re)	$Re=1.128*\sqrt{Ac}/Lc$ Lm=49.64/7.75 Re=.68	Relieve pronunciado con planicies
	Índice de homogeneidad (Ih)	$Ih=Ac/Sz$ Sz=48.12 Ih=2.14	Forma rectangular, cuenca menos homogénea y alargada
RELIEVE	Curva hipsométrica (Ch)	Expresa la distribución del área de acuerdo a su elevación dentro del límite de la cuenca.	Curva tipo C, típica de una cuenca sedimentaria en fase de vejez
	Pendiente de las cuencas (S)	$S=100 [(H*L)/Ac]$	8.8%
DRENAJE	Densidad de drenaje (Dd)	$Dd=Lcorr/Ac$ Lcorr=45.29	2.01 Km ² /km ²
	Densidad de corrientes (Dc)	$Dc=Ca/Ac$	1.33 Corr/km ²
	Orden de la cuenca	según Schumm y Strahler	3
	Relación de bifurcación (Rb)	$Rb=Nn/Nn+1$, $Rb=(Rb1+Rb2+Rbn)/\text{número de Rbs}$	1.4
	Tiempo de concentración (tc)	$Tc= 0.06628*(Lcp0.77/50.385)$	0.14 Horas (8.4minutos)

Fuente: Elaborado con información de Valdés (2020).

3.1.2 Zonas Funcionales de la microcuenca

Al contar con las características morfométricas de la microcuenca, se crearon dos mapas donde se muestra la cobertura vegetal y las zonas funcionales en las que se divide la zona de estudio, para comprender mejor la dispersión de los servicios ecosistémicos urbanos desde una perspectiva de cuenca.

En cuanto a las zonas funcionales (Figura 3), podemos observar que la parte alta se encuentra entre las cotas 1895-1967 msnm, la zona media de 1833-1894 msnm y la zona baja de 1806-1832 msnm.

La zona alta se ubica en la parte Noreste sobre suelo altamente sellado y oeste con presencia de selva baja subcaducifolia, cañadas y menor sellamiento del suelo.

La zona media se ubica en la parte Este con algunos baldíos, pastizal y matorral, así como suelo sellado por pavimentos, concreto, adoquín y empedrado, y Noreste con suelo sellado por pavimentos y pequeñas zonas de adoquín y empedrado, con vegetación muy dispersa y poco densa.

La zona baja se ubica sobre gran parte de la zona industrial donde hay dos contrastes de suelo, por un lado, gran porcentaje de techos con lamina acanalada, concreto y pavimento, y por otro pasto y algunos manchones de selva baja subcaducifolia y matorral, tiene un suelo arenoso y arcilloso, se asienta sobre depósitos lacustres y pluviales que va de los 6 a los 10 metros de profundidad.

Este mapa contribuye a que la investigación se realice bajo un enfoque de cuenca, tomando en cuenta cada parte de la misma, en esta caso la microcuenca presenta una diferencia muy marcada entre cada zona funcional por la pendiente de la misma. Así como la presencia de eventos hidrometeorológicos se diferencian según sea la zona funcional. De igual manera facilita la propuesta de soluciones que puedan ser implementadas según la necesidad de la población.

Zonas funcionales MCSC

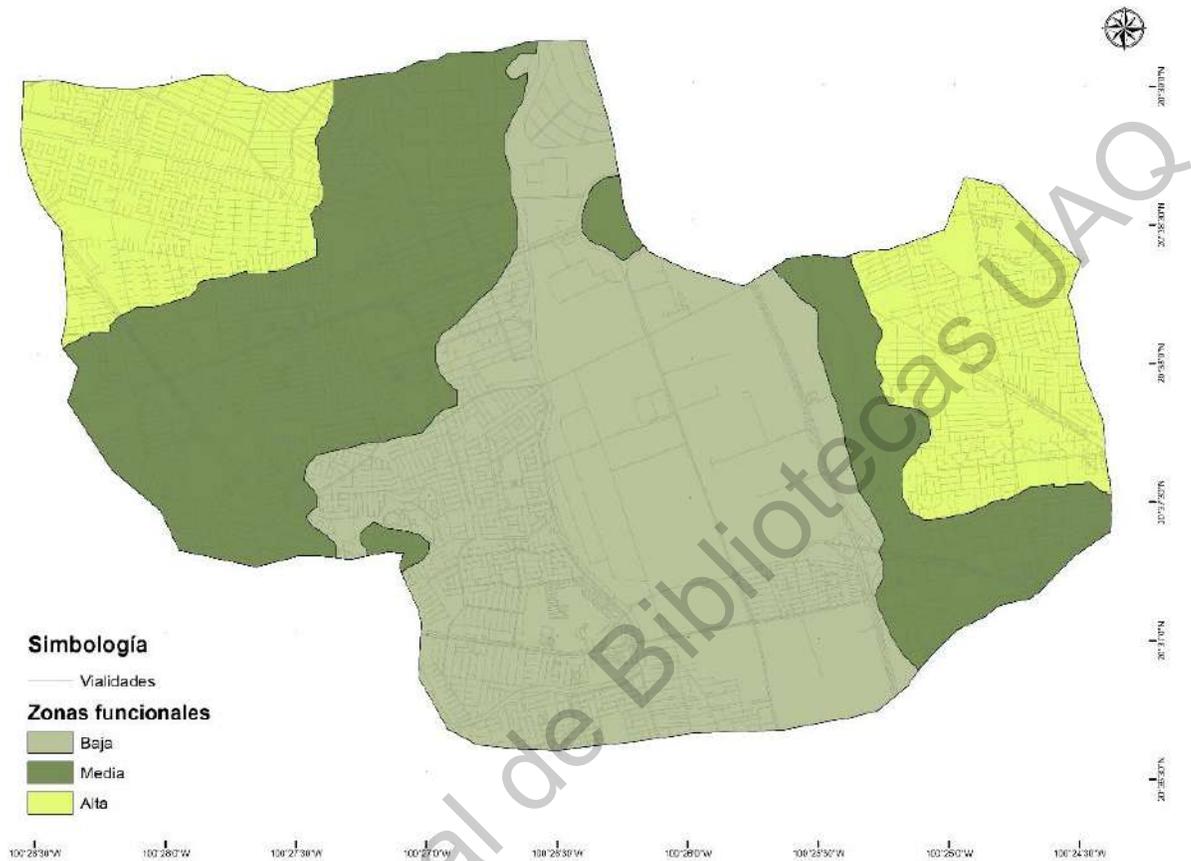


Figura 3. Zonas funcionales de la MCSC. Fuente: elaboración propia con datos de (Hernández y Valdez, 2018).

3.1.3 Reconocimiento de cobertura vegetal con NDVI

Se realizó el análisis del mes de octubre de 2020 para reconocer aquella vegetación con rangos mayores a 0.60, ya que son los puntos donde se presentan condiciones adecuadas de humedad, follaje verde y alta densidad. Este mes es aquel donde la humedad presenta su mayor porcentaje durante ese año, la figura 4 muestra valores máximos de 0.89 y mínimos de -0.19, lo que significa que aquellos que están entre 0-3 es vegetación marchita y con una baja densidad, es aquella que está a punto de secarse o no cuenta con ningún tipo de nutriente, se puede observar en pixeles con tonalidades rojas, los valores entre 4-6 nos muestran que

las hojas y follaje de la cobertura vegetal está en buenas condiciones es decir con un verdor y presencia de densidad media estos pueden verse en pixeles de tonalidad amarilla, los valores entre 7-9 reflejan la vegetación que cuenta con una densidad alta y que además muestra la capacidad de tener una buena condición vegetal y desarrollo óptimo, así como un porcentaje alto de humedad, estos pueden observarse en pixeles de tonalidad verde.

Los servicios ecosistémicos que provee la cobertura vegetal de la microcuenca, son aprovechados en algunos puntos y normalmente representan malezas, pastos y matorrales los cuales ocupan un 9.3 % de la superficie de en la microcuenca, aquellos pixeles que aparecen con valores de 0.6 a 0.9 pueden regular la temperatura durante meses de secas, sin embargo esta regulación es deficiente. Los valores menores a 0.6 disminuyen su capacidad de proporcionar un servicio ecosistémico urbano.

En cuanto a la regulación de esorrentía pluvial puede observarse que el dosel de los árboles no es suficiente para detener la lluvia por lo que gran parte de la microcuenca se encuentra descubierta por así decirlo. Es importante señalar que la cobertura vegetal se encuentra aislada en jardines, parques y algunos camellones, por lo que la prestación de servicios se ve seccionada y alejada de la población.

NDVI octubre 2020

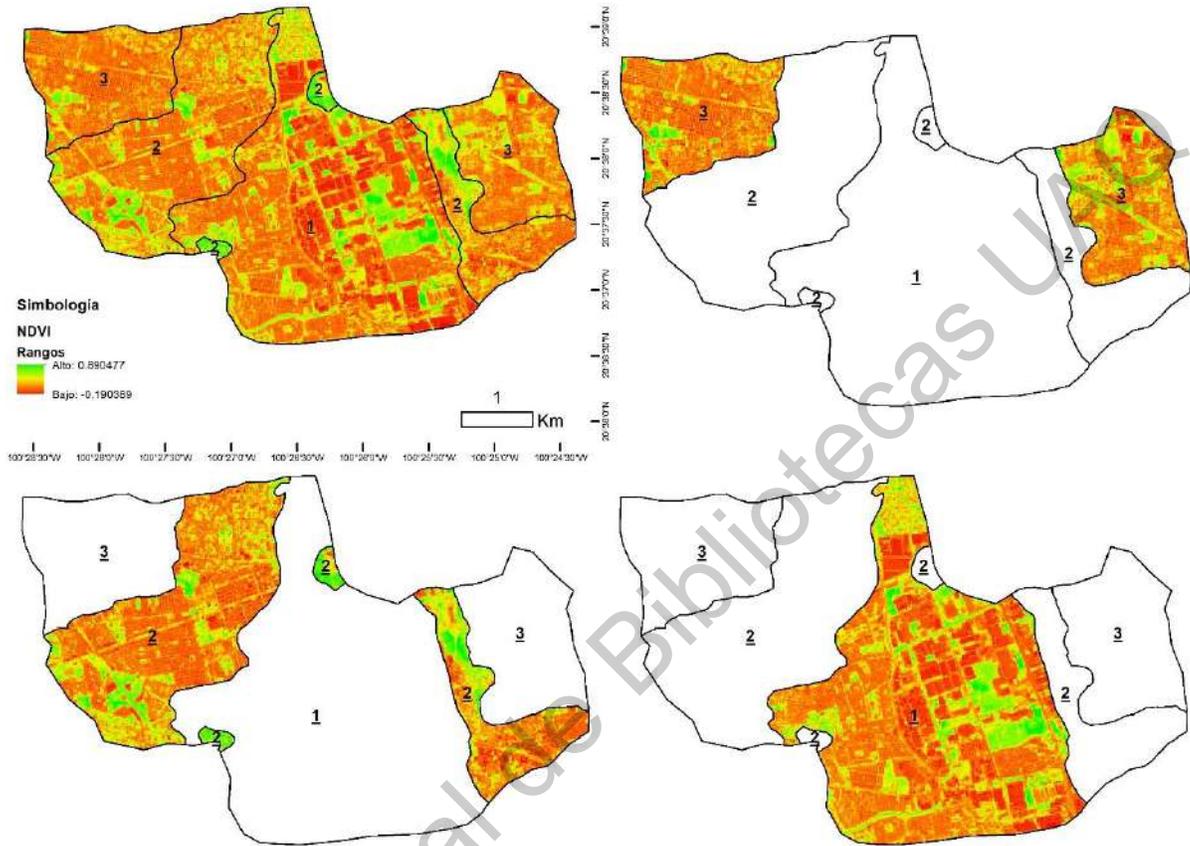


Figura 4. Índice de vegetación de diferencia normalizada para la microcuenca Colinas de Santa Cruz. Fuente: Elaborado con información de Earth Explorer (2021).

3.1.4 Superficies y rangos NDVI

A continuación en la figura 5 se presentan las superficies dentro de la MCSC y los rangos de NDVI que presenta cada una, así como la superficie que ocupa en metros cuadrados. Además en las figuras 6,7 y 8 se muestra la información por zona funcional.

En cuanto a la zona baja (figura 6) se observa en la tabla 4 que aquella con mayor presencia son los Pastos con 923.8 m², le sigue con 369.1 m² la SBSC, los Baldíos con 362.3 m² y los Jardines de las empresas y públicos con 324.6 m². En cuanto a los rangos de NDVI son el Pasto, Jardines y la SBSC aquellos de mayor superficie con el rango máximo de 0.89. Sin embargo solo los Pastos y la SBSC cuentan con mayor presencia de superficie, el primero entre los rangos 0.70-0.60 y los segundos entre 0.80-0.70. Esto quiere decir que las áreas con pasto en las empresas tienen una gran extensión y que estos presentan una adecuada humedad. En cuanto a la SBSC se tiene presencia de una buena estructura y densidad de follaje.

La zona media (figura 7) presenta tipos de superficie diferente, en su caso es el Baldío, la SBSC y el Matorral aquellos con mayor superficie. La SBSC es aquella con mayor superficie en cuanto a los rangos NDVI que se muestran en la tabla 5, sobre todo en 0.89 y 0.80. El Baldío tiene mayor superficie en los rangos de 0.70 a 0.50. Y el Matorral entre 0.50 y 0.60. Quiere decir que la SBSC se encuentra vigorosa en esta época del año con un buen estado fitosanitario, en cuanto a los Baldíos y Matorral, se encuentran en un estado medio a bueno, con una buena estructura pero baja densidad.

La zona alta (figura 8) presenta solo una superficie con gran tamaño, se trata del Baldío con 537.5 m² y en mucho menor número Parques lineales y Parques comunes ambos suman 69 m². El tipo de suelo con mayor rango de NDVI es el Baldío alcanzando su mayor superficie en el rango de 0.30 esto quiere decir que la cobertura vegetal de esta zona funcional es muy baja y su salud está en estado crítico, su rango representa baja humedad, estructura, densidad y clorofilia. Por lo que es necesario incrementar y conservar la ya existente sobre todo aquella relacionada con SBSC y arbolado.

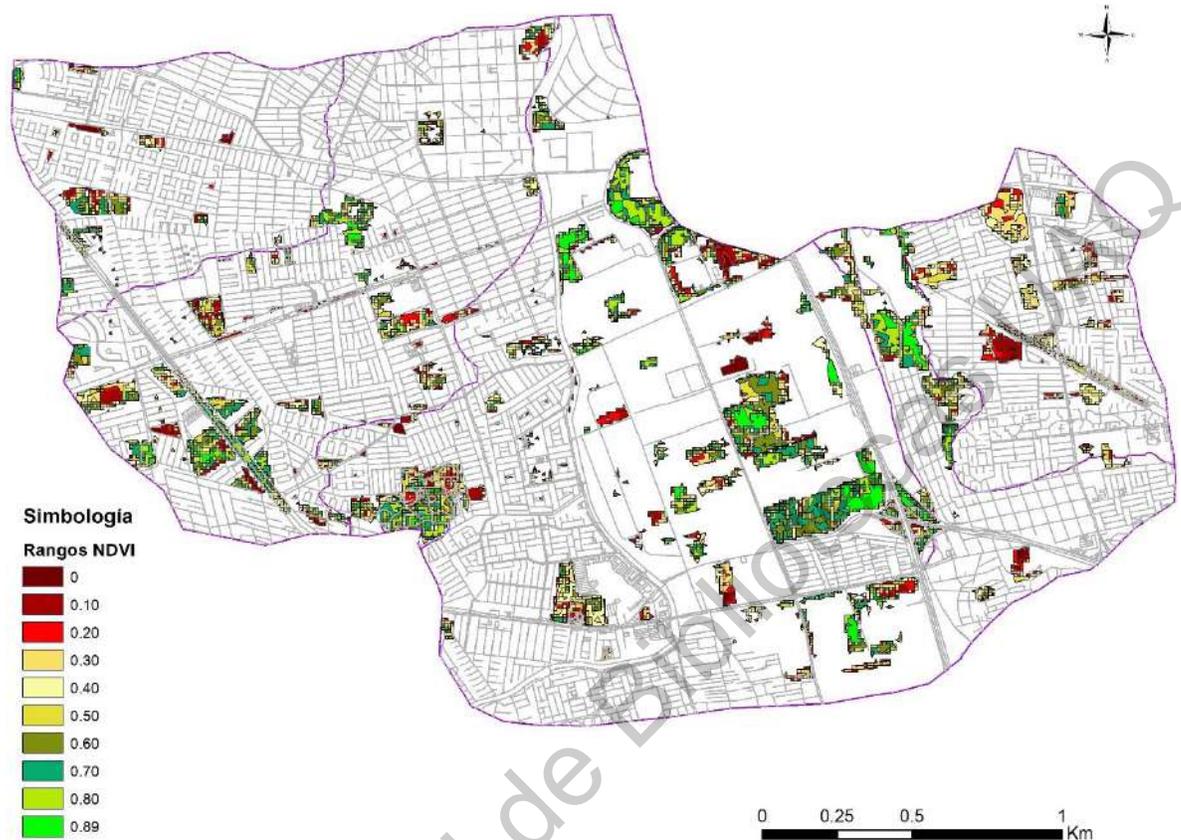


Figura 5. Superficies de la MSCS. Elaboración propia.

Tabla 4. Áreas de superficies y rangos NDVI zona baja

Rangos/ZB	Arbolado	Baldío	Jardín	Jardinera	Matorral	Parque	Pasto	SBSC
0	5.1	30.0	44.5	15.8	8.7	6.6	60.9	11.6
1	0.0	9.6	0.3	1.2	0.0	4.8	61.1	0.0
2	0.0	37.7	13.3	2.9	0.0	15.9	55.2	0.0
3	0.5	36.9	18.5	5.6	1.1	24.8	58.5	0.8
4	1.0	44.2	20.8	7.4	2.4	28.0	72.4	0.8
5	1.0	73.2	24.7	6.2	7.3	24.7	87.0	18.9
6	1.8	54.7	28.3	5.9	13.3	46.4	115.0	34.0
7	0.2	37.0	26.4	4.4	28.1	29.6	161.2	84.9
8	0.7	26.1	36.3	6.9	31.2	19.9	95.3	115.2
9	0.6	13.0	43.9	5.7	19.7	6.3	82.4	45.4
10	0.0	0.0	67.8	7.3	1.1	0.8	74.8	57.6
Total	10.9	362.4	324.6	69.4	112.9	207.7	923.8	369.2

Fuente: Elaboración propia con datos del NDVI.

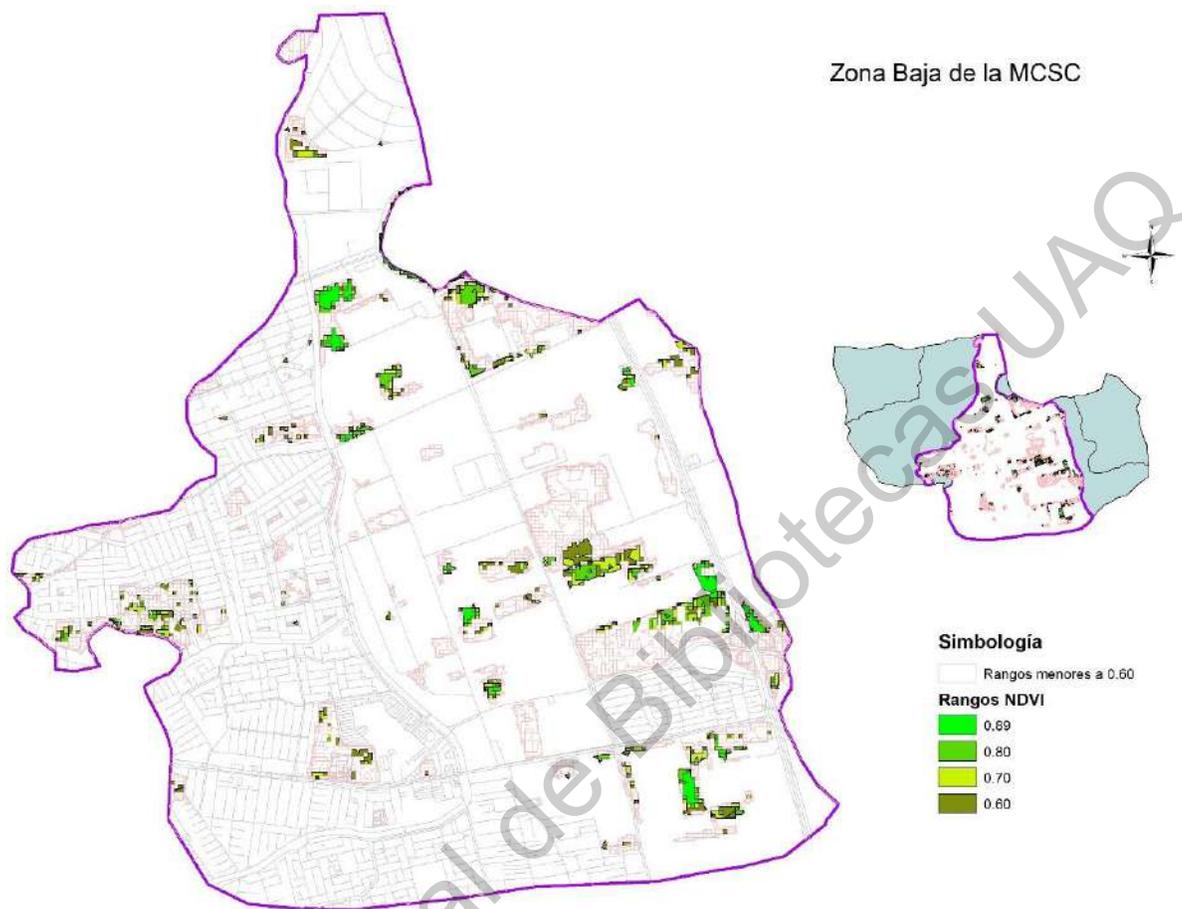


Figura 6. Rangos de NDVI entre 0.60 y 0.89 en la zona baja de la MSCS. Elaboración propia.

Tabla 5. Áreas de superficies y rangos NDVI zona media

Rangos/ZM	Arbolado	Baldío	Jardín	Camellón	Deportiva M ²	Jardinera	Matorral	Parque	SBSC
0	2.4	79.8	3.2	5.8	2.7	19.1	10.2	1.6	25.6
1	0.0	26.1	0.0	0.0	3.1	3.5	0.0	0.0	2.1
2	0.2	50.1	0.2	0.0	4.9	10.2	2.0	0.0	2.9
3	0.2	60.3	1.7	0.0	8.5	9.7	2.7	2.5	3.2
4	0.6	87.2	3.2	2.5	11.2	4.5	9.2	1.0	1.3
5	0.2	99.4	3.4	7.1	11.5	2.8	26.3	0.2	16.1
6	0.4	139.7	4.4	5.9	19.4	3.6	40.0	3.6	21.3
7	0.3	134.4	2.2	6.8	44.0	1.5	53.8	1.4	39.8
8	0.2	124.1	1.3	12.0	1.1	1.3	38.0	0.7	76.1
9	0.0	78.8	2.2	9.4	1.1	0.3	39.9	0.4	164.2
10	0.0	27.7	0.0	0.8	0.0	0.3	6.8	0.0	70.7
Total	4.5	907.8	21.7	50.3	107.5	56.9	228.9	11.3	423.4

Fuente: Elaboración propia con datos del NDVI.

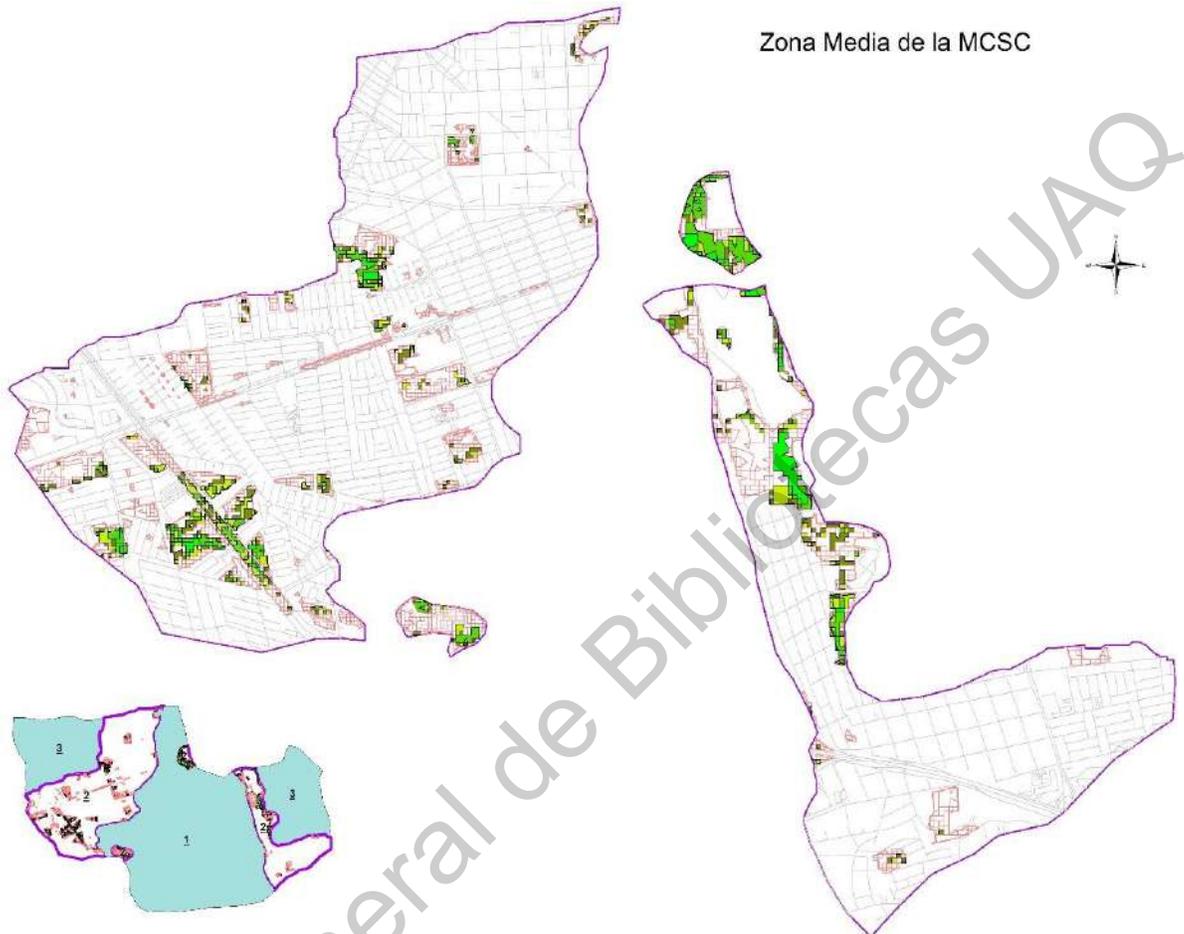


Figura 7. Rangos de NDVI entre 0.60 y 0.89 en la zona media de la MSCS. Elaboración propia.

Tabla 6. Áreas de superficies y rangos NDVI zona alta

Rangos/ZA	Arbolado	Baldío	Camellón	Jardín	Jardinera	Matorral	Parque	Parque Lineal	Pasto	SBSC
0	1.5	40.2	1.5	0.5	4.3	1.3	3.4	6.6	1.0	4.6
1	0.0	26.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	61.0	0.0	0.1	1.0	0.0	1.8	3.7	0.0	0.0
3	0.7	55.2	0.0	0.0	1.9	0.0	4.7	6.0	0.5	0.3
4	0.8	107.2	0.4	0.1	0.3	0.0	3.7	11.5	2.3	0.8
5	0.0	81.4	1.9	0.3	0.5	3.0	2.7	4.1	4.1	2.6
6	0.8	82.3	2.7	0.9	0.0	1.1	3.4	3.4	0.3	2.9
7	0.4	35.6	1.2	0.0	1.1	1.1	3.7	1.5	0.0	2.5
8	0.0	33.7	0.0	0.0	0.2	0.0	5.7	0.0	0.0	2.7
9	0.0	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.2
10	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	1.6
Total	4.3	537.5	7.7	1.8	9.5	6.6	32.0	36.9	8.2	20.2

Fuente: Elaboración propia con datos del NDVI.

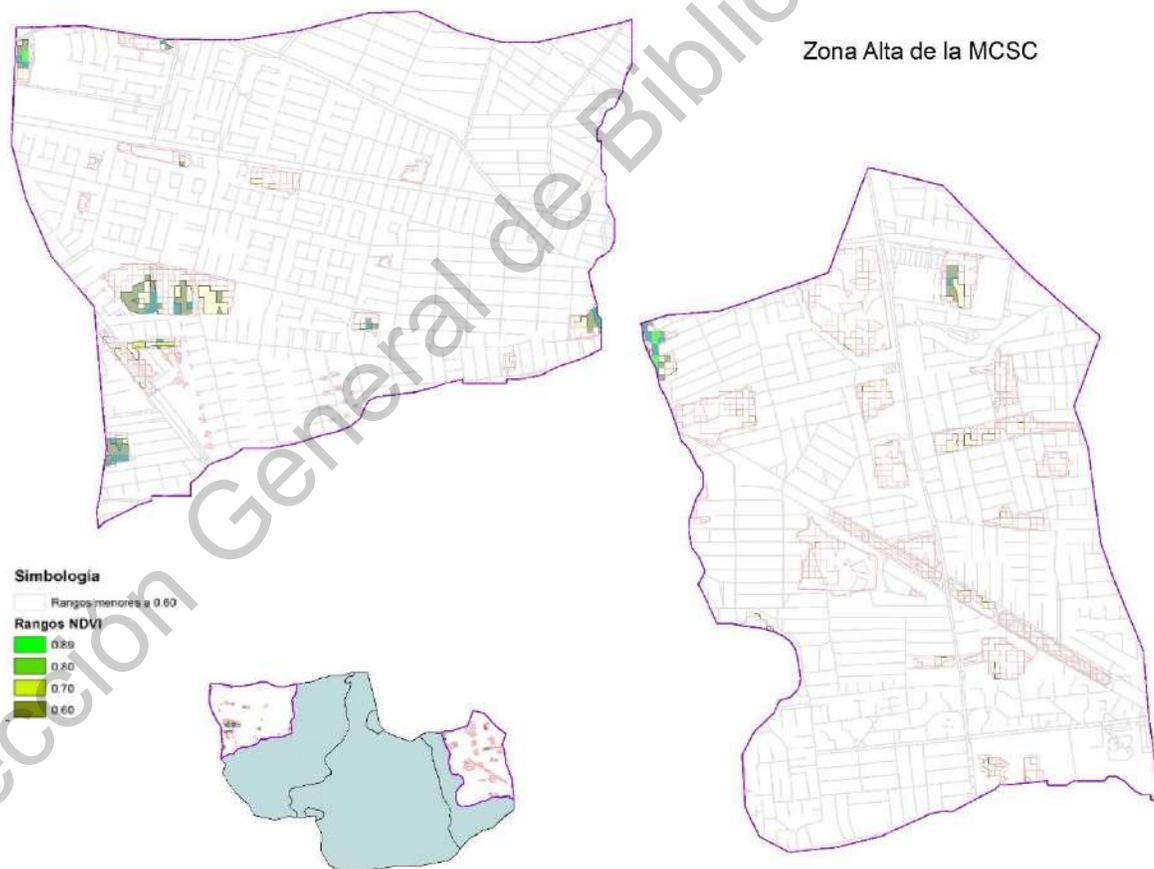


Figura 8. Rangos de NDVI entre 0.60 y 0.89 en la zona alta de la MSCS. Elaboración propia.

3.1.5 Análisis de vegetación

Con diferentes bandas del espectro electromagnético se generaron mapas para conocer el vigor de la vegetación, del infrarrojo cercano y un análisis de la cobertura vegetal presente. Cada uno cuenta con una comparación de imágenes satelitales obtenidas de la ESA (Agencia Espacial Europea) Misión Sentinel-2 del 15/03/2020 y 01/10/2020, la primer fecha se elige por la poca humedad que puede apreciarse en la vegetación y suelo durante este mes, y el otro por ser un mes con gran acumulación de humedad por la temporada de lluvias.

3.1.5.1 Vigor de la vegetación

Para visualizar aquella vegetación con valores altos de su estado fitosanitario, es decir la condición de salud que se aprecia a simple vista por el vigor, color de su follaje, o todo lo contrario con marchitamiento, se realizó una mezcla de bandas satelitales 8A, 11 y 2 provenientes de Sentinel 2-A. Se presentan dos fechas la primera es del 15 de marzo de 2020 la cual fue seleccionada después de realizar una revisión a los datos históricos de lluvia, donde se observa que los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo son aquellos con presencia de nulas lluvias, si bien hay años con datos de lluvias dentro de estos meses, son los que pueden considerarse de secas en regiones como el semidesierto donde el agua escasea sobre todo en entornos rurales, de esta manera marzo se elige por ser el último mes sin presencia de lluvias en todos sus años de registro.

Por su parte la selección de la segunda fecha, 01 de octubre de 2020 fue por ser el antepenúltimo mes antes de que termine la temporada de lluvias, concentrando gran biomasa vegetal en estas fechas antes de que comiencen a tirar sus hojas y flores por estar en una región donde la selva baja caducifolia guarda su energía para el invierno tirando gran parte de su estructura foliar entre octubre y noviembre.

En la figura 9 se muestra la imagen con fecha de marzo, donde la densidad en la cobertura vegetal es baja, y solo aquellas zonas aisladas de selva baja subcaducifolia en la parte media y baja de la microcuenca preservan su estructura y densidad aún con poca presencia de humedad.

En la parte alta de la microcuenca la densidad de la vegetación es baja, esto se observa en pixeles color verde correspondiente a baldíos y parques.

La parte media oeste cuenta con una estructura vegetal compuesta por matorrales y pastos, así como algunos mezquites y vegetación común de la selva baja subcaducifolia, la cual presenta pixeles con un verde oscuro, esto refiere que la biomasa presente tiene una densidad media y alta, se puede observar que las partes medias aisladas cuentan con la misma condición.

En la parte baja se asienta la zona industrial y una extensión considerable de zona urbana, sobre el cauce principal se observan en su comienzo y final pixeles con tonos rojos, representando tramos donde la humedad de las yerbas y suelo desnudo se refleja sin algún tipo de sellamiento, en cuanto a la zona industrial se pueden observar pixeles en naranja intenso y verdes claros los cuales representan los pastos de las canchas y jardines de las empresas, las cuales cuentan con una densidad baja pero alta humedad, esto por tener sistemas de riego automatizado.

En la figura 10 se observa la imagen del mes de octubre, donde se presenta mayor humedad en las hojas y suelo, por lo que la densidad es mayor a la del mes comparado anteriormente, en este resultado se observan a grandes rasgos dos grupos de pixeles, por un lado los azules, morados claro y blancos que representan las edificaciones de viviendas, naves industriales y calles, por otro los pixeles en tonalidades naranja que representan la cobertura vegetal presente, siendo los tonos más oscuros aquellos con una densidad alta.

En la parte alta se extienden varios pixeles de esta tonalidad naranja representando vegetación dispersa en lo urbano.

En la parte media presenta pixeles en tonalidades naranja obscuro sobre todo en la selva baja subcaducifolia mencionada anteriormente, de igual manera aumenta la cantidad de estos pixeles por el crecimiento de pastos y malezas en los baldíos, parques y jardines.

Sobre la parte baja se intensifica la tonalidad del naranja en las canchas y jardines de la zona industrial donde la densidad de la cobertura vegetal es baja, en esta zona se pueden observar algunas líneas de pixeles con esta tonalidad representando pequeños corredores de árboles altos con un follaje de densidad media.

De manera general se aumenta la presencia de cobertura vegetal sobre todo pastos y malezas, así como el verdor de árboles, arbustos y matorrales. La estructura de la vegetación presenta un mayor vigor y densidad. Sin embargo esto no es suficiente para proveer adecuados servicios ecosistémicos urbanos.

Vigor de la vegetación marzo 2020



Figura 9. Análisis del vigor en la cobertura vegetal de la microcuenca marzo 2020.

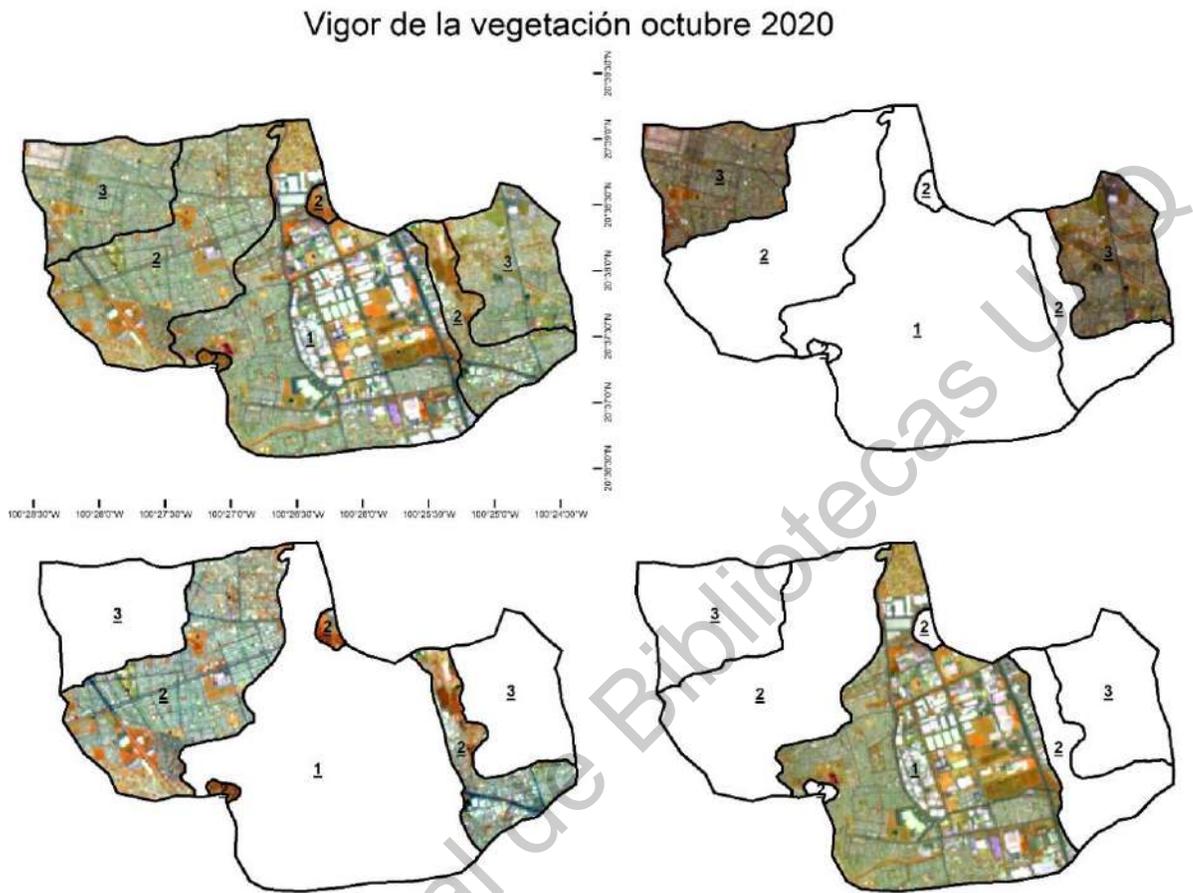


Figura 10. Análisis del vigor en la cobertura vegetal de la microcuenca mes de octubre 2020.

3.1.5.2 Vegetación infrarroja

En esta combinación se agregan las bandas 8, 4, 3 de Sentinel 2-A, la banda 8 permitió observar aquella vegetación que refleja más humedad, la banda 4 una diferenciación de suelo y vegetación, y la banda 3 muestra el vigor de la vegetación. En esta combinación de bandas es más visible la diferencia de vegetación de un mes que no se encuentra en la temporada de lluvias y otro que sí.

En la comparación del mes de marzo de 2020 se pueden observar en la figura 11 dos tipos de tonalidad, por un lado los rojos intensos y por otros cafés rojizos, los primeros se ubican en zonas de constante humedad sobre todo en áreas verdes, la segunda tonalidad se observa en vegetación nativa con una densidad alta. Se puede apreciar que en la parte alta la cobertura vegetal que se encuentra sobre algunas áreas de baldíos y jardines dispersos presenta una baja densidad. La parte media muestra áreas de selva baja subcaducifolia con estructura densa en su lado este así como en los dos puntos aislados de norte y sur, también se observan líneas de píxeles representado árboles con densidad alta sobre todo en la parte sur de esta zona funcional, al centro se observan algunos baldíos con malezas y pastizal, al norte se observan píxeles dispersos color rojo que representan el follaje de árboles dispersos.

Por último, la parte baja presenta tonalidades de rojo intenso provenientes de canchas y jardines, en esta parte también existe una extensa área de selva baja subcaducifolia resguardada por una malla, también presenta píxeles rojos oscuros. La humedad de este mes es baja, se distingue que las áreas donde puede existir vegetación suelen tener una baja densidad de la misma, y solo las áreas señaladas de selva baja subcaducifolia mantienen cierto grado de vigor por encontrarse en zonas aisladas.

Por su parte, el mes de octubre presenta en la figura 12 un aumento en la densidad de la vegetación esto es visible y se debe a la cantidad de humedad apta para que toda la cobertura vegetal se desarrolle, tenga un adecuado vigor y que su estado fitosanitario sea apropiado para proporcionar el servicio ecosistémico de regular la temperatura en puntos zonales y no en toda la microcuenca. Ya que es sobre todo en puntos alejados de la población donde se están prestando estos servicios, dejando la zona alta y media sin ningún beneficio.

En el infrarrojo cercano de Sentinel 2-A se caracteriza a la cobertura vegetal verde y vigorosa por su alta reflectancia, por lo que en meses de temporada de lluvias se observa este incremento de zonas con píxeles rojos, la tonalidad aumenta en la

vegetación con una densidad baja poco lo es en las áreas verdes de la zona industrial, las áreas más densas son aquellas con mayor humedad en la vegetación siendo la selva baja subcaducifolia aquella con estas características.

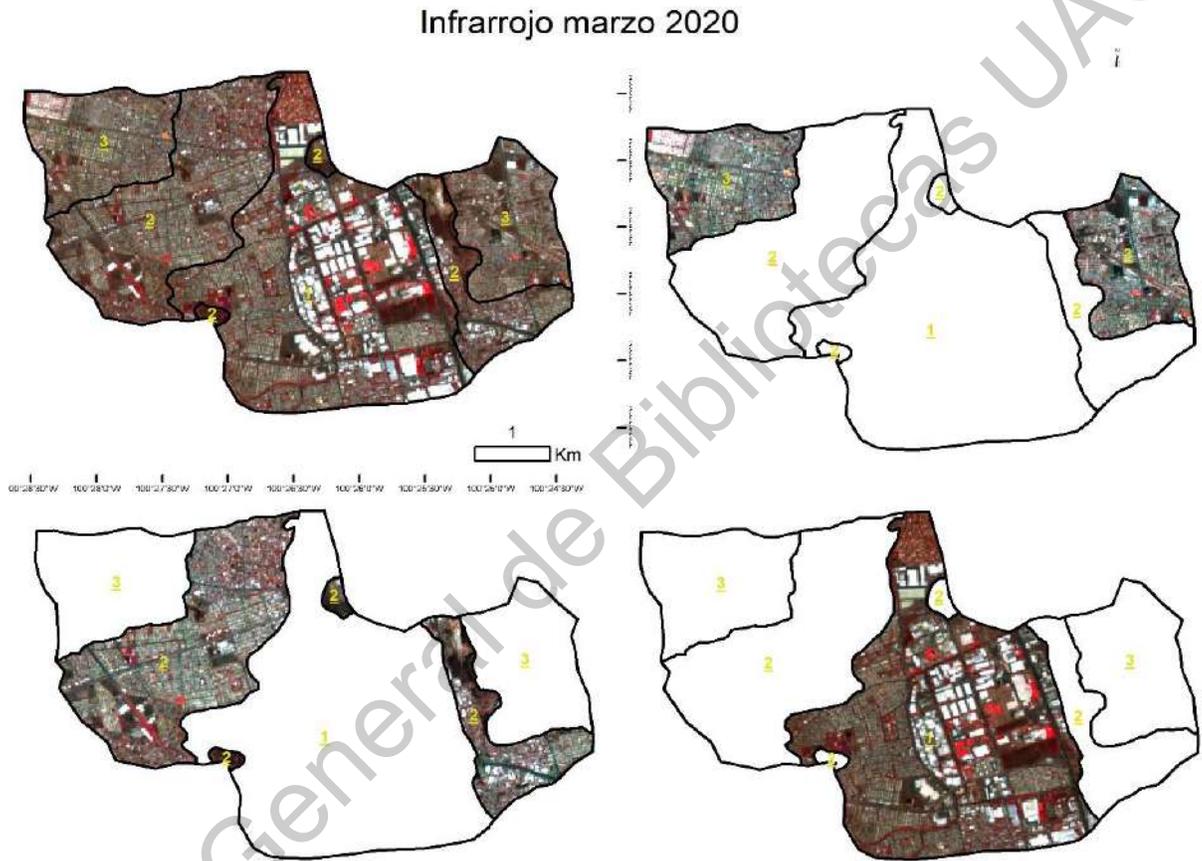


Figura 11. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar el infrarrojo del mes de marzo.

Infrarrojo octubre 2020

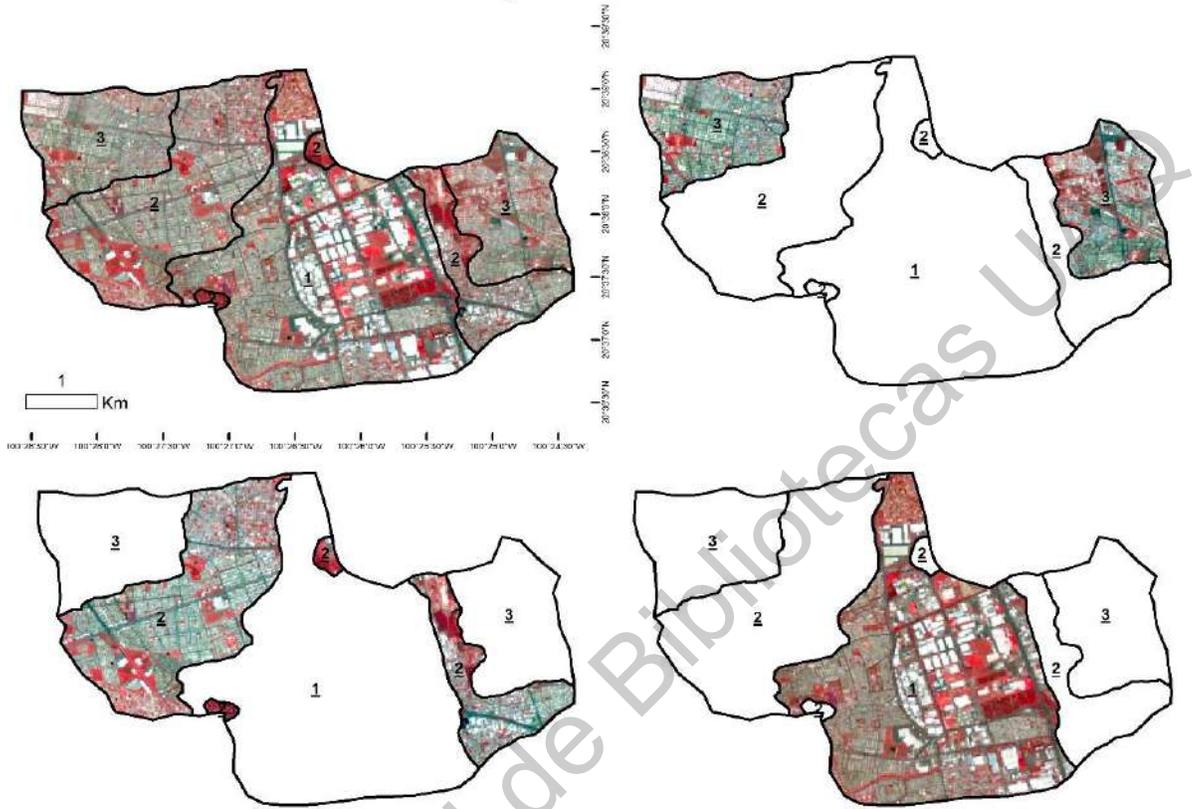


Figura 12. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar el infrarrojo del mes de octubre.

3.1.5.3 Presencia de la vegetación

Esta combinación de bandas 11, 8A, 4 de Sentinel 2-A permitió observar toda la vegetación presente en la microcuenca, tenga o no un buen estado fitosanitario. Ya que solo refleja la vegetación y el suelo presente en la microcuenca, de esta manera las calles y vialidades quedan evidenciadas en tonalidades grises y blancas, mientras que en tonalidades verdes y café rojizas la cobertura vegetal.

En el mes de marzo se puede apreciar en la figura 13 una baja densidad de vegetación, si bien como se observó anteriormente, hay puntos con alta humedad por riego gran parte de las zonas mencionadas donde se encuentra la cobertura

vegetal se muestran en café rojizo oscuro donde se muestran suelos desnudos con baja densidad de vegetación. Las partes altas y medias de la microcuenca registran una cobertura baja con hojas sin nutrientes y humedad suficiente para proveer servicios ecosistémicos urbanos. La parte baja muestra en la zona urbana una nula aparición de vegetación suficiente para el mismo fin anterior. Solo la parte norte presenta un área que provee la regulación de temperatura en esta época, por los terrenos de gran extensión y jardines con cobertura vegetal suficiente para reflejar su presencia en tonalidades verde intenso.

El mes de octubre muestra en la figura 14 como las áreas café rojizas aumentan su estructura y pueden reflejar su adecuado estado fitosanitario, de igual manera se pueden ubicar zonas que pueden ser intervenidas para la creación de áreas que permitan regular el flujo de agua durante lluvias y que a su vez puedan incrementar su densidad, sin embargo estos baldíos solo representan el crecimiento anual de pastos y malezas que si bien son alimento para aves e insectos, no logran prestar más funciones.

De igual manera este aumento de densidad no es funcional para controlar la escorrentía pluvial, esto se debe a que las zonas donde se encuentra esta cobertura vegetal están en constante cambio, y tarde o temprano varias de ellas serán selladas por concretos disminuyendo y aislando más la poca vegetación densa nativa de la región. Reduciendo la posibilidad de que sus funciones y estructura puedan hacer una adecuada prestación de servicios ecosistémicos urbanos.

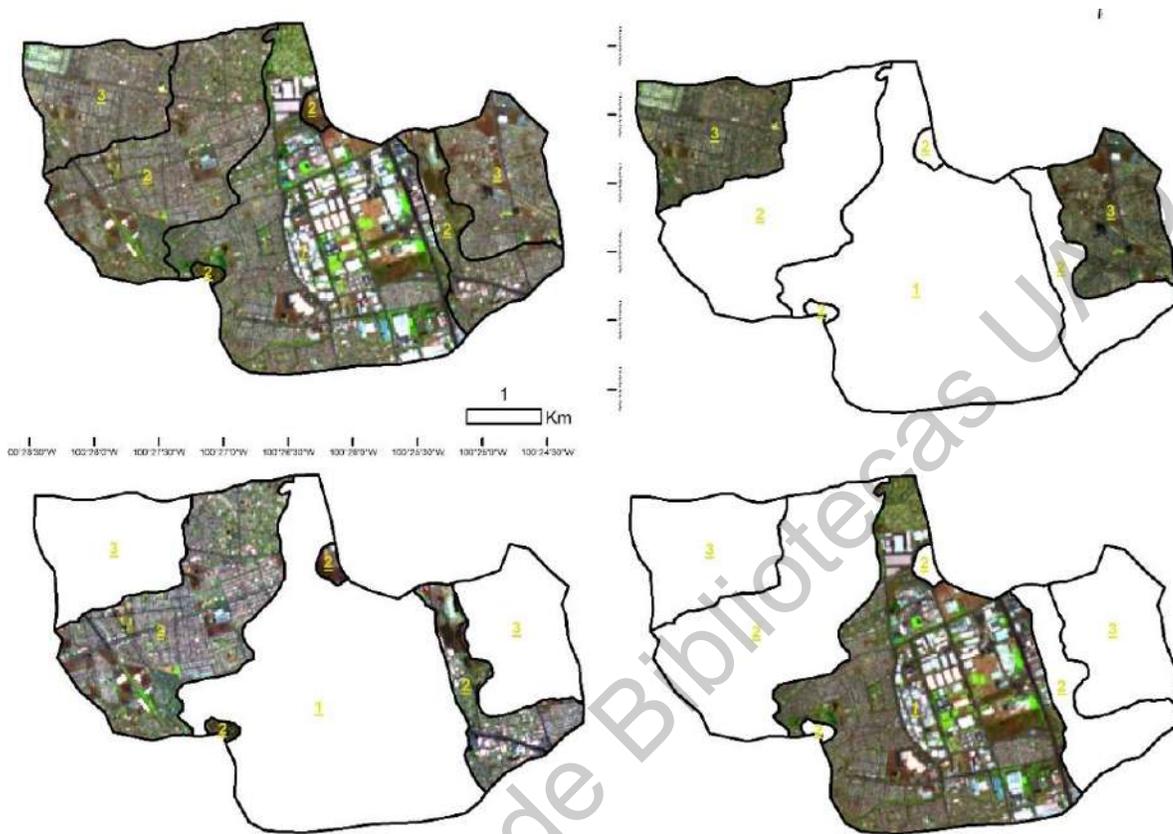


Figura 13. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar la vegetación del mes de marzo 2020.



Figura 14. Imagen satelital con mezcla de bandas para visualizar la vegetación del mes de octubre 2020.

La microcuenca presenta diferentes grados de densidad según sea la temporada, por ejemplo, en marzo podemos encontrar cobertura vegetal marchita, seca y sin ninguna hoja o flor, su color se vuelve amarillento. Esto limita la capacidad de la vegetación presente en la microcuenca de proporcionar algún tipo de servicio ecosistémico urbano, ya que la cobertura no cuenta con una suficiente condición de vigor y humedad. Unos meses después en septiembre-octubre se distingue un aumento en el verdor de la cobertura vegetal así como en su densidad, lo que permite regular la temperatura en ciertas zonas de la microcuenca, aunque esto no es suficiente para proporcionar un servicio ecosistémico urbano de calidad. Las condiciones que mantiene la estructura de cobertura vegetal no son aptas para

regular la temperatura en toda la microcuenca, se está degradando su funcionalidad, gracias a que disminuyen las áreas donde pueden desarrollarse, y en cuanto a prestar un servicios de regular la esorrentía no existe evidencia de que sea suficiente para ello, solo hay que buscar noticias de la última temporada de lluvias para percatarse que año con año hay afectaciones por la esorrentía y acumulación de agua en partes medias y bajas de la microcuenca, por lo que el servicio que pueda proporcionar la cobertura vegetal se encuentra limitado a la densidad y distribución de la misma.

3.1.6 Aspectos climáticos

3.1.6.1 Polígonos de Thiessen

En la tabla 7 se observan las estaciones que tienen influencia sobre la MCSC, el área y su precipitación media anual (PMA). Se nota que la estación ETA 128 Carrillo es la que tiene mayor influencia sobre la microcuenca con 22 km², la segunda estación (Juriquilla) tiene un área de influencia de 0.48 km². La PMA se averiguo a través de la suma de la PMA de las dos estaciones, con este dato se generaron otros parámetros relacionados con el balance hídrico. En la figura 15 podemos observar las áreas de influencia de las estaciones seleccionadas, sin embargo, como se observó anteriormente, solo 2 estaciones presentan una influencia sobre la microcuenca, esto por su tamaño de 22.48 m² que no logra abarcar una mayor área de influencia por las pocas estaciones meteorológicas que hay a su alrededor.

Tabla 7. Precipitación media anual MCSC

Estación	Área de influencia (km ²)	PMA
Juriquilla	0.48	11.81
ETA 128 Carrillo	22	547.26
	PMA	559.07

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Polígonos de Thiessen. Elaborados con información de CONAGUA (2021).

3.1.6.2 Tiempo de concentración

La microcuenca tiene una forma oval-oblonga y es achatada. El cauce principal tiene una pendiente de 8% por lo que se considera dentro de un nivel medio, en cuanto a lo hidrológico el tiempo que tarda una gota en caer y salir por el cauce principal, el cual tiene una longitud de 7.5 km es de 8.4 minutos (tiempo de concentración),

lo que muestra un rápido escurrimiento, esto se relaciona con la creación de avenidas torrenciales durante precipitaciones de poca duración y gran cantidad de agua aportada, lo que es una afectación anual en la zona baja y media de la microcuenca.

Como se mencionó anteriormente, solo el 9.3 % de la superficie de la microcuenca se encuentra libre de sellamiento por concretos y pavimentos, esto quiere decir que el 90.7 % restante se convierte en una superficie apta para que el agua que escurre durante las precipitaciones fluya sobre lugares con baja fricción, pendiente media, aumentando su velocidad y volumen hacia zonas bajas inundables. Son apenas 8.4 minutos los que tarda el agua en concentrarse en toda la microcuenca, dando poco tiempo para actuar y reducir riesgos.

Tabla 8. Tiempo de concentración.

Longitud del cauce principal	7.59	km2
Pendiente del cauce principal	8	%
Tc	0.14	horas
	8.4	minutos

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6.3 Balance hídrico

Los aspectos climáticos de la microcuenca se muestran en la figura 16, por una parte los valores de evapotranspiración son mayores en la zona alta oeste donde hay presencia de selva baja subcaducifolia y cañadas que tienen mayor recepción de humedad. La precipitación es mayor en la zona urbana donde se presenta mayor presencia de avenidas torrenciales, y hay menor presencia de precipitación en la zona alta oeste donde se encuentra la mayor evapotranspiración. En cuanto a la temperatura se observa que la zona industrial y algunas colonias aledañas a

esta (ver mapa de TMA) presentan valores de 18.8 C° mientras que disminuye 0.6 C° al norte de la misma.

En cuanto a la evapotranspiración se sabe que la zona que presenta los valores más altos es una cañada de la zona media oeste, el 13.79 % de superficie desnuda y con presencia de selva baja subcaducifolia genera estos valores.

La escorrentía generada por la precipitación como se mencionó anteriormente, aumenta gracias al tipo de suelo que se caracteriza por concretos y pavimentos, aunado a una PMA de 559.07mm y un tiempo de concentración de 8.4 minutos, es inevitable la creación de avenidas torrenciales en la zona media y encharcamientos por encima de la baqueta en la zonas bajas.

La temperatura tiene un aumento sobre la Zona Industrial, donde si bien existe arbolado capaz de mitigar algunas islas de calor no es suficiente, la radiación que tienen las estructuras color blanco de metal, la baja cobertura vegetal y el pavimento y concreto presentes que guardan el calor para expulsarlo por las noches, generan microclimas e islas de calor por las noches en al menos el 50 % de la microcuenca.

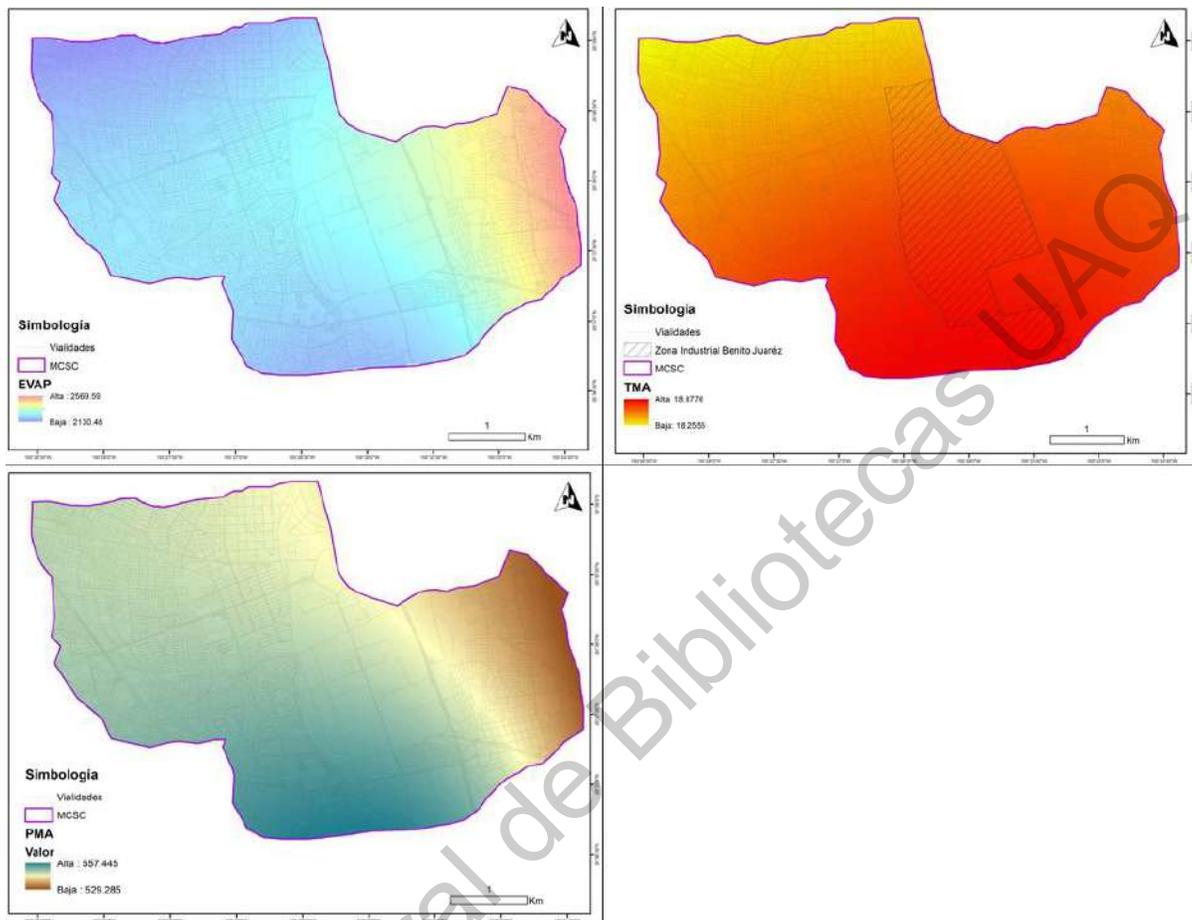


Figura 16. Aspectos climáticos; Evapotranspiración, Temperatura media anual y Precipitación media anual. Fuente: CONAGUA (2020).

3.1.6.4 Caudal diseño

El caudal diseño permitió conocer la cantidad de metros cúbicos por segundo que escurren por las unidades de escurrimiento (UE) durante una lluvia intensa de 5 minutos con un periodo de retorno de 5 años. En la tabla 9 se puede observar la superficie de cada UE (figura 17) y el caudal pico que se presentará. Se observa que la numero 2,3 y 6 son aquellas con mayor cantidad de escurrimiento, esto por la superficie que tienen, capturando mayor cantidad de lluvia.

Se percibe que el escurrimiento de todas las UE (figura 18) es mayor a 40 m³/s lo que indica la cantidad de agua que causa encharcamientos e inundaciones en la zona baja, ya que todas las UE escurren hacia un mismo punto y al juntarse el agua de todas es cuando se logra presenciar afectaciones a las personas que viven en esta zona, la cual tiene la característica de haberse inundado más de 1 ocasión en los últimos 20 años. Esta zona es aquella que presenta la mayor parte de sitios susceptibles a inundación y encharcamiento. Las UE 1, 2, y 3 tienen una característica en común, ya que es aquí donde aparecen las avenidas torrenciales de gran fuerza y con un volumen de entre 64 m³/s a 70 m³/s.

En la tabla 10 se muestra la longitud de los cauces principales y el tiempo que tarda el agua en escurrir de un punto a otro. Las UE donde aparecen las avenidas torrenciales tienen un tiempo de concentración rápido, de 1.47-1.89 minutos, sin embargo, la numero 3 tiene un 1 minuto extra, esto por la distancia y las diferentes conexiones pluviales por las que debe correr el agua. La UE con mayor tiempo de concentración es la numero 5, esto coincide con los sitios que presentan mayor número de afectaciones registradas por inundación, si a esto se le añaden aquellas calles no contempladas que de pronto se convierten en cauces, se acumula un gran volumen de agua, ocasionando este tipo de afectación repentina.

Tabla 9. Caudal pico por Unidad de escurrimiento.

Unidad de Escurrimiento	Sup. Total	Caudal Pico
1	1.169383	30.6963038
2	2.653661	69.6586013
3	2.459499	64.5618488
4	1.58325	41.5603125
5	1.655014	43.4441175
6	2.686754	70.5272925
7	2.541948	66.726135
8	2.127917	55.8578213
9	0.258777	6.79289625

Sup. Total: km², y Caudal Pico: m³/s Fuente: Elaboración propia.

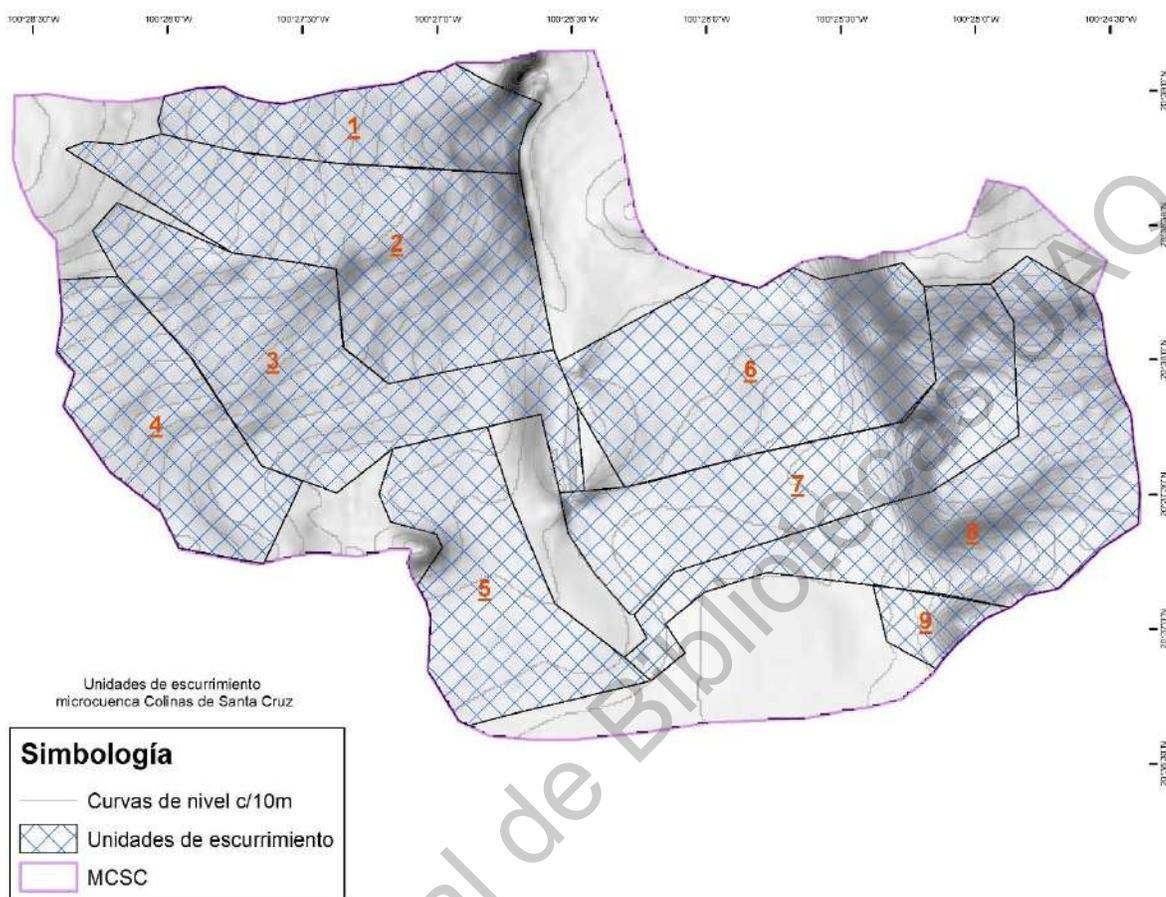


Figura 17. Unidades de escurrimiento de la MCSC. Elaboración propia.

Tabla 10. Tiempo de concentración y longitud del cauce principal por UE.

Unidad de Escurrimiento	Lcp (km)	Tc minutos
1	2.22	1.47
2	2.85	1.89
3	4.43	2.94
4	2.30	1.52
5	2.05	3.26
6	2.30	1.22
7	4.42	2.34
8	4.11	2.18
9	0.67	0.36

Fuente: Elaboración propia.

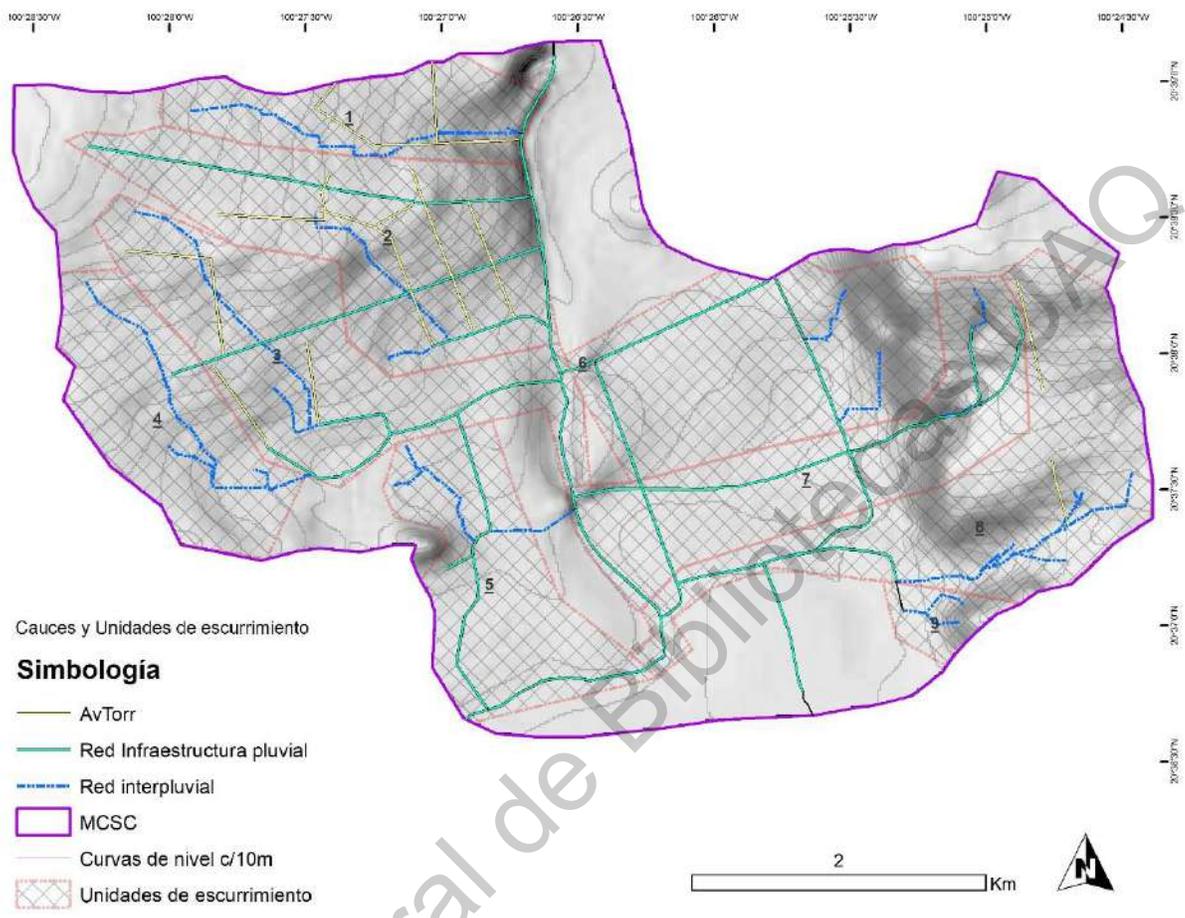


Figura 18. Cauces principales y Unidades de Escurrimiento.

3.2 Búsqueda cualitativa

3.2.1 Abordaje de SEU en planes urbanos del municipio de Querétaro

El análisis biofísico que se presentó anteriormente, muestra una degradación de la cobertura vegetal en la microcuenca, y una problemática hidrometeorológica que genera la creación de avenidas torrenciales e inundaciones, gracias a la gran cantidad de agua que puede escurrir y encharcarse durante lluvias intensas. Esto por el 90 % de superficies selladas por pavimentos y concretos. De esta manera es necesario conocer cómo las políticas municipales abordan o resuelven estas problemáticas, así pues se realizó una búsqueda cualitativa para conocer la frecuencia de mención, calidad e inclusión de los servicios ecosistémicos que proporciona el espacio urbano.

Para conocer el abordaje de servicios ecosistémicos urbanos que hay dentro de la microcuenca Colinas de Santa Cruz se analizaron los planes del municipio: Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL), los Planes Parciales de Desarrollo de las delegaciones Centro Histórico (PPDCH), Epigmenio González (PPDEP), Carrillo Puerto (PPDCP) y Félix Osores (PPDFO), Plan Maestro Pluvial 2008-2025 (PMP), Plan Municipal de Desarrollo (PMD), y el Reglamento de Protección Ambiental y Cambio Climático del Municipio de Querétaro (RPACC).

Se comenzó conociendo la amplitud de inclusión que tiene cada SEU dentro de los planes seleccionados mostrada en la figura 19. Se encontraron 2 grupos, por un lado 3 SEU fueron los que más se incluyen con un 55 %; el primero es el tratamiento de desechos que hace gran mención en aquellos de procedencia industrial y del hogar, la segunda es la regulación de escorrentía mencionada como el control de avenidas torrenciales sobre todo en los PPDU de las delegaciones, así como en el PMP y el RPACC, y por último la recreación, que se aborda desde

la creación de parques de bolsillo que son aquellos de proporciones pequeñas en baldíos, camellones, avenidas y espacios públicos. Los 5 restantes (regulación climática, recarga de acuífero, regulación de temperatura, corredores biológicos y moderación de eventos ambientales) solo representan un 45 % de mención dentro de todos los planes lo que los posiciona con una muy baja inclusión, ya que estos temas en la mayoría de los planes no están bien definidos o simplemente no cuentan con una mención clara.

Se toma en cuenta la regulación de escorrentía que es uno de los SEU estudiados, sin embargo, su relación está enfocada en controlar la escorrentía superficial que se genera en las partes altas de la cuenca, aquellas que se presentan en la ciudad como lo son las avenidas torrenciales no son mencionadas con claridad dentro de la inclusión del concepto en los planes. Por otro lado, la cobertura vegetal no es incluida de manera clara ni objetiva, su mención está implícita sobre todo de aquella que rodea la zona urbana en la parte alta de la cuenca, dejando a un lado la vegetación presente dentro de la ciudad como en parques, jardines, camellones, escuelas y patios. El POEL y RPACC (tabla 11) son los planes con mayor mención de los SEU seleccionados teniendo un total de 6 y 7 respectivamente de 8, esto por su gran contenido biológico sobre las características del territorio, mencionando de manera implícita la importancia de los SE.

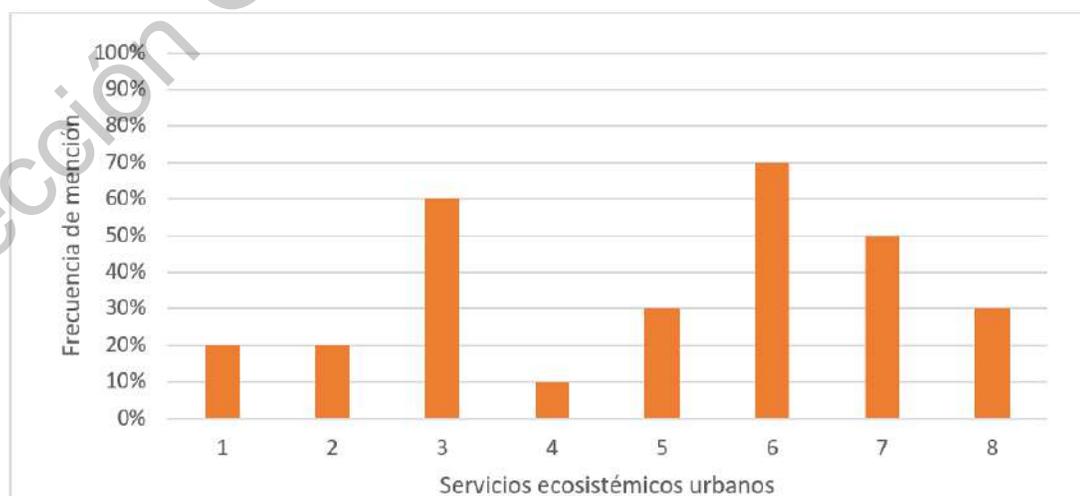


Figura 19. Indicador de puntaje de amplitud de inclusión de al menos un SEU en los componentes del plan. 1: regulación climática, 2: recarga de acuífero, 3: regulación de escorrentía, 4: regulación de temperatura, 5: corredores biológicos, 6: tratamiento de desechos, 7: recreación y 8: moderación de eventos ambientales. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

Tabla 11. Análisis de la frecuencia de mención

SEU/ Plan urbano	POEL	PPDCH	PPDEG	PPDFO	PPDCP	PMP	PMD	RPACC	Total
Regulación Climática	x	-	-	-	-	-	-	x	2
Recarga Acuífero	x	-	-	-	-	-	-	x	2
Regulación Escorrentía	x	x	x	x	-	x	-	x	6
Regulación Temperatura	-	-	-	-	-	-	-	x	1
Corredores Biológicos	x	-	-	-	x	-	-	x	3
Tratamiento Desechos	x	x	x	x	x	x	-	x	7
Recreación	-	x	x	x	x	-	x	-	5
Moderación Eventos Ambientales	x	-	-	-	-	x	-	x	3
Total	6	3	4	4	3	3	1	7	

Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

3.2.2 Amplitud

Otra característica que se midió fue la puntuación de amplitud según el componente dentro del plan (figura 20). Se examinó la información base que existiera, los objetivos en los que se contemplan y las acciones que se han realizado sobre los SEU seleccionados. El componente de información base que obtuvo una mayor mención, fue el relacionado con la vegetación y sus diversas formas de proveer

servicios en la periferia y dentro de la ciudad, como moderar los eventos ambientales y la regulación de escorrentía. De igual manera se hace gran alusión al tratamiento de la contaminación de los desechos urbanos e industriales.

Dentro del componente de objetivos y metas, la regulación de escorrentía obtuvo un mayor número de acciones propuestas, sobre todo las relacionadas con infraestructura y obras hidrológicas, enfocadas en expulsar el agua rápidamente de la ciudad y poco en las necesidades y problemáticas humanas, esto se contempla en el Plan Maestro Pluvial 2008-2025. La recarga del acuífero tiene la puntuación más baja, ya que no se contemplan acciones para aumentar la infiltración y recarga necesaria, del acuífero del valle de Querétaro que tiene un déficit de 72 millones de metros cúbicos por año.

Como tercer elemento, las acciones muestran una frecuencia de mención mayor a 50% ya que se midió binariamente, y gran parte de los planes contemplan al menos una, sobre todo de manera implícita, nunca se menciona directamente a los SEU.

Sobre la cobertura vegetal y el control de escorrentía pluvial, se mencionan de manera implícita dentro de los planes, en el análisis realizado tienen una puntuación aceptable lo que indica un conocimiento por parte de los tomadores de decisiones, sin embargo, siguen sin ser de importancia, para la generación de acciones y planes relacionadas a estos dos servicios dentro de la ciudad.

La tabla 12 muestra el análisis de los resultados, donde se observa que el RPACC es el plan con mayor mención dentro de sus componentes con 24 menciones de información y 25 objetivos relacionados a los SE, así como acciones implementadas en los 8 SEU seleccionados, sin embargo, es importante recalcar que estos son considerados sobre zonas periurbanas y no completamente urbanas.

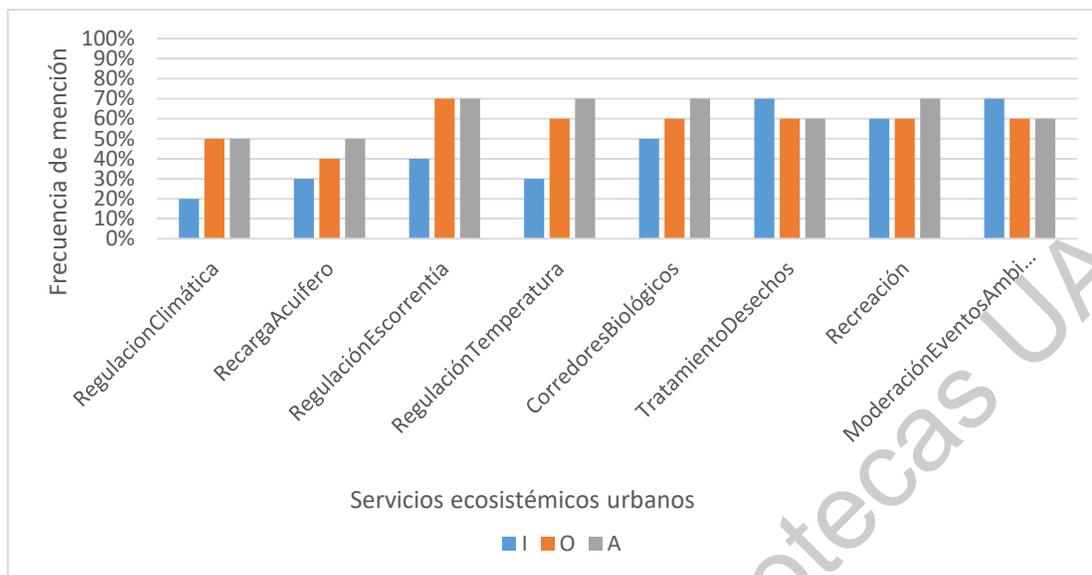


Figura 20. Indicador de puntaje de amplitud que mide la inclusión de SEU en los tres componentes del plan. I: información base; O: objetivos y metas; A: acciones. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

Tabla 12. Análisis de la mención

	(1) POEL			(2) PPDCH			(3) PPDEG			(4) PPDFO			(5) PPDFCP			(6) PMP			(7) PMD			(8) RPACC			Total
	I1	O1	A1	I2	O2	A2	I3	O3	A3	I4	O4	A4	I5	O5	A5	I6	O6	A6	I7	O7	A7	I8	O8	A8	
RC	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	4	4	1	19
RA	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	1	14
RE	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	4	4	1	0	1	0	2	2	1	26
RT	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	3	1	19
CB	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	3	3	1	24
TD	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	4	1	29
RN	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	3	3	1	26
MEA	3	2	1	1	0	0	1	1	1	2	2	1	1	1	1	3	4	1	0	0	0	4	4	1	35
Total	9	9	8	8	4	5	5	8	8	7	11	8	5	7	6	8	8	5	2	2	2	24	25	8	

Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

3.2.3 Calidad de inclusión de SEU en los planes urbanos del municipio de Querétaro

Para conocer la calidad de la inclusión se evaluó cada uno de los 3 componentes seleccionados; información base, objetivos y acciones. Se contabilizó la inclusión de cada SEU por plan y por componente con un rango de puntuación de 0-3. El RPACC resulta ser el plan con mayor inclusión (tabla 13) este plan contempla la cobertura vegetal del territorio como una generalidad que aporta servicios ecosistémicos, y no existe una descripción o inclusión del concepto, sin embargo son contemplados y se conoce de sus beneficios hacia la población, sobre todo como reguladores de la precipitación pluvial y purificadores de aire.

Los resultados obtenidos sobre todos los planes analizados, fue que su calidad de inclusión de SEU es muy baja, ya que el 87 % de estos tienen una puntuación debajo de 1 (figura 21). Esto se debe a que ciertas características de los SEU no se encuentran bien definidas o no son mencionadas de manera clara, en gran parte de los casos el concepto no es definido de manera objetiva. Son la moderación de eventos ambientales, el tratamiento de desechos y la regulación de escorrentía, aquellos con la calidad más alta de inclusión, esto por ser los que mejor se incluyen en la información base y objetivos de todos los planes analizados.

De manera individual, el plan que obtuvo una alta calidad de inclusión con 1.75 en el rango, fue el RPACC ya que se exhibe un equilibrio entre los componentes, se menciona información base sobre la importancia de conservar la cobertura vegetal, como el crear parques nuevos y reforestar jardines dentro de la zona urbana, además de acciones que fomenten su incremento. También se contempla la creación de políticas de conservación que aumenten los SE en la periferia, pero de menor medida dentro de la ciudad. Los SEU que mejor son descritos en el RPACC son la regulación climática, tratamiento de desechos y recreación, ya que presentan la puntuación más alta de calidad, sin embargo, es importante señalar

que aunque tienen la mejor puntuación, el concepto de SEU no es usado como tal, sino que se habla de la naturaleza de manera general no detallando los servicios que esta nos presta.

Los planes PPDEG y PPDFOS cuentan con áreas bajo alguna política de protección ambiental, tal es el caso de Peña Colorada y el cauce de Jurica; este último dentro de la microcuenca CSC. Por lo que se hace mayor énfasis a la información y descripción de estos sitios y las acciones a implementar; como la conservación y oferta de servicios ecosistémicos. La puntuación es menor en los Planes Parciales de Desarrollo restantes de las Delegaciones Centro Histórico y Carrillo Puerto por su falta de espacios bajo alguna protección ambiental.

El PMD es el plan con una puntuación muy baja, con tan solo 0.3, debido a que se centra considerablemente en objetivos humanos, como mayor seguridad, inclusión social, un gobierno abierto y un futuro sostenible, este último basado en generalidades sobre el cuidado de algunos servicios ecosistémicos, como la recarga del acuífero, la pérdida de zonas verdes y cultivo por el crecimiento de la mancha urbana, y no detalladamente sobre aspectos que se relacionen con los conceptos analizados o acciones a implementar.

Tabla 13. Análisis de la calidad de inclusión.

	I	O	A	Total
(1) POEL	9	9	8	26
(2) PPDCH	8	4	5	17
(3) PPDEG	5	8	8	21
(4) PPDFO	7	11	8	26
(5) PPDFCP	5	7	6	18
(6) PMP	8	8	5	21
(7) PMD	10	9	4	23
(8) RPACC	24	25	8	57
Total	76	81	52	

Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

I: información base, O: objetivos y metas, A: acciones. Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos.

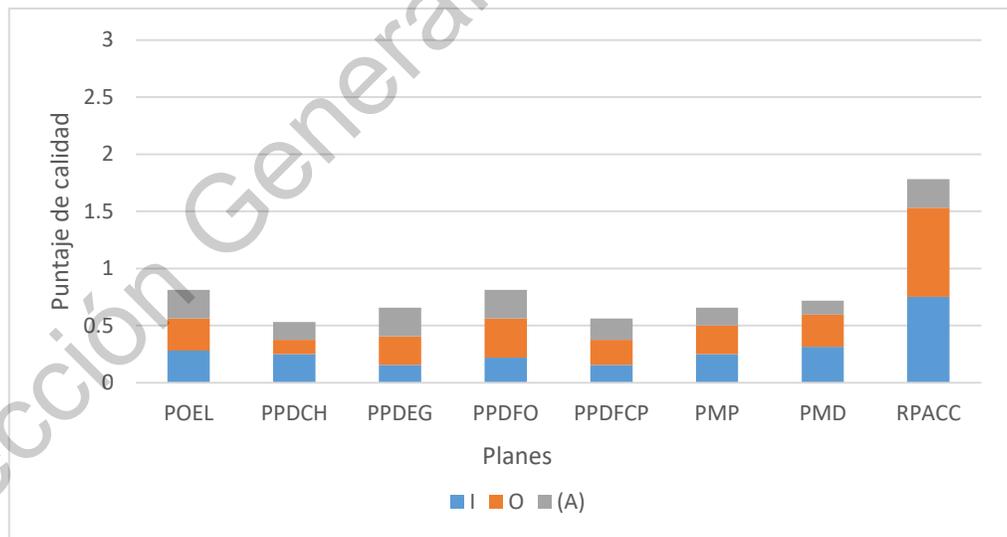


Figura 21. Calidad en general de la inclusión de SEU calculada como la suma de las puntuaciones normalizadas de los tres componentes. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

3.2.3 Profundidad y acciones relacionadas con los SEU en los planes urbanos del municipio de Querétaro

Para conocer la profundidad con la que son abordados los SEU, se analizaron los componentes de información base (tabla 14) y los objetivos (tabla 15) de cada plan se creó un indicador de puntaje que va desde 0.0 hasta 1, se observa que mientras más información base exista, los objetivos tendrán una mayor inclusión de SEU. De nueva cuenta el RPACC es el plan con mayor puntuación, con 24 abordajes de información base y 25 objetivos donde se contempla de manera implícita los SEU seleccionados. De manera general se tiene que 7 de los 8 planes tienen una puntuación debajo de 0.4 por lo que la profundidad de mención general es muy baja (figura 22).

Dentro del indicador información base, es el tratamiento de desechos y la moderación de eventos ambientales los que tienen mayor detalle de datos en cuanto a la necesidad de aumentar la cobertura vegetal y regular los desechos urbanos e industriales, respectivamente. En cuanto a los objetivos, son la moderación de eventos ambientales, la regulación de escorrentía y el tratamiento de desechos, los que cuentan con una mayor mención dentro de los objetivos de cada plan.

En general, la moderación de eventos ambientales es la que tiene una mayor profundidad de mención, está enfocada en la mitigación y control de inundaciones, protección de áreas sometidas alguna política ambiental y al manejo de residuos para evitar la contaminación de suelo y agua.

Tabla 14. Análisis de profundidad información base

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	Total
Regulación Climática	0	0	1	0	0	1	0	4	6
Recarga Acuífero	1	0	0	1	0	0	0	2	4
Regulación Escorrentía	1	1	0	0	0	4	0	2	8
Regulación Temperatura	0	1	0	0	1	0	0	2	4
Corredores Biológicos	2	1	1	0	1	0	0	3	8
Tratamiento Desechos	2	2	1	2	1	0	1	4	13
Recreación	0	2	1	2	1	0	1	3	10
Moderación Eventos Ambientales	3	1	1	2	1	3	0	4	15
Total	9	8	5	7	5	8	2	24	

Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti et al (2020).

Tabla 15. Análisis de profundidad objetivos

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	Total
Regulación Climática	1	0	1	1	1	0	0	4	8
Recarga Acuífero	1	0	1	1	0	0	0	2	5
Regulación Escorrentía	1	0	1	1	1	4	1	2	11
Regulación Temperatura	1	1	1	1	1	0	0	3	8
Corredores Biológicos	2	1	1	1	1	0	0	3	9
Tratamiento Desechos	1	1	1	2	1	0	0	4	10
Recreación	0	1	1	2	1	0	1	3	9
Moderación Eventos Ambientales	2	0	1	2	1	4	0	4	14
Total	9	4	8	11	7	8	2	25	

Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti et al (2020).

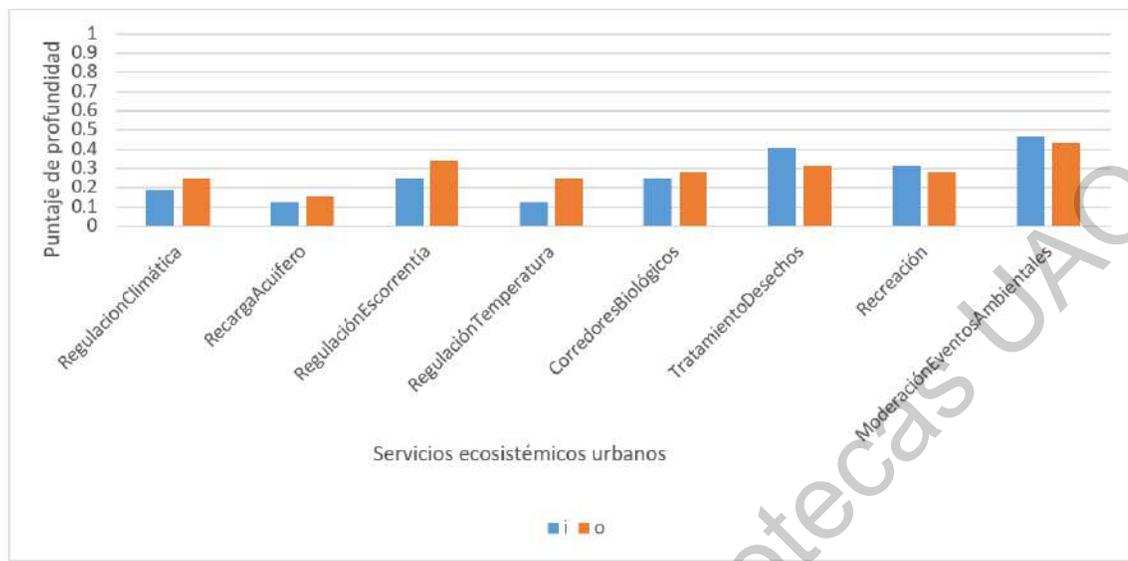


Figura 22. Indicador de puntuación de profundidad que mide la calidad de inclusión de los SE urbanos en la información base y en los componentes de visión y objetivos. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

Se identificaron un total de 179 acciones abordadas para los 8 SEU que se muestran en la figura 23, la regulación de escorrentía cuenta con 29 acciones planteadas, siendo la de mayor número de menciones, ya que en el Plan Maestro Pluvial menciona varios objetivos e información sobre el control de las corrientes de agua superficial que en temporada de lluvias se dirigen a la ciudad, así como en cada Plan Parcial de Desarrollo de las 4 delegaciones seleccionadas, en todos ellos se menciona el control de avenidas torrenciales, sin embargo no existe una aplicación real para tratar esta problemática.

Los SEU de regulación climática y corredores biológicos se mencionan como la conservación de áreas en la periferia de la ciudad con grandes extensiones de cobertura vegetal sin una gran modificación, se explica en la información base que al conservar y proteger zonas cerriles se incrementan y se desarrollan una serie de servicios ecosistémicos. Por último, la recreación es mencionada como la

creación de parques de bolsillo y de infraestructura para fomentar el deporte y actividades culturales.

En la tabla 16 se observa que el POEL cuenta con 58 acciones empleadas sobre los 8 SEU planteados, su función es el recomendar lineamientos sobre el territorio, describiendo las actividades que deberán implementarse según la importancia de la zona. Los Planes Parciales de Desarrollo Epigmenio Gonzales, Félix Osores y Carrillo Puerto cuentan con 27, 25 y 23 respectivamente, ya que dentro de su sección titulada Programación y corresponsabilidad sectorial, se mencionan una serie de acciones según sea el programa urbano gubernamental (planeación, vivienda, transporte, imagen urbana, medio ambiente entre otros). El PMP cuenta con pocas acciones ya que están estructuradas en grandes obras, las cuales se conforman por varias intervenciones en los cauces de la periferia y zona urbana, sin embargo es importante señalar que si bien no tiene un enfoque integral de cuencas, la infraestructura empleada ha contribuido a regular la gran cantidad de escurrimientos e inundaciones pluviales por el crecimiento de la zona urbana, sin embargo no ha sido suficiente para controlar la problemática.

Tabla 16. Análisis de las acciones abordadas en cada plan.

	POEL	PPDCH	PPDEG	PPDFO	PPDCP	PMP	PMD	RPACC	Total
RC	8	1	4	4	4	0	1	4	26
RA	5	1	3	3	2	4	1	1	20
RE	8	1	5	5	4	3	1	2	29
RT	6	1	4	3	3	0	1	2	20
CB	8	0	5	4	4	1	1	1	24
TD	8	0	0	0	1	2	1	5	17
RN	9	1	4	4	3	0	2	0	23
MEA	6	1	2	2	2	3	0	4	20
Total	58	6	27	25	23	13	8	19	

Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

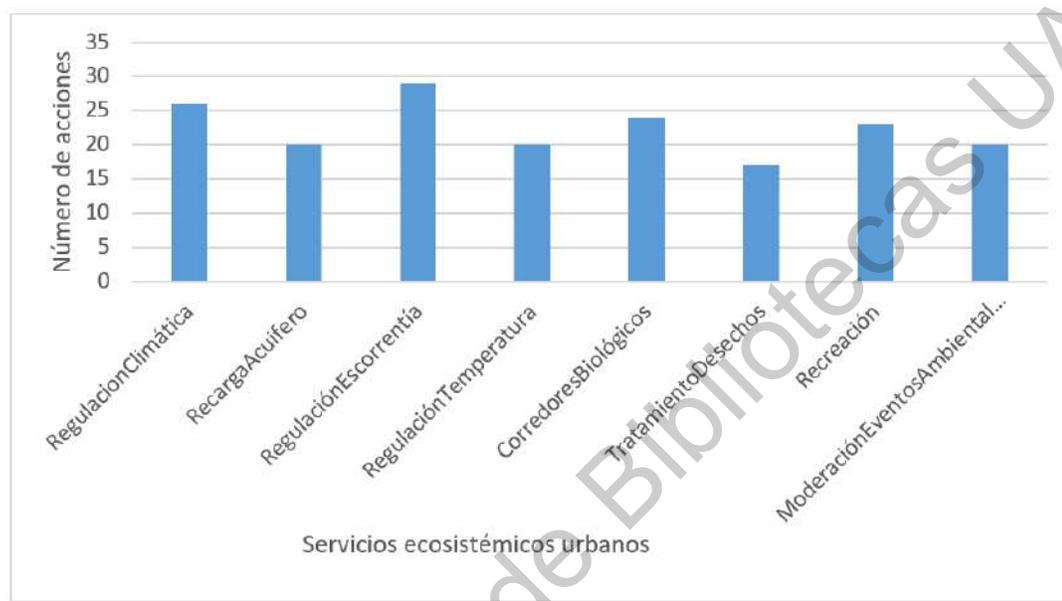


Figura 23. Número de acciones que abordan cada ES en toda la muestra de planes. Fuente: Elaboración propia con base en Geneletti *et al* (2020).

Por último, se analizaron las acciones más frecuentes por SEU y el número de planes en las que son abordadas, esto se observa en la tabla 17. El tratamiento de desechos tiene una mayor aparición, sobre todo aquellos generados industrialmente o en hogares, existe una preocupación respecto al cómo gestionar su clasificación, transporte y depósito, hay bastante información base sobre este servicio.

El segundo con mayor número de aparición es la regulación de escorrentía ya que se menciona por lo menos 1 acción dentro de 6 de los 8 planes, aborda 2 espacios geográficos, por un lado el urbano con los Planes Parciales de Desarrollo y por otro la cobertura vegetal de la periferia con el RPACC, el PMP y POEL.

El tercer mayor mencionado con 5 de 8 planes es la recreación, ya que se plantean sobre todo en los Planes Parciales de Desarrollo, como aumento de canchas, anfiteatros y obras relacionadas con el deporte dentro del espacio urbano, dejando sin importancia la recreación ambiental.

El control de escorrentía presenta acciones como la creación de azoteas verdes en espacios urbanos, la aplicación de un programa de control de avenidas de aguas pluviales, y la creación de infraestructura como drenaje pluvial y obras de conservación. La cobertura vegetal se contempla con acciones como incrementar y reforestar las áreas verdes y vialidades, protección de los bosques naturales; flora y fauna silvestre, el fortalecimiento de las áreas naturales protegidas de competencia municipal y la restauración de ecosistemas.

Como se observó en las secciones anteriores, el abordaje de SEU en los planes es de baja calidad, mención y profundidad. Ya que el concepto no se conoce en lo mínimo, la información se basa en significados con más de 15 años de ambigüedad literaria, así como nula información sobre el estado actual de la cobertura vegetal y la escorrentía pluvial. Aunado a ello se debe contemplar que las características biofísicas de la microcuenca son deficientes y presentan una problemática hidrometeorológica que se está volviendo anualmente recurrente.

Si bien es un espacio de 22.48 km², este se puede comparar en varios puntos de la zona metropolitana de Querétaro, donde se presenta la misma problemática, si bien no sucede sobre todo el territorio, si en áreas específicas donde bien se podría replicar este tipo de análisis socio-ambiental.

Tabla 17. Acciones en función del tipo de intervención propuesta

SEU y acciones relacionadas	Número de planes
<p>Regulación climática</p> <ul style="list-style-type: none"> -Fortalecimiento de las áreas naturales protegidas de competencia municipal -Reforestación protectora -Restauración de ecosistemas 	3
<p>Recarga de acuífero</p> <ul style="list-style-type: none"> -Protección de las fuentes de agua -Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos -Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos 	4
<p>Regulación de escorrentía</p> <ul style="list-style-type: none"> -Azoteas verdes en espacios urbanos -Aplicación de programa de control de avenidas de aguas pluviales -Infraestructura (drenaje pluvial, obras de conservación) 	6
<p>Regulación de temperatura</p> <ul style="list-style-type: none"> -Incrementar las áreas verdes -Reforestación de vialidades y áreas verdes 	2
<p>Corredores biológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Protección de los bosques naturales; -Flora y Fauna Silvestre -Unidades de manejo y vida silvestre 	4
<p>Tratamiento de desechos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Combate a la contaminación (aire, agua, suelo, paisaje) -Reducción y manejo de residuos sólidos urbanos -Aplicación de un programa de control del relleno sanitario 	7
<p>Recreación</p> <ul style="list-style-type: none"> -Parques de bolsillo 	5
<p>Moderación de eventos ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> -Construcción de infraestructura hidráulica e hidrológica -Preservación y Aprovechamiento Sustentable del Suelo y sus Recursos -Aplicación de programa de Control de la reserva ecológica Peña Colorada -Aplicación de un programa para la preservación del cauce del río Jurica 	4

Fuente: Elaboración propia a través de la revisión hemerográfica de los planes urbanos.

3.2.4 Abordaje de planes urbanos dentro de la MCSC

Todos los planes analizados tienen jurisprudencia sobre el Municipio de Querétaro, sin embargo, no todos cuentan con acciones determinadas sobre el territorio que abarca la microcuenca CSC. Son los 4 Planes Parciales de Desarrollo de las delegaciones (Centro Histórico, Félix Osores Sotomayor, Carrillo Puerto y Epigmenio González), así como el Plan Maestro Pluvial. Los que mencionan acciones más específicas.

El único plan que menciona acciones representativas sobre el territorio que ocupa la MCSC es el Plan Parcial de Desarrollo Félix Osores Sotomayor (PPDFOS) ya que ocupa el 69.7% de su superficie total (figura 24). En él se indican acciones como la preservación del Río Jurica y la reforestación de áreas verdes.

En la tabla 18 se muestran los SEU seleccionados, así como las acciones de conservación y mejoramiento que se mencionan en este plan, con áreas objetivo zonales y puntuales, las cuales se relacionan con los servicios presentes en la microcuenca. Estos no son descritos de manera clara ni concisa, solo se menciona lo que se debería hacer para controlar y aumentar algunas características de vegetación y escorrentía, sin embargo, han pasado más de 12 años donde estas acciones no tienen una importancia verdadera para los gobernantes y tomadores de decisiones.

El abordaje de SEU que se tiene en la MCSC es de baja calidad, tiene poca inclusión y sus acciones se orientan a características económicas, deportiva e industriales, en cuanto a lo ambiental se contemplan pocas y no están bien definidas, no se cuentan con sitios específicos ni cantidades, por ejemplo, de número de árboles para reforestar o de acciones concretas para controlar de manera eficiente la escorrentía.

Tabla 18. Tipología, área y herramienta de implementación PPDDFOS.

Plan Parcial de Desarrollo para la Delegación Félix Osores Sotomayor			
SEU	Tipología	Área u Objetivo	Herramientas de Implementación
Regulación Climática	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación ➤ Mejoramiento 	Zonal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unidades de manejo y vida silvestre ✓ Reforestación ✓ Aplicación de un programa de reforestación de vialidades y áreas verdes
Recarga Acuífero	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación 	Puntual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Obras de conservación del suelo
Regulación Escorrentía	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación 	Puntual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Obras de conservación del suelo ✓ Unidades de manejo y vida silvestre ✓ Reforestación ✓ Aplicación de un programa de reforestación de vialidades y áreas verdes ✓ Aplicación de un programa para la preservación del cauce del río Jurica
Regulación Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación ➤ Mejoramiento 	Puntual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bosques, selvas y matorrales ✓ Reforestación ✓ Aplicación de un programa de reforestación de vialidades y áreas verdes
Corredores Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación ➤ Mejoramiento 	Zonal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bosques, selvas y matorrales ✓ Unidades de manejo y vida silvestre ✓ Reforestación ✓ Aplicación de un programa de reforestación de vialidades y áreas verdes
Tratamiento de Desechos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación ➤ Mejoramiento 	Puntual	
Recreación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación ➤ Mejoramiento 	Zonal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Senderos ✓ Reforestación ✓ Aplicación de un programa de reforestación de vialidades y áreas verdes ✓ Aplicación de un programa para la preservación del cauce del río Jurica
Moderación Eventos Ambiental	Conservación	Puntual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reforestación ✓ Aplicación de un programa para la preservación del cauce del río Jurica

Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Plan Parcial de Desarrollo Delegación Félix Osores Sotomayor

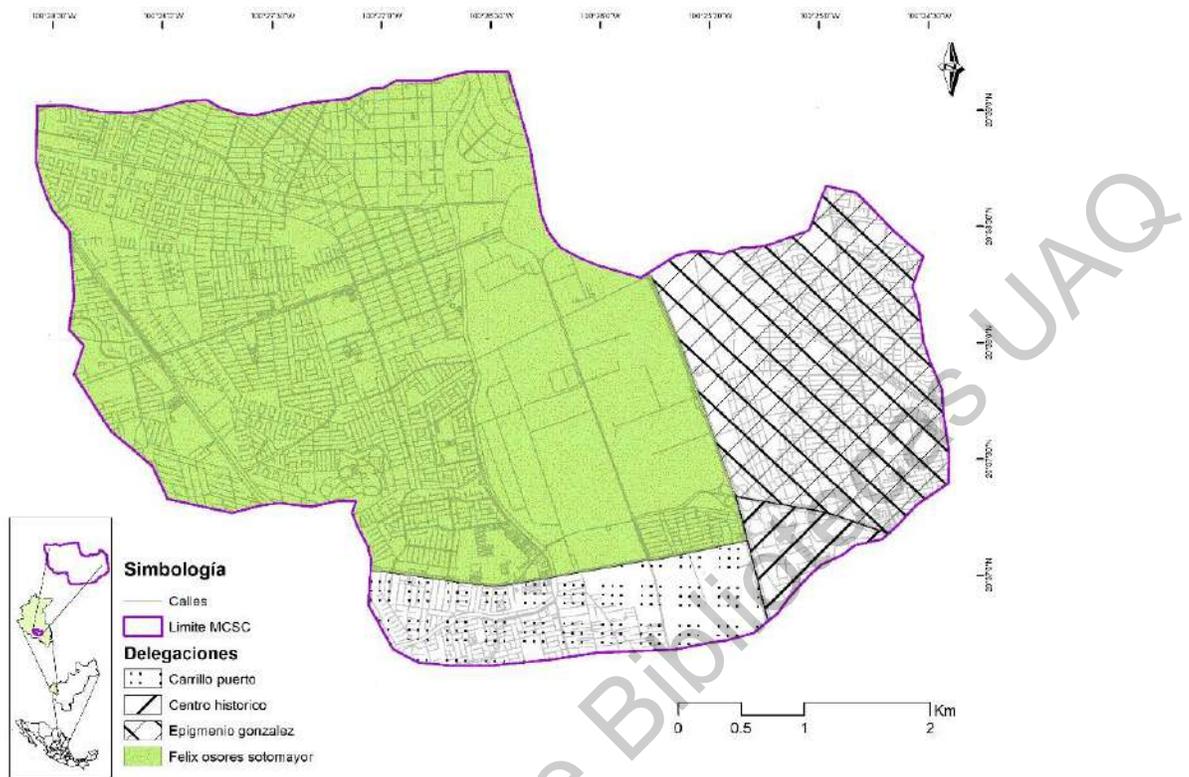


Figura 24. Delegaciones que se encuentran dentro de la MSCS.

3.3 Definición de usuarios y necesidades

3.3.1 Entendimiento del entorno

Mediante salidas de campo se llenaron fichas para conocer las características de ciertos puntos dentro de la microcuenca, y así tener una aproximación del paisaje urbano por el que se integra esta parte de la ciudad. Además, estos puntos se seleccionaron con el mapa de susceptibilidad, llenando fichas de los sitios con mayor presencia de afectaciones durante la temporada de lluvia. Se dividió el análisis entre zona media y baja para tener mejor comprensión de los datos.

3.3.2 Etnografía de la Zona baja

Sobre las zonas de pendiente baja se encontró un uso habitacional y comercial, en cuanto a la cobertura vegetal se observaron árboles de 1 a 3 m con una densidad baja de 0-30 %, la estacionalidad de estos es mixta, esto quiere decir que sus hojas pueden caer en cualquier época del año, incrementando el riesgo de tapar las coladeras e infraestructura pluvial durante su arrastre en temporada de lluvias. La mayor parte de las vialidades se encuentran pavimentadas acelerando el tiempo de respuesta de los drenes pluviales y drenaje.

En cuanto al uso del espacio público, en el horario matutino se tuvo presencia de un rango medio de tránsito peatonal, todas las zonas cuentan con drenaje e infraestructura pluvial dispersa, se encuentra sobre una pendiente baja y en todos los puntos analizados se han presentado afectaciones por eventos hidrometeorológicos. Algunas de las características de las zonas afectadas por inundación son drenes muy pequeños, viviendas cercanas al Dren principal sin ninguna protección, el compartir camino con drenes que transportan el agua de la zona alta y media, y por último, la creación de avenidas torrenciales por el agua acumulada en calles o avenidas con pendiente mayor a los 10° y que son escurridas desde la parte alta por su estructura natural.

Sobre la apropiación del espacio son los vecinos de las colonias quienes tienen un tránsito recurrente sobre el espacio público, sobre todo aquel cercano a su entorno habitacional. Algunos visitan parques como Alfalfares o jardines centrales dentro de sus colonias, donde algunos se reúnen por las mañanas a realizar actividades.

3.3.3 Etnografía de la Zona media

Se tiene presencia de uso habitacional en gran parte de la zona media, sin embargo, en las avenidas principales se encuentra la zona comercial, coincidiendo con ser avenidas donde escurre el agua de lluvia con gran rapidez y en grandes cantidades, sobre todo Av. De La Piedra, Cascada y Las Fuentes, las cuales están

compuestas por concreto. La densidad de los árboles presentes es baja con 0-33 % menores a los 3 metros de altura, solo en algunas zonas es posible observar densidades considerables de cobertura vegetal como la zona industrial. Toda esta vegetación tiene una estacionalidad mixta por lo que se tiene caída de hojas secas durante todo el año.

Se observó un tránsito peatonal medio en el espacio público, gran parte de las calles presentan inclinaciones de 15° a 25°, esto indica el rápido escurrimiento sobre esta zona. La cual se caracteriza por sus pendientes que guían el agua de forma natural hacia el dren el arenal, de igual manera los vecinos de algunas viviendas que están sobre avenidas que presentan este escurrimiento alto, han alzado sus bardas para direccionar el agua a otro lado o simplemente bloquear su acceso (ver figura 25).



Figura 25. Avenida de las fuentes. Fuente: Gómez J. 2020.

De igual manera la apropiación se da por los vecinos que son los que mayor concurren las calles del entorno habitacional y comercial, sin embargo en la zona industrial se tiene un flujo de personas que vienen de diferentes partes de la microcuenca y también fuera de ella. En las avenidas principales se puede apreciar la presencia de comercio por lo que la apropiación se da por parte de los comerciantes.

La movilidad en las partes habitacionales es baja en cuanto a personas y vehículos, son aquellas avenidas principales donde el tránsito es de medio a alto según el horario. En cuanto a los horarios de la calle entre 6 y 9 de la mañana son las horas más concurridas por personas que salen a trabajar y en su momento por estudiantes que acuden a las diversas escuelas, por la tarde entre 2 y 4 vuelve el flujo de estas personas que salen de sus labores, así como otros que van a turnos por la tarde, entre 6 y 8 vuelve el flujo de personas que terminan sus actividades y vuelven a casa. Algunos son llevados por transporte de personal en horarios de 10 a 12 de la noche, comenzando a las 5:30 de nueva cuenta el flujo de personas.

3.3.4 Determinación de puntos susceptibles a riesgo de avenidas torrenciales

Tras realizar una revisión hemerográfica virtual entre el 1 de mayo de 2020 y 1 de mayo del 2021, se creó una tabla con información que contribuyera a localizar situaciones hidrometeorológicas actuales que terminaron en una afectación a la población en la MCSC, como inundación, encharcamiento o avenidas torrenciales. La tabla 19 presenta la información recolectada, donde se detectó que fueron 4 días del último año los que presentaron mayores afectaciones a la población que se encuentra en la zona media y baja pertenecientes a la Delegación Félix Osores Sotomayor. Los meses de junio, julio y agosto fueron los que presentaron estos eventos hidrometeorológicos, donde por lo menos 100 viviendas fueron afectadas con la entrada de agua a sus viviendas.

Se presentaron 6 reportes de diferentes zonas de la parte baja de la microcuenca por afectación de encharcamientos entre 15-30 cm de altura. Las avenidas torrenciales no son mencionadas con el término científico, sin embargo, fueron 5 los videos donde se muestra la gran velocidad con la que fluyen, teniéndose registro de 2 mujeres arrastradas por la corriente de agua, sin mayores percances.

Esto demuestra el peligro que tienen la fuerza con la que escurre el agua gracias a la pendiente mayor a 10% y suelo pavimentado, el cual contribuye a una mayor fluidez por la nula fricción entre ambos elementos.

Por último, se registraron 5 afectaciones por inundación de 30-50cm de profundidad en diversas viviendas de diferentes colonias como El sol, Puertas del Sol, Huertas Don Manuel, Fundadores, El Rocío, Josefa Ortiz de Domínguez IV, Geoplazas y Los Sauces, siendo esta ultima la que presento mayor mención de diferentes afectaciones dentro de la delegación Félix Osores Sotomayor.

Tabla 19. Afectaciones registradas en la MCSC durante 1 año (2020-2021).

Colonia	Calle	Fecha	Tipo afectación
San pablo	Av. 5 de febrero	07-jul-20	Encharcamiento de 20-30cm
Cerrito colorado	Av. De la piedra	07-jul-20	Avenida torrencial con fuerza de 40-60cm
Cerrito colorado	Kiliwas	07-jul-20	Avenida torrencial con fuerza de 20-30cm
El sol, Puertas del Sol, Huertas Don Manuel, Fundadores, El Rocío y Los Sauces	-	03-ago-20	Inundaciones por arriba de la banqueta y al interior de algunas viviendas
Josefa Ortiz de Domínguez	Av. de la luz y Av. de la cascada	07-jul-20	Avenida torrencial fuerte de 40-60cm
Geo plazas	Bld. B. Quintana y Begonias	07-jul-21	Inundación 30-40cm
Sauces	Av. de las fuentes y Dublín	07-jul-20	Inundación 40-50cm
Satélite	Av. Guayaquiri-De las fuentes Esq. Crestón	07-jul-20	Avenida torrencial de 30-40cm
Satélite	Av. de la cascada	07-jul-20	Caída de árbol
Los sauces	Dublín y Viena	07-jul-20	Inundación de 15-30cm
El Rocío	Laguna y Mares	07-jul-20	Encharcamiento de 10-15cm
Los sauces	Calle Liverpool	07-jul-20	Caída de árbol
Los sauces, El Tintero, El Sol, El Rocío	-	02-ago-20	Encharcamientos 15-25cm
Fundadores	Diego de Tapia	01-ago-20	Encharcamiento 15-30cm
La Luna, Don Manuel, Los Sauces, Tintero, El Sol y El Rocío	-	01-ago-20	Encharcamientos 15-25cm
Josefa Ortiz de Domínguez IV	Calle Agua	28-ago-20	Inundación dentro de casa 15-30cm
Satélite	Av. de las fuentes	28-ago-20	Avenida torrencial de 20cm arrastra a 2 mujeres

Fuente: Elaborado a partir de una revisión hemerográfica virtual con información obtenida de notas y reportes ciudadanos a través de la red social Twitter de entre 2020-2021.

Esta sección se complementó con información de las encuestas realizadas alrededor de toda la microcuenca, donde algunas preguntas estaban enfocadas a conocer los puntos susceptibles a presentar riesgo hidrometeorológico, como la pregunta numero 2 donde se solicitó la calle y colonia de las personas, a esta se le agrega la respuesta numero 6 donde se pide marcar las afectaciones que han padecido por la lluvia.

Se obtuvo un mapa (figura 26) señalando aquellos puntos y avenidas con afectaciones durante la temporada de lluvias que mencionaron los encuestados. Donde se observa que las afectaciones de inundación y encharcamientos se presentan en la zona baja de la microcuenca, justo en la salida del cauce, de igual manera se presentan en el comienzo de la zona media, donde se hacen presentes la aparición de avenidas torrenciales. Las cuales, según las personas encuestadas, son recurrentes cada que precipita una gran cantidad de agua en poco tiempo (30-40 minutos), algunos otros mencionaron su aparición a partir de la pavimentación de avenidas en esta zona.

Dentro de las personas que se han visto afectadas por encharcamientos, la mitad no cree que su vivienda tenga riesgo a inundarse, esto porque se encuentran sobre la zona alta y media donde su problemática se ve reflejada en la creación de avenidas torrenciales de más de 15cm que llegan a entrar en las cocheras, de igual manera algunos solo tienen presencia de encharcamientos leves de 5 a 10cm sin presentar mayor afectación. Sin embargo, el 36% presenta una susceptibilidad media y alta.

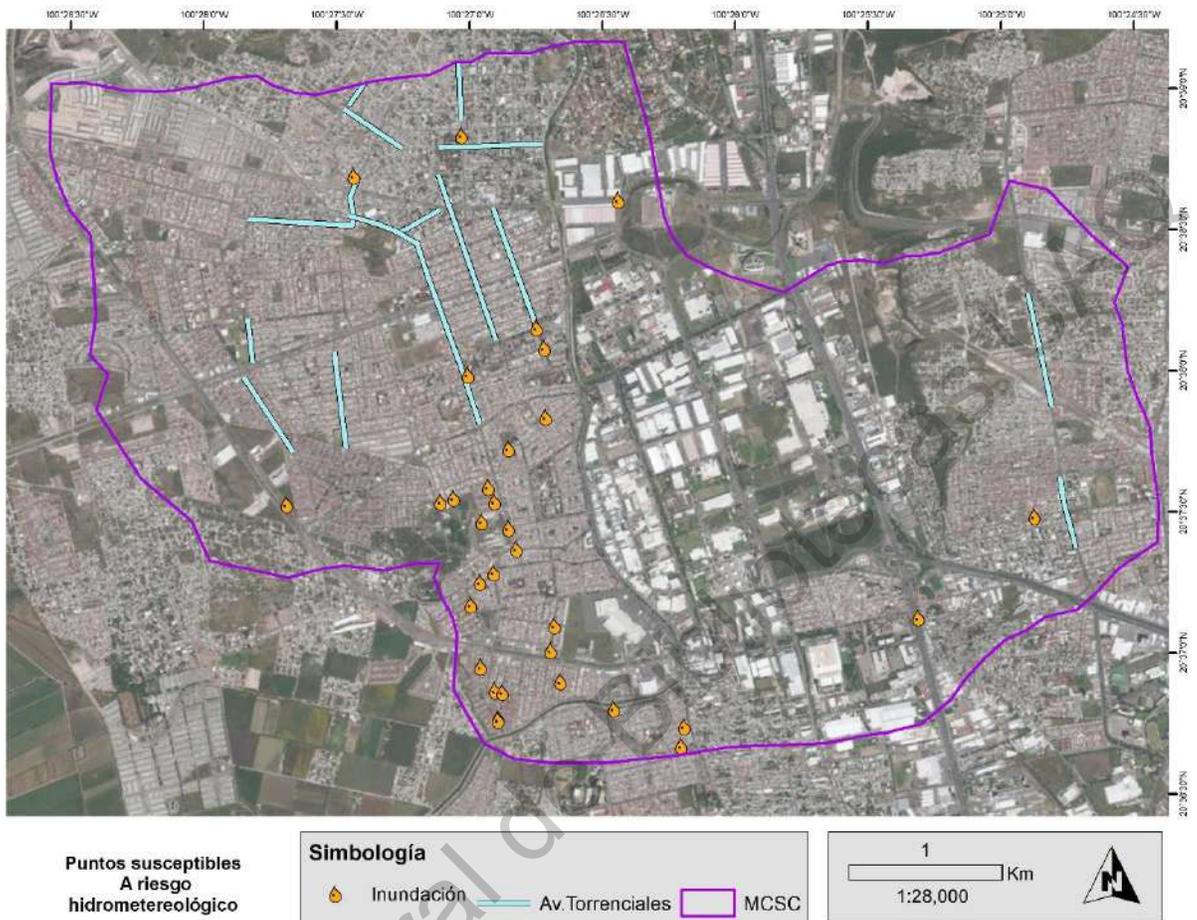


Figura 26. Mapa de puntos susceptibles a inundación y avenidas torrenciales señalados por los encuestados y en la revisión hemerográfica virtual.

3.3.5 Encuestas

La encuesta empleada se dividió en 3 temas principales: cobertura vegetal, escorrentía y espacio público y participación social, esto para entender la importancia que tienen estos temas dentro de la microcuenca, tanto el control de escorrentía y los tipos de afectaciones que ocasionan los eventos hidrometeorológicos cada temporada de lluvia. De igual manera el saber la importancia que tiene la cobertura vegetal para las personas, y que tan dispuestos estarían de participar en comités para el cuidado y mantenimiento de la misma. Se

usó un lenguaje sencillo en las encuestas y se optó por no usar palabras ambiguas y preguntas indiscretas, además se hicieron preguntas para obtener respuestas limitadas o de una sola idea. Al tener el número de muestra completo, se reunieron todos los datos para poder codificar la información obtenida.

Se comenzó preguntando el nombre de las personas, así mismo se les pregunto la calle y colonia en donde viven, lo que permitió ubicar las afectaciones y su percepción sobre la cobertura vegetal y la escorrentía que se genera en temporada de lluvias.

3.3.6 Cobertura vegetal

Fueron 5 las preguntas relacionadas con este tema, la primera fue el conocer las características cercanas a las viviendas de las personas encuestadas, donde se enlistaron elementos relacionados con los árboles, parques, jardines y camellones (Ver figura 27). Se obtuvo que el 75 % de las personas tienen contacto con algún tipo de árbol ya sea pequeño, mediano o grande y el 25 % restante no tienen contacto con algún árbol cercano a su casa.

Son los árboles medianos y grandes los de mayor presencia con 46.9 % y aquellos pequeños con un 14.2 %. Esto nos indica que más de la mitad de la presencia de cobertura vegetal proporcionada por árboles tiene un tamaño de entre 2 a 4 metros de altura, además se demuestra que existe una baja densidad, ya que al menos tres cuartas partes de los encuestados observa solo 1 árbol fuera de casa.

Gran parte de la microcuenca presenta sensación fuerte a intensa de temperatura diurna en meses de secas, esto se debe a la baja cobertura vegetal y densidad de la misma. Al tener un 80% de respuestas donde las personas sienten islas de calor en horarios diurnos y vespertinos, se afirma el hecho de que la cobertura vegetal no presenta un servicio de regulación de temperatura, si bien hay zonas donde los

árboles grandes generar la sensación de frescura en algunas viviendas, esto es visible solo en puntos aislados.

En la figura 27 se observa en la zona baja que la intensidad es fuerte mientras que la cobertura es de árboles pequeños y medios con una densidad baja, la zona media presenta puntos intensos y fuertes, y algunos bajos, con una cobertura vegetal media con una densidad baja, la zona alta presenta densidad baja de cobertura vegetal y puntos intensos y fuertes. Si bien se pudo observar anteriormente que la cobertura vegetal tiene poca densidad, se demuestra que la intensidad de la temperatura no varía por la vegetación presente.

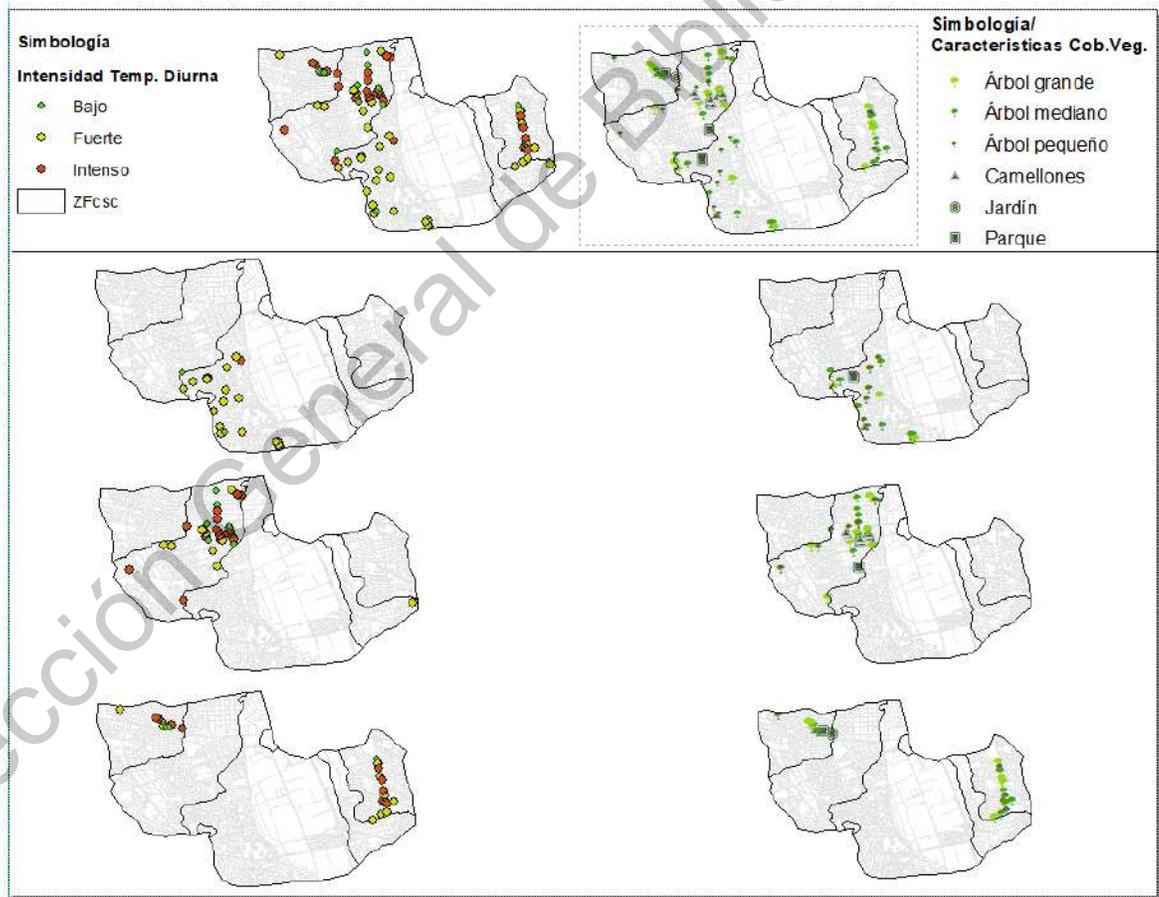


Figura 27. Puntos de percepción de temperatura y características de la cobertura vegetal.

En cuanto a la importancia que los habitantes de la microcuenca le dan a la vegetación, todos los encuestados señalaron que es importante conservar y mantener al menos 1 de los lugares propuestos (árboles, parques, jardines, patios con jardín y escuelas con árboles). Por lo que sí existe una conciencia sobre la importancia de cuidar aquellos sitios donde pueda desarrollarse la cobertura vegetal. Fueron 23.7 % las personas que manifestaron la importancia de conservar los árboles y 42.2 % aquellos que piensan que es indispensable conservar todos los lugares donde haya vegetación presente. El 34 % restante dio respuestas variadas de sitios, como parques/jardines, árboles/jardines/escuelas, entre otros. Sin embargo, como se mencionó, todos entienden la importancia de mantener, aumentar y cuidar la cobertura vegetal de la microcuenca.

3.3.7 Escorrentía

Como se señaló en la sección del análisis biofísico, la escorrentía puede llegar a presentar volúmenes de hasta 69.6 m³/s en algunos puntos de la microcuenca, sobre todo en la zona media, son 9 unidades de escurrimiento las que presenta la MCSC de las cuales 5 se encuentran sobre la zona de mayor problemática que es en la zona media y baja de la parte oeste. El tiempo de concentración de estas unidades de escurrimiento es de apenas 3.26 minutos, esto en presencia de precipitaciones intensas, lo cual limita la acción de respuesta para aminorar riesgos.

Dentro de esta sección se generaron 8 preguntas relacionadas con la escorrentía pluvial y afectaciones hidrometeorológicas que han presenciado los habitantes encuestados. Lo primero fue conocer el tipo de suelo para comprender mejor el flujo de la escorrentía de cada lugar señalado, dentro de las tres zonas funcionales el tipo de suelo con mayor presencia son las calles pavimentadas con un 77.5 % lo que rectifica el 86.4 % de urbanización presente en la microcuenca. Con menor presencia sobre todo en las partes medias y bajas se encuentran las calles

empedradas, adoquinadas y de terracería. Estos datos evidencian porque el agua escurre rápidamente y en grandes volúmenes durante eventos con intensidad fuerte de lluvia.

Respecto a esto, el 57 % de las personas encuestadas indico que la zona donde se encuentra su vivienda no tiene presencia de encharcamientos, sin embargo el 43 % restante menciona que el agua se encharca de entre 5 a 30cm fuera de sus viviendas (figura 28), en la zona media y baja se observan 18 % de encharcamientos con alturas de 5 a 19 cm, mientras que aquellos de 20 a 30 cm de altura representan un 26.7 % de aparición, sobre todo se mencionan dos sectores, por un lado la Unidad de escurrimiento 1 en su zona media presenta varios puntos de este tipo de encharcamiento, ya que su forma topográfica permite la acumulación de la escorrentía en un mismo punto de salida por unos minutos. Mientras que los demás se ubican en la zona baja sobre la salida de los principales drenes pluviales los cuales dejan de ser eficientes y desbordan el gran volumen de agua escurrido de las zonas altas y medias acumulándose por varios minutos, es común que la basura arrastrada tape las coladeras e incremente el tiempo de escape del agua.

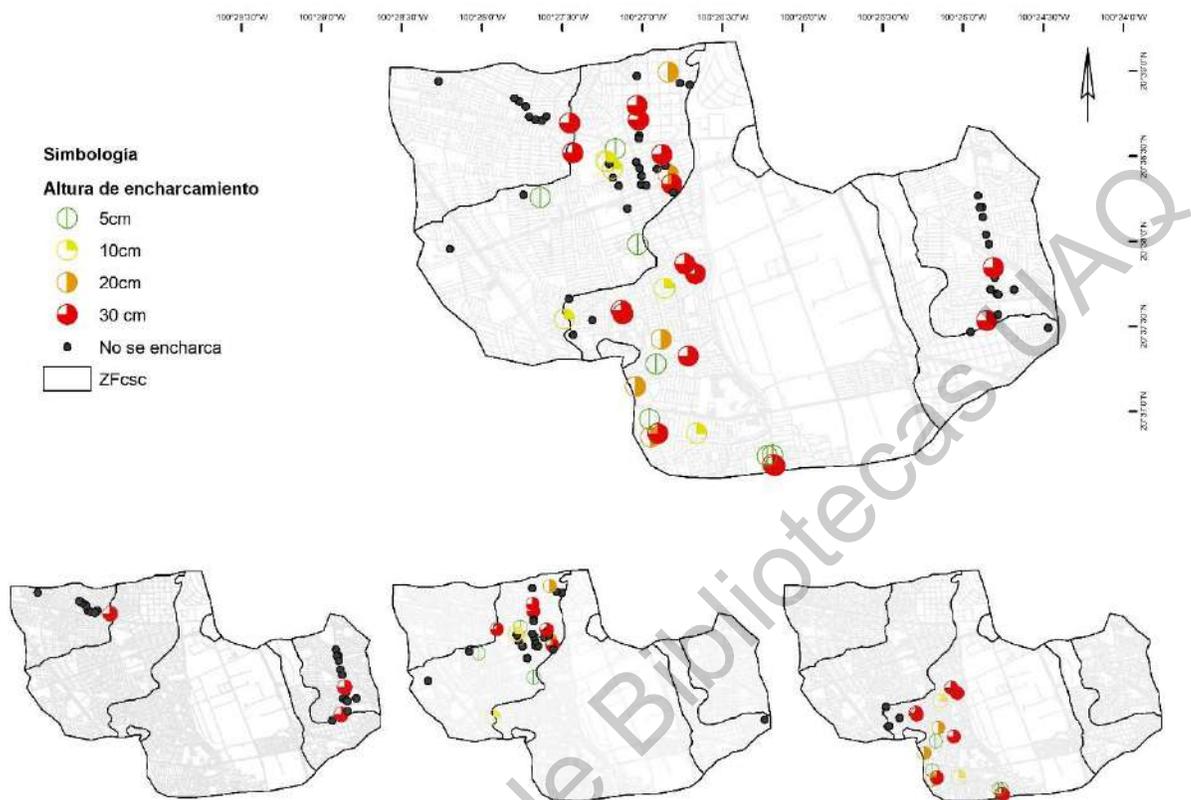


Figura 28. Tipo de encharcamientos sobre las zonas funcionales de la MCSC. Fuente: Elaboración propia con información de encuestas.

De todos los encuestados el 81 % se ha visto perjudicado por las afectaciones de eventos hidrometeorológicos, sin embargo, es importante centrarse en las personas que han perdido sus bienes por inundación de sus viviendas, las cuales representan el 19.8 % de los encuestados, estos con domicilios ubicados en la zona baja y media de la microcuenca. Además el 21 % de personas argumenta que el agua ha entrado a sus cocheras o patios, sobre todo en la zona baja y en casas ubicadas sobre avenidas con pendiente pronunciada donde se generan las avenidas torrenciales, esto nos muestra que el 40.8 % de los habitantes ha sufrido y estado en riesgo de perder sus bienes materiales gracias a este tipo de eventos.

Se puede observar en la figura 29 que los daños por inundación se encuentran centrados en gran porcentaje sobre la zona baja de la microcuenca, mientras que las avenidas torrenciales tienen presencia y afectaciones en la zona media. Estos puntos nos señalan por un lado los nuevos cauces del agua así como los puntos donde la pendiente es más pronunciada. Por otro lado nos muestra las zonas más bajas donde el agua se acumula antes de seguir su cauce hacia otras microcuencas, estas se concentran sobre todo en la parte sureste de la zona baja, que es donde la mayoría de los drenes pluviales se unen hacia el Dren El Arenal.

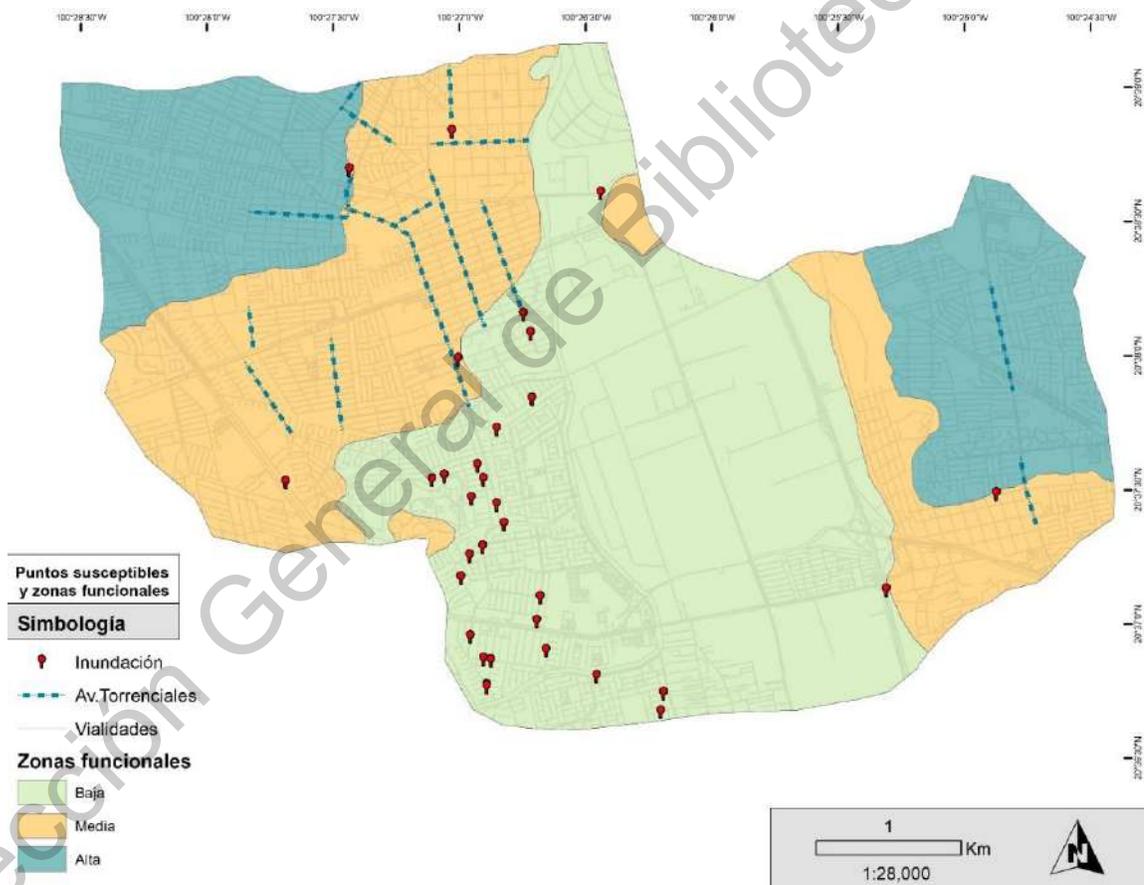


Figura 29. Puntos susceptibles a inundación y avenidas torrenciales dentro de la MCSC.

Estos puntos y líneas señalan los lugares donde año con año las problemáticas se presentan con diferentes grados de intensidad según sea la precipitación. Las encuestas muestran que al menos un 45 % de población presenta afectaciones por eventos hidrometeorológicos cada temporada de lluvias. Algunos comentan que, desde la pavimentación de algunas avenidas, aumentó la cantidad de agua que escurre. También se comentó que cada que llueve en exceso se tapa el drenaje, lo que expulsa aguas negras a calles y avenidas.

Sin embargo el 71.4 % consideran que sus viviendas no tienen riesgo a inundarse, esto deja al 28.6 % restante con una alta posibilidad de presentar riesgo a inundación, por lo que se facilita la selección de puntos, ya que no toda la microcuenca presenta este riesgo, de esta manera las acciones son más fáciles de ubicar según sea el caso.

Para saber la percepción sobre el riesgo, se preguntó por qué consideran que su vivienda es susceptible o no a riesgo por eventos hidrometeorológicos, algunas respuestas textuales fueron:

- “Las calles con poco drenaje y sin capacidad de liberar agua”
- “Porque ya ha sucedido”
- “Parece que no hay salida o canales para el agua de lluvia”
- “Baja mucha agua”
- “El Dren de la calle es muy pequeño”
- “El drenaje no es suficiente”
- “Hay poca fluidez”
- “Alcantarillas tapadas con basura”
- “El agua se encharca mucho”
- “Se han hecho bardas para que el agua no entre cada que llueve”
- “Porque se han metido aguas negras a mi vivienda”
- “Porque no hay buen sistema de drenaje”

Por último, si las personas se vieran afectadas o dañadas por la intensa lluvia el 51 % no tendría la posibilidad de solventar un gasto de esa magnitud, solo el 12.2 % cree muy probable el poder solucionar con sus ingresos las afectaciones si así fuera necesario. Por lo que más de la mitad de la población no tiene la capacidad económica para aminorar el daño de una inundación o pérdida de bienes, además la mitad de estas personas que dicen no tener la posibilidad de solventar ese gasto, ya han presenciado daño en sus viviendas anteriormente.

3.3.8 Espacio público y participación social

La información de esta sección contribuyó a conocer los hábitos que tienen las personas, así como el uso que le dan al espacio público cercano a su hogar, de igual manera revela aquellos sitios de apropiación que hay dentro de la microcuenca, ya que, si bien hay diversos parques o jardines pequeños, estos tienen una apropiación diferente, ya sea un punto de reunión o el practicar algún deporte.

La información presentada tiene un carácter etnográfico, y debe señalarse que la apropiación del espacio público es un tema extenso el cual representa una nueva investigación, ya que este tiene una gran variedad de temas, sin embargo la participación social si puede trabajarse en zonas funcionales para tener una mejor gestión de los SEU.

Se obtuvo que el flujo de personas en la microcuenca por parte de los encuestados, es baja, ya que solo el 25.7 % acostumbra salir a caminar diariamente o al menos 3 días por semana, lo que refleja un bajo uso del espacio público en general por toda la microcuenca, gran parte lo usa solo para transportarse de un punto a otro, y el 38.6 % dijo que no acostumbra salir a caminar o hacer deporte. Esto nos indica que el espacio público no tiene una gran apropiación por las personas, solo se usa como camino a casa y no como un lugar de intercambio, convivencia o relajación.

Si bien una cuarta parte de los encuestados tiene una alta interacción esto no refleja una verdadera apropiación, la cual se da por falta de infraestructura y seguridad en el espacio público.

En cuanto a los lugares donde se presenta una mayor apropiación y flujo de personas en el espacio público, se mencionaron 21 lugares que acostumbran visitar las personas para realizar diferentes actividades dentro de la microcuenca, los cuales se subdividen en 4 grupos, el primero es el más concurrido se trata de las calles y avenidas que tienen presencia de camellones con árboles, el segundo son los parques, el tercero las unidades deportivas y por último las canchas mixtas.

El parque que más visitan los encuestados es Alfalfares que cuenta con una cobertura vegetal considerable y provee servicios ecosistémicos urbanos como regular la temperatura, servir como hábitat para diferentes especies, recreación y el conservar la estructura original de la cobertura vegetal, este último no se considera un SEU. De igual manera los parques lineales son atractivos y accesibles para la mayoría de la población siendo los de Av. Paseo Constitución, Av. Tempano, Av. De la luz, Av. Pirineos y Blvd. Bernardo Quintana los más concurridos.

Son las avenidas principales donde el espacio público tiene mayor apropiación de las personas, ya que lugares como la zona industrial que se encuentra en la zona baja queda completamente solitaria los fines de semana.

En cuanto a la participación social, para ser parte de algún comité que administre la cobertura vegetal representativa que provee servicios ecosistémicos urbanos, el 45.2 % dijo que si estaría dispuesta o dispuesto a participar para conservar y mantener la cobertura vegetal cercana a sus viviendas o negocios, el resto de las personas que representan el 54.7 % no están interesadas en participar ya sea por falta de tiempo, de interés o simplemente lo ve complicado.

Las personas que habitan la zona alta tienen una mayor aceptación sobre conservar la cobertura vegetal, en la zona media hay opiniones variadas pero hay presencia de interés por participar, y la zona baja tiene de igual manera respuestas variadas ya que la mitad de la población si lo haría mientras que la otra mitad no. Esto demuestra que si bien no hay un gran interés, existen personas sobre las tres zonas funcionales que pueden contribuir bastante para comenzar una gobernanza urbana que garantice el bienestar de la población y de los SEU.

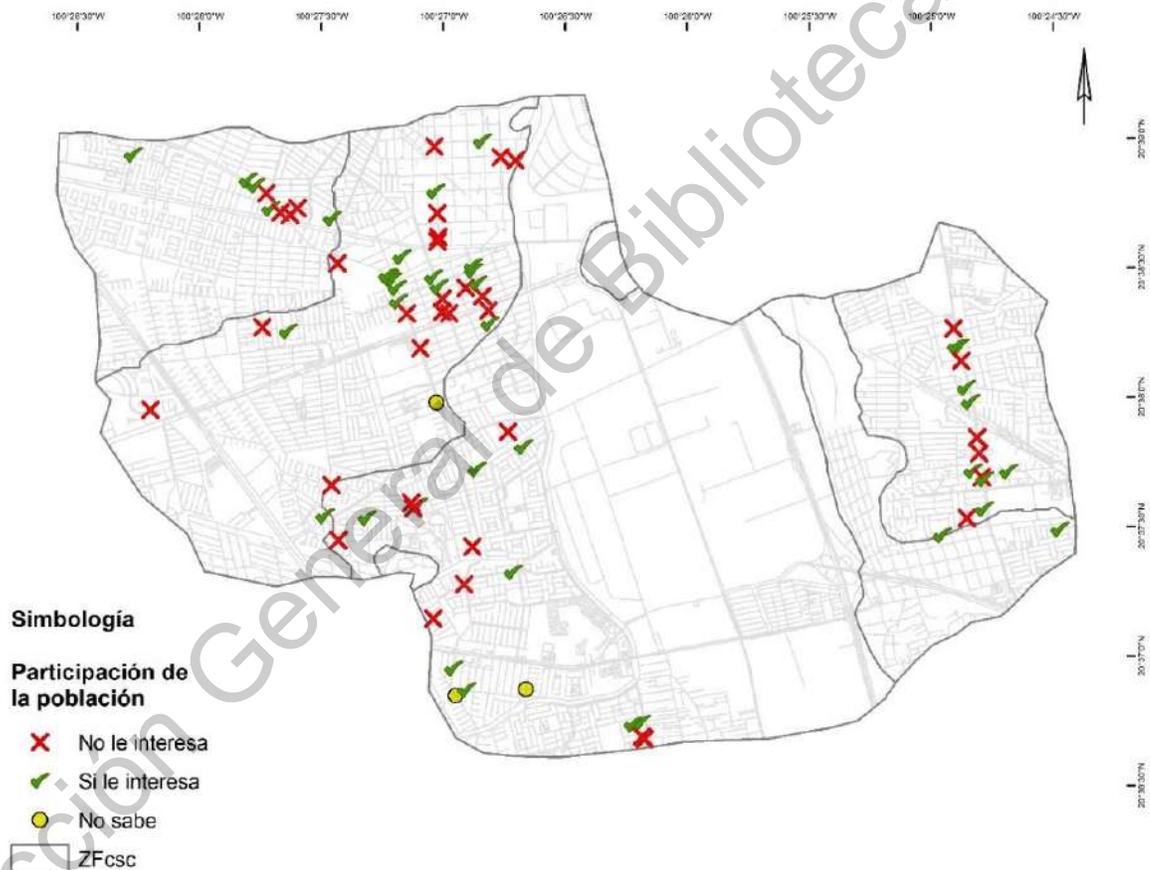


Figura 30. Participación de la población para conservar la cobertura vegetal.

También existen opiniones variadas, algunos piensan también que esto puede traer ciertos problemas con el tiempo, como lo menciona la siguiente persona:

“A la gente no le gusta cooperar ni monetaria ni moralmente y uno termina encargándose de todo”

Esta persona fue encuestada en su negocio frente a una avenida principal, refiriéndose aquellas personas que dejan basura sobre los camellones y sobre el cuidado que le da a un árbol, mencionando que el municipio no se ocupa de esta vegetación como se debe, siendo solo algunos comerciantes los interesados en cuidarla.

Algunas personas además mencionaron la importancia de participar en comités que conserven y mantengan la vegetación, algunas frases fueron las siguientes:

- “Es importante que participes”
- “Es importante conservar el estado actual de los árboles y mejorarlos”
- “Es necesario para acudir a relajarse”
- “Es necesario tener estos lugares”
- “Se debe estar al pendiente de ellos”
- “Tenemos un comité de vecinos en cada condominio”
- “Para enterarme de los problemas de la colonia y ayudar a resolverlos”
- “Por qué se vería un cambio” (Paisaje)
- “Porque me llama la atención”
- “Sería para el bien de todos”
- “Para que se vea bonita la colonia”
- “Me gusta que el ambiente este limpio”
- “Porque hace unos años se puso en riesgo”
- “Hay que cuidarlos ya que son muy pocos”
- “Reducen el calor”
- “No solo es responsabilidad del gobierno”

Teniendo en cuenta la participación social, y la importancia de conservar la cobertura vegetal, se obtuvo que al menos 70 % de los encuestados tienen el

cuidado de mantener más de 6 plantas en sus viviendas, lo que habla bien del compromiso de las personas ante la vegetación, así como la importancia que se le da en zonas urbanas. Solo el 25.5 % comentaron no tener ninguna.

Si bien se tiene cierto nivel de conciencia ambiental sobre la cobertura vegetal, la participación no existe, ni la mitad de interés por las personas de participar en su cuidado o mantenimiento.

Por último, para conocer qué tan factible puede ser la aplicación de un pago que contribuya a conservar y sobre todo aumentar los servicios ecosistémicos urbanos de la microcuenca, se dispuso conocer cuál sería la aportación que daría cada persona. El 15.3 % de las personas están dispuestas a pagar una cantidad de entre \$10 a \$100 pesos para mantener la cobertura vegetal que aportan los árboles, parques, jardines, escuelas y patios de casas. Un 62.2 % dijo que le corresponde al municipio mantener y conservar estos elementos, que aportan varios servicios como el control de temperatura, reducción de escorrentía, aumento de hábitat para aves e insectos, cultural y estético. Y el 22.4 % restante mencionó que, si aportaría una cantidad mensual, pero creen que es trabajo del municipio.

4. Discusión

La microcuenca CSC se encuentra dentro de la zona urbana del municipio de Querétaro y representa un espacio que ha crecido estructuralmente gracias a la zona industrial que hay dentro de ella, la cual ha facilitado la rápida expansión y ocupación de personas dentro de la microcuenca, ocasionando una modificación y drástica disminución de los ecosistemas que integran este espacio geográfico urbano.

Esto ha traído diversas afectaciones socio-ecosistémicas, como la fragmentación del espacio, la ocupación repentina del mismo sin planeación territorial, la pérdida de cobertura vegetal, la modificación hidrológica y climática, el aumento de riesgo hidrometeorológico, las inundaciones y avenidas torrenciales gracias al sellamiento del suelo por concretos y pavimentos, el bajo interés por recuperar los servicios ecosistémicos urbanos por parte del gobierno estatal y municipal y contaminación de aire y agua por parte de las empresas en la zona industrial. Esta serie de problemáticas se han dado en un lapso de tiempo de aproximadamente 20 años, aquellos relacionados con lo hidrometeorológico llevan aproximadamente 5 años ocasionando afectaciones año tras año.

La MCSC cuenta con una modificación de sus funciones y estructura, por una parte su hidrología se contempla como interpluvial donde el drenaje, infraestructura pluvial y calles se convierten en los principales cauces, la cobertura vegetal es limitada y sin conexión, al tener poco espacio sin concreto y pavimento se dificulta el desarrollo y buen estado fitosanitario de la misma. Es por ello que presenta problemáticas como inundaciones repentinas en la zona baja, y la creación de avenidas torrenciales en la zona media, por lo que es necesario valorar el potencial que la restauración de SEU trae al aumento de las funciones y estructura de la microcuenca, a la vez que disminuyen este tipo de problemáticas (Gómez-Baggethun *et al.*, 2013).

la cobertura vegetal de la microcuenca ha sido degradada y representa un valor bajo de presencia territorial, son solo árboles dispersos aquellos que podrían aumentar la cobertura, ya que el espacio urbano ya no permite derribar estructuras selladas por pavimento o concreto, para la creación de nuevos parques o jardines que incrementen este porcentaje de suelo sin sellar, es por ello que la provisión de SEU por parte de la infraestructura verde es de gran importancia para aumentar las funciones pero sobre todo la estructura de la microcuenca (Calderón-Contreras y Quiroz-Rosas, 2017).

Así pues es necesario establecer un mejor manejo de la cobertura vegetal en ambientes urbanos, no solo como un elemento del paisaje, sino como proveedora de servicios ecosistémicos (Reyes y Gutiérrez, 2010). El manejo de la vegetación debe ser detallado, como recolectar información dendométrica (estructura y composición) para conocer mejor su funcionalidad en espacios urbanos (Gallo, 2017).

La escorrentía como se mencionó, incrementa su volumen y velocidad durante precipitaciones de lluvia intensa gracias al tipo de suelo, afectando a cierta población que habita sobre zonas de riesgo a inundación y presencia de avenidas torrenciales, en estos casos es importante implementar una serie de soluciones, como el uso de índices de riesgo que sirvan para evaluar el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en microcuencas urbanas (Martínez y Márquez, 2017). Para reducir los riesgos a eventos extremos de lluvia (De Alba, 2019). O el realizar análisis espaciales de SEU que contribuyan en la retención de aguas pluviales y el aumento de la biodiversidad urbana (Grunwald *et al.*, 2017).

Esta evaluación socio-ambiental de SEU de cobertura vegetal y control de escorrentía se suma a las realizadas a los alrededores de la MCSC, como la de Palma (2019) quien realizó evaluaciones y mapeos de los servicios ecosistémicos de una microcuenca periurbana. La realizada por Peña (2017) quien a través de los servicios ecosistémicos de regulación propuso una estrategia de manejo para

la mitigación del riesgo asociado a inundaciones. Además del análisis de Olvera (2019) quien usando el servicio ecosistémico de abastecimiento, generó una propuesta de gestión integrada del agua.

La MCSC cuenta con información actualizada sobre sus servicios ecosistémicos urbanos referentes a la cobertura vegetal y la escorrentía pluvial, así como de la percepción que las personas tienen sobre las problemáticas derivadas de estos dos servicios. Lo cual permite generar posibles estrategias para la conservación de su estructura y funciones, teniendo en consideración los beneficios que se pueden obtener de la naturaleza, aunque esta se encuentre dentro de zonas urbanas (Gobierno Federal, 2019).

5. Reflexiones finales y recomendaciones

El enfoque de cuencas es interdisciplinario, busca la unificación de sus elementos estructurales y funcionales, que estos tengan una buena calidad para la prestación de servicios, además que las personas que habitan la inmensa diversidad de cuencas tengan un desarrollo adecuado haciendo participe al ambiente, usándolo a su favor y teniendo un conocimiento claro y objetivo sobre el espacio que habitan.

Dentro de la microcuenca CSC hay una interacción e interrelación entre sus aspectos biofísicos y socioecosistémicos. Cuenta con un límite definido por la urbanización y una estructura biofísica interna (suelo, vegetación, hidrología). Tiene entradas como gases de CO₂, así como de insumos tecnológicos e industriales, gracias a la zona industrial, teniendo salida de productos automotrices, domésticos, entre otros. Esto crea procesos de actividades productivas. De igual manera en ciertos meses hay una activación del ciclo hidrológico que al estar modificado presenta afectaciones constantes en zonas muy específicas de la microcuenca, sobre todo en zonas medias y bajas.

Al interior de la microcuenca, las personas, empresas y gobierno, socializan y trabajan en un mismo espacio geográfico, comparten identidades, tradiciones y cultura. Las interacciones entre sus sistemas ambiental y socioeconómico dependen de la oferta y calidad en la prestación de servicios ecosistémicos urbanos, por parte de su estructura, como la cobertura vegetal, la eficiencia del suelo para controlar avenidas torrenciales y el manejo de las mismas para evitar inundaciones en la zona baja.

Su delimitación está dada por la estructura urbana como calles, avenidas y viviendas, sin embargo la topografía del terreno sigue marcando el rumbo del agua entre las calles, las cuales se convierten en cauces intermitentes o avenidas torrenciales, y llegan a presentar volúmenes de hasta 70m³/s durante lluvias intensas, llevando una gran cantidad de agua a las partes bajas, y afectando la zona media por las velocidades y fuerza que puede presentar el agua. Su salida se da en la parte sureste, presentando continuas problemáticas por la acumulación de agua repentina. Dejando claro que el drenaje de esta zona es deficiente.

La microcuenca CSC puede definirse como un sistema ya que hay una relación entre su estructura y funciones, las cuales le dan una hidrología y cobertura vegetal única, hay entradas y salidas industriales e hidrológicas, así como interrelación entre sus zonas funcionales, ya que al modificar alguna de ellas se crea un efecto en cadena. Por ejemplo, al sellar la microcuenca con concretos en las partes altas y medias, crea un escurrimiento alto de agua el cual genera avenidas torrenciales en la zona media e inundaciones en la zona baja.

Al tener esto en cuenta, la microcuenca CSC presenta una alta degradación de su estructura vegetal, al presentar solo un 10 % de cobertura, contra un 90 % de suelo sellado por concreto, adoquín, empedrado y pavimento. La vegetación nativa representa el 4 % y según el análisis realizado, su prestación de servicios se encuentra en un nivel bajo gran parte del año. Por lo que las funciones que esta

pueda presentar se encuentran limitadas por la baja calidad de su estructura y el espacio limitado para su desarrollo.

En cuanto al control de escorrentía, a través del análisis detallado por unidades de escurrimiento, se sabe que son cuatro las que presentan gran parte de la problemática tanto de avenidas torrenciales como de inundación y encharcamientos. La microcuenca muestra una función hidrológica interpluvial alterada por la transformación de los cauces naturales, así como la modificación del suelo, desapareciendo la infiltración y aumentando el volumen de escorrentía.

El tratar problemáticas como las antes descritas a escala metropolitana, limita la adecuada intervención del espacio urbano, sobre todo en servicios ecosistémicos relacionados al escurrimiento pluvial, ya que es una función que se da de manera puntual. Si se gestionan desde el enfoque de cuenca se facilita su manejo, ya que al trabajar de manera objetiva, las intervenciones son centradas en los lugares donde comienzan las problemáticas.

Este modelo de análisis puede replicarse de manera efectiva en todas las microcuencas urbanas que presenten características similares a la intervenida, como pérdida y baja calidad de su estructura vegetal, aparición de avenidas torrenciales e inundaciones repentinas. Si se realiza una adecuada intervención de los SEU, se puede mejorar su función y estructura dentro de microcuencas urbanas.

El enfoque de cuenca nos permite no solo gestionar aquellos elementos relacionados a lo ambiental, sino también a lo humano, mejorando la calidad de vida de la población, se sabe que al menos la mitad de las personas que habitan la microcuenca está interesada en incrementar y conservar la cobertura vegetal, igualmente por conocer más sobre el control de escorrentía pluvial, la cual afecta al menos a una cuarta parte de la población en la microcuenca. Las personas que

han sido y son afectadas sobre todo por inundaciones, tienen un mayor interés de intervenir para controlar esta problemática, no por gusto sino por necesidad, esto evidencia aún más el problema de cuenca encontrado en Colinas de Santa Cruz.

Al contar con información clara sobre la estructura y funciones de la microcuenca, se pueden evidenciar las diversas problemáticas. El enfoque de cuenca puede crear a través de sus zonas funcionales un manejo más adecuado a las necesidades de la población y del ecosistema. Las cuales deben ser intervenidas con políticas públicas inclusivas en materia socio-ecosistémica, contemplando y generando información con calidad, profundidad y sentido humano.

5.1 Recomendaciones

La microcuenca se analizó desde los tres recursos naturales más importantes que es la cobertura vegetal, el tipo de suelo y sus características hidrológicas. Los cuales a su vez pueden integrarse a los datos ya existentes de microcuencas adyacentes, creando un mosaico ambiental general de la región para un mejor manejo.

Para su intervención se deben contemplar las zonas hacia donde escurre el agua y cuales son aquellas con mayor afectación, detallando los puntos o colonias con mayor interés de manejar el control de escorrentía. Así como aquellas donde la estructura vegetal deba tener mayor cobertura para controlar la caída de lluvia.

Como se sabe la vegetación, suelo y agua son elementos que confluyen entre sí dentro de una microcuenca, por lo que al conocer el funcionamiento de los sistemas hídricos y estructura de la cobertura vegetal, se puede valorar el grado de intervención y desarrollo de acciones a implementar. Por su parte el sistema socioeconómico no tiene un límite físico, además depende de la oferta y calidad

de los servicios ecosistémicos sobre todo los relacionados con el control de escorrentía y aumento de cobertura vegetal.

Usando el término de servicios ecosistémicos urbanos se puede describir y conocer la estructura y funcionamiento de las microcuencas urbanas, las cuales no se manejan a través de proyectos, sino con un conjunto de acciones que al integrarse dé un manejo integral del espacio geográfico.

6. Estrategias de manejo

Estrategia 1:

Aumento y conservación de la cobertura vegetal y control de la escorrentía

Problemática

La MCSC tiene una superficie urbana mayor a 80 % lo que la convierte en un ecosistema modificado, sobre todo su estructura vegetal y su hidrología, por un lado la biomasa representada por matorrales, pastos, malezas y árboles tiene una baja presencia dentro de la MCSC y aquella presente cuenta con valores de condiciones fitosanitarias muy bajas y puntos muy aislados de rangos altos de vigor, densidad y humedad. Por otro lado la escorrentía tiene un aumento de volumen en algunas avenidas donde se concentra y ocasiona diversos problemas sobre todo relacionados con la entrada de agua a las viviendas y el arrastre de objetos o personas.

La baja cobertura vegetal ha traído el aumento de islas de calor en diversas partes de la MCSC en horarios diurnos donde el calor escapa del concreto y pavimento, este se libera y no hay cobertura vegetal que aminore esta sensación, ocasionando noches muy calurosas para la población. La escorrentía es una problemática

constante en temporada de lluvias, la cual lleva grandes cantidades de agua a la zona baja sobre todo a la salida natural del cauce principal, donde se han generado inundaciones en los últimos 20 años teniendo como consecuencia la pérdida de bienes de las personas, actualmente existen nuevas zonas susceptibles a presentar esta problemática anual.

Estrategia

Con el aumento y conservación de la cobertura vegetal se puede controlar la escorrentía, al menos una parte de ella. Se deben realizar acciones en puntos específicos de las zonas funcionales alta y media, que contribuyan a disminuir la escorrentía a través de la copa de los árboles que actúa como un paraguas durante las lluvias, disminuyendo la velocidad de caída y escurrimiento, permitiendo a la infraestructura pluvial trabajar bajo sus capacidades estructurales sin problema.

Esto también contribuye al aumento del tiempo de concentración de las unidades de escurrimiento de la MCSC, lo cual permite que el agua este más tiempo circulando por los cauces pluviales en volúmenes considerables que no alteren la vida cotidiana de la población. Y sobre todo que no se acumule en la zona baja en particular en la salida del cauce principal, donde se presenta el mayor número de afectaciones por inundaciones y el ingreso de agua a las viviendas.

Se debe considerar un programa de recolección de hojarasca que se implemente adecuadamente en los meses de caída de hojas, ya que de lo contrario esto podría tapar las coladeras y seguir contribuyendo a que aparezcan las problemáticas y riesgos humanos. Con la disminución de superficies selladas por concretos y pavimentos se aumenta la infiltración del agua disminuyendo la escorrentía sobre las calles y avenidas, además de modificar el aspecto urbano de estas áreas.

Beneficios

Al tener mayor cobertura vegetal se controlan las islas de calor, frena la velocidad del agua que cae al suelo, se crean nuevos hábitats para insectos y aves, genera nuevos espacios recreativos urbanos, crea nuevos paisajes urbanos y aumenta la calidad de vida de las personas. Además se puede recrear en toda la ciudad impulsando su desarrollo integral y sustentable.

Contribuye a disminuir el riesgo por inundación en las zonas bajas de la MCSC, permitiendo no intervenir la infraestructura pluvial ya existente. Esto le da un nuevo enfoque a la gestión del agua dentro de las microcuencas urbanas, ayudando a controlar las funciones de la estructura de la MCSC.

Tabla 20. Acciones y ventajas del aumento y conservación de la cobertura vegetal y control de la escorrentía

Acciones	Ventajas
Reforestación con árboles nativos calles y avenidas de la zona alta y media	<ul style="list-style-type: none">• Controlar el volumen de escurrimiento hacia ciertas colonias de la zona baja• Disminuir el riesgo de arrastre• Disminuir riesgo de ingreso de agua a las viviendas• Controlar las inundaciones de la zona baja• Disminuir riesgo de pérdida de bienes y vidas humanas por la velocidad del escurrimiento y la acumulación de agua• Seguir usando la infraestructura pluvial actual• No afectar la vida cotidiana de las personas• Aumentar la cobertura vegetal
Disminuir el sellamiento de concreto y pavimento	<ul style="list-style-type: none">• Disminuir velocidad de escorrentía• Aumentar infiltración• Mejorar apariencia urbana• Recuperar el suelo

Estrategia 2:

Incentivar políticas públicas desde el enfoque de cuenca

Problemática

Las intervenciones deben tener una reglamentación, para que los interesados y usuarios de la microcuenca puedan evitar conflictos en la implementación de acciones. Para esto es necesario mejorar la calidad, inclusión, uso y profundidad de los conceptos relacionados a los servicios ecosistémicos urbanos dentro de las políticas públicas del estado y municipios de Querétaro. Así como actualizar los planes parciales de desarrollo para las delegaciones del municipio de Querétaro, adaptando las acciones a necesidades reales de los sitios con mayor importancia de intervención.

Dentro de las actuales acciones propuestas en los planes parciales de desarrollo de cada delegación, no se contempla el control de escorrentía ni el aumento y conservación de la cobertura vegetal urbana. Se deben incentivar aquellas acciones que en conjunto hagan un adecuado manejo de las funciones y estructura de los sistemas ambiental y socioeconómico, la manera más conveniente es por zonas funcionales de la microcuenca, ya que en cada una se presentan problemáticas tanto similares como muy específicas.

Estrategia

Otra manera de intervenir la microcuenca es a través de políticas públicas, como el pago por servicios ecosistémicos urbanos, el cual funciona como un fondo de ahorro para las acciones requeridas según la zona prioritaria. El cual puede ser manejado por un comité de microcuenca que se integre por población de cada zona funcional. Además de incentivar la educación ambiental de toda la población y tener un mejor conocimiento de la estructura y funciones de su espacio vivido.

De igual manera el crear protocolos de emergencia para la población más vulnerable es indispensable, para saber en qué momento actuar, estar prevenidos ante cualquier situación de riesgo hidrometeorológico.

Así pues es necesario implementar nuevos conceptos a las políticas públicas municipales que incentiven el buen funcionamiento de los servicios ecosistémicos urbanos que ofrece la estructura y funciones de las microcuencas urbanas que componen la ciudad. Así como promover una gobernanza urbana que permita a las personas tener mayor decisión sobre sus espacios vividos, creando una sinergia que beneficie al mayor número de personas posible.

Beneficios

El contar con una reglamentación contribuye a manejar los conflictos que puedan ocurrir al implementar obras en las calles o viviendas de las zonas aptas de intervención, las cuales a través de pagos por SEU costearan reforestaciones y modificaciones de banquetas y vialidades, para incrementar la cobertura vegetal aumentando la infiltración y aumentando la fricción del agua de lluvia sobre las calles modificadas, así como el mejoramiento del aspecto urbano de estos lugares.

Además la población se beneficia ya que las acciones serán implementadas de manera gradual, en gran parte de las unidades de escurrimiento en cuestiones hidrológicas y por zona funcional en aspectos humanos y de cobertura vegetal.

Tabla 21. Acciones y ventajas de Incentivar políticas públicas desde el enfoque de cuenca

Acciones	Ventajas
Políticas públicas socioecosistémicas	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con protocolos de emergencia para la población • Construcción de zonas verdes inundables • Mejorar la respuesta de los drenes pluviales de la zona baja
Pago por servicios ecosistémicos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de los SEU • Reforestaciones • Conservación de cobertura vegetal
Comité de microcuenca por zona funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Gobernanza urbana • Acciones puntuales y objetivas • Decisiones propuestas por locales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agredo Cardona, G. A. (2013). *La cuenca urbana como unidad territorial para la planificación del desarrollo sostenible en ciudades de media montaña del Trópico Andino. Propuesta de una metodología de planificación y diseño de la estructura construida, circulatoria, verde e hídrica en cuencas urbanas de ciudades de media montaña andina en Colombia: Caso Manizales*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en <http://hdl.handle.net/2117/95036>.
- Araque Arellano, M., Váscquez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (Universidad Politécnica Salesiana). (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Quito, Ecuador, Abya-Yala.
- Arreguín Cortés, F., López Pérez, M., & Montero Martínez, M. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático: efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 148 p.
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (2016). *Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 5-13.
- Avilés, I. R., & Chaparro, J. J. G. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(1), 96-102.
- Báez, W. L. (2014). Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. *Revista chapingo serie zonas áridas*, 13(2), 39-45.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), 293-301.
- Bonan, B., Gordon, L., Levis, S., Samuel, K., Kergoat, L., Oleson, W., Keith (2002). Landscapes as patches of plant functional types: An integrating concept for climate and ecosystem models. *Global biogeochemical cycles*. 16.

- Burgos A. L., Bocco G., Sosa R. J. (2015). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Fundación Río Arronte. Primera Edición.
- Imbach Hermida, A. C., Bouroncle, C., Díaz Briones, A. A., Zamora Trejos, A., Urueña Márquez, O., Aragón Merma, O., ... & Medellín, M. (2015). La construcción de estrategias locales de adaptación al cambio climático: Una propuesta desde el enfoque de medios de vida. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza, CATIE*. 1° Ed Turrialba 39 p.
- Cabot, J., & Bregolat, P. M. (2013). La gestión de inundaciones urbanas: de la planificación tradicional a la gestión integral inteligente. *Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos* (3542), 67-72.
- Caire, G. (2008). *El manejo integrado de cuencas como instrumento para el desarrollo regional*. Abardía A, Morales F (coordinadores). Desarrollo regional- Reflexiones para la gestión de los territorios. Alternativas y Capacidades, AC Primera ed. Ciudad de México: MC editores, 187-213.
- Camacho Valdez V, Ruiz Luna A (2011). Marco Conceptual y Clasificación de los Servicios Ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*. Vol.1 Núm. 4 Páginas 3 a 15.
- Cano, D., & Haller, A. (2018). Los servicios ecosistémicos hidrológicos: entre la urbanización y el cambio climático. Percepción campesina y experta en la subcuenca del río Shullcas, Perú. *Espacio y Desarrollo*, (31), 7-32.
- Chávez Mariana y Chávez Silvia Corresponsales, (7 de septiembre de 2003), Desbordamiento de 3 drenes en Querétaro provoca inundaciones en 18 colonias, México, D.F., La Jornada, <https://www.jornada.com.mx>
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.
- Cotler Á. H. y López P. R., (2008), *Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?*, Boletín del archivo histórico del agua, número 39, pág.16-21.

- Cotler, H. (2010). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Pluralia Ediciones e Impresiones SA de CV, México.
- Crossman, N. D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemsen, L., Petz, K., Palomo, I., & Alkemade, R. (2013). A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem services*, 4, 4-14.
- Daily, G. C (ed.). (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC.
- Davis, J.C. & Henderson, J.V. (2003). Evidence on the political economy of the urbanization process. *Journal of Urban Economics*, 53(2003), 98-125.
- De Alba Martínez, H., & Márquez-Azúa, B. (2017). Hacia la creación de un índice de riesgo para diseñar y evaluar un servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en microcuencas urbanas. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 14(1).
- De Alba-Martínez, H. (2019). Servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en la microcuenca "El Guayabo", Jalisco, México.
- Diane E Pataki, Margaret M. Carreiro, Jennifer Cherrier, Nancy E Grulke, Viniece Jennings, Stephanie Pincetl, Richard V Pouyat, Thomas H Whitlow, Cremallera Wayne C (2011), Acoplamiento de ciclos biogeoquímicos en entornos urbanos, Servicios Ecosistémicos, Soluciones Ecológicas y Conceptos Erróneos. *La Sociedad Ecológica de América*. V. 3, p 277-478.
- Dietz, M.E. (2007). Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. *Water Air Soil Pollut* 186, 351–363 <https://doi.org>
- European Environmental Agency (EEA), 2011. Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. EEA Technical report, 18. European Environment Agency.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., & Wilkinson, C. (2013). Urbanization, biodiversity and ecosystem

services: challenges and opportunities: a global assessment *Springer Nature*. (p. 755).

Erica Oberndorfer, Jeremy Lundholm, Brad Bass, Reid R. Coffman, Hitesh Doshi, Nigel Dunnett, Stuart Gaffin, Manfred Köhler, Karen K. Y. Liu, Bradley Rowe (2007), Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, *BioScience*, Vol. 57 num. (10), November, Pages 823–833, <https://doi.org>

Fausto J., Jiménez F., Velásquez, S., Alpízar F., Cornelis P. (2006), *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Arreguín C. F. I., López P. M., Rodríguez L. O., y Montero M. M. J., Atlas de Vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático: Efectos del Cambio Climático en el Recurso Hídrico de México. Jiutepec, Mor.: *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 2015. 148 p.

Field, CB, V. Barros, TF Stocker, D. Qin, DJ Dokken, KL Ebi, MD Mastrandrea, KJ Mach, G.-K. Plattner, SK Allen, M. Tignor y PM Midgley (2012), *Gestión de los riesgos de eventos extremos y desastres para promover la adaptación al cambio climático*; Informe especial del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC. 592 p.

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(7), 1654-1671.

Frias Venegas Maribel, (22 de julio de 2019), El acelerado crecimiento de Querétaro Crea soluciones, Querétaro, Qro. <https://creasoluciones.com.mx/el-acelerado->.

Gallo, Cabeza M. H. (2018). *Servicios ecosistémicos del arbolado urbano del Carmen de Bolívar, Departamento de Bolívar*. (Trabajo de grado Biología). Universidad de Sucre Facultad de Educación y Ciencias programa Biología, Colombia.

- Galván Carmen, (09/11/2017), Inundaciones de septiembre en Jurica fueron por desbordamiento de dos drenes: Colegio de Ingenieros, Querétaro, Qro. Códice informativo, <https://codiceinformativo.com>.
- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I., Rodríguez, V.A.M. & Besteiro, S.I. (2013). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Grupo de manejo de cuencas. Segunda edición. La Plata. Argentina.
- Geneletti, D., Cortinovis, C., Zardo, L., & Esmail, B. A. (2020). Planning for ecosystem services in cities (p. 87). Springer Nature.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'farrell, P., & Kremer, P. (2013). Urban ecosystem services. In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities* (pp. 175-251). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11.
- Gómez-Baggethun Erik, N. Barton David, Classifying and valuing ecosystem services for urban planning, *Ecological Economics*, Vol. 86, 2013, Pages 235-245,
- Gómez-Baggethun, Erik & Gren, Åsa & Barton, David & Langemeyer, Johannes & McPhearson, Timon & O'Farrell, Patrick & Andersson, Erik & Hamstead, Zoe & Kremer, Peleg. (2013). *Urban Ecosystem Services*. Control Number: 2013950081. 10.1007/978-94-007-7088-1_11.
- González S. E. (2018), Propensión de las Inundaciones Históricas de los últimos 100 Años en Querétaro. *Revista Digital Ciencia @UAQRO*, Vol. 11 No. 1. ISSN: 2395-8847.
- González Valencia, A. (2020). Aproximación al concepto de Servicios Ecosistémicos y su evolución a través del tiempo. *Revista Ambiental ÉOLO*, 18(1).
- Haines-Young, Roy y Potschin-Young Mario. B (2018), Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5.1): A policy brief, *One ecosystem*.
- Henao, S.J.E. (2006). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*, Universidad Santo Tomás. Bogotá. D.C.

- Herzer, H., Rodríguez, C., Celis, A., Bartolomé, M., & Caputo, G. (2002). Convivir con el riesgo o la gestión del riesgo. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. *Tercer Mundo*. Bogotá, Colombia, 1-17.
- Huerta, G., & Jiménez, F. (2010). Una guía de Diagnóstico Rápido para Determinar el Potencial de Pago por Servicios Ecosistémicos Hídricos en Microcuencas Hidrográficas. *Ciencias Ambientales*. 34-43.
- Indigo, (Sep 27, 2017). Así quedó Querétaro tras las Intensas Lluvias; hay al menos una persona muerta, Querétaro, Qro. Reporte Indigo, <https://www.reporteindigo.com/reportes/asi-queda-queretaro-tras-las-intensas-lluvias-al-menos-una-persona-muerta/>.
- IPCC, Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (2012). Available from *Cambridge University Press*, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 8RU ENGLAND, 582 pp.
- Jefferson, A. J., Bhaskar, A. S., Hopkins, K. G., Fanelli, R., Avellaneda, P. M., & McMillan, S. K. (2017). Stormwater management network effectiveness and implications for urban watershed function: A critical review. *Hydrological Processes*, Vol.31 núm. (23), 4056-4080
- Jha, Abhas K.; Bloch, Robin; Lamond, Jessica (2012). Ciudades e Inundaciones: guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el Siglo 21. <https://openknowledge.worldbank.org>
- Kaushal, S. S., & Belt, K. T. (2012). The urban watershed continuum: evolving spatial and temporal dimensions. *Urban Ecosystems*, 15(2), 409-435. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0226-7>.
- Kitchell, A., Schueler, T. (2005). Manual 10: Evaluación unificada de arroyos: Manual del usuario. *Serie de manuales de restauración de subcuencas urbanas*, Centro para la protección de cuencas, Ellicott City, MD.
- Korgaonkar, Y., Guertin, D. P., Goodrich, D. C., Unkrich, C., Kepner, W. G., & Burns, I. S. (2018). Modeling urban hydrology and green infrastructure using the

AGWA urban tool and the KINEROS2 model. *Frontiers in built environment*, 4, 58.

La Notte, A., D'Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M. L., Liqueste, C., Egoh, B., & Crossman, N. D. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological indicators*, 74, 392-402.

Lara San Martín, A. (2012). *Percepción social en la gestión del riesgo de inundación en un área mediterránea (Costa Brava, España)*. (Tesis Doctoral). Universitat de Girona, programa de Doctorado en Ciencias Experimentales y Sostenibilidad.

Lecca Villanueva Mayke Stiven Br., Quispe Hidalgo Paul Fernando. (2019). *Propuesta de un sistema de drenaje pluvial mediante modelo matemático para la universidad nacional autónoma de tayacaja Daniel Hernández - Huancavelica*. Universidad Privada Antenor Orrego (Tesis de grado ingeniería civil) Perú.

López B. M. y Montes C., En prensa (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. *Guía científica de Urdaibai*. UNESCO, Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental del Gobierno Vasco.

López, R. P., Cortazar, M. Á. D., Quintanar, E. Q., del Carmen Gilio, M., Medina, P. R. G., Fonseca, A. L., & Guevara, J. R. (2015). Hacia una gestión integrada de cuencas en el estado de Querétaro, México.

Marten, G. (2001). *Ecología humana: conceptos básicos para el desarrollo sustentable*. Marten, G. Pág, 1.

MEA, World Resources Institute. *Ecosistemas y Bienestar humano: Marco para la Evaluación*. (2003). Internet <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx> (Consultado mayo de 2020).

- Montoya Toribio, M. Á. (2019). Conocimientos y actitudes en estudiantes de secundaria hacia la conservación del arbolado urbano para mitigar el cambio climático.
- Musálem-Castillejos, K., Cámara-Córdova, J., Laino-Guanes, R., González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2014). *Manejo integral de cuencas hidrográficas*. (MICH): el enfoque utilizado en el proyecto FORDECyT Cuenca Grijalva. Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. Editorial Juan Pablos, México, 80-102.
- Ohmstede, A. E. M. Sánchez, & A. M. G. G. Rivas (2008). *Agua y tierra en México, siglos XIX y XX*. El Colegio de Michoacán. (Vol. 1).
- Olvera Gaytán Eduardo (2 de julio de 2015), Tromba en Querétaro 2003, Querétaro, Qro. Blog Bachiller virtual, <https://edubachi.blogspot.com/2015/07/tromba-en-queretaro-2003.html>
- Olvera Rodríguez K. J., (2019) *Acceso, distribución y disponibilidad del agua en la microcuenca San José el Alto, Querétaro*. Querétaro, Universidad Autónoma de Querétaro (Tesis de maestría).
- Parece, T. E., & Campbell, J. B. (2015). Identifying Urban Watershed Boundaries and Area, Fairfax County, Virginia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(5), 365-372.
- Pineda L. R., Domínguez C.M.A., Quintanar E., Gilio M.C., Roitman P., Fonseca A. L., García M. Pilar., Briceño M. E., Vázquez G. y Rickards J. (2007), Hacia una gestión integrada de cuencas en el estado de Querétaro, México.
- Platt, R. H. (2006). Urban watershed management: Sustainability, one stream at a time. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 48(4), 26-42. DOI: 10.3200/ENVT.48.4.26-42
- R. H. Platt, P. K. Barten, and M. J. Pfeffer, "A Full, Clean Glass: Managing New York City's Watersheds," *Environment* 42, no. 5 (June 2000) 8–19.
- Robert T. Watson, World Bank A.H. Zakri, United Nations University (2003). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment / Millennium*

Ecosystem Assessment. Millennium Ecosystem Assessment. *A framework for assessment*.

- Rotger D. V., (2017), Gestión de Cuencas en la Región Metropolitana de Buenos Aires. Historia y Actualidad de un Territorio en Conflicto Ambiental. El caso del Gran La Plata 1, *CUADERNO URBANO. Espacio, cultura, sociedad*, vol. 24, núm. 24, DOI: <https://doi.org/10.30972/crn.24242919>.
- Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., & Brown, R. R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. *Environmental management*, 42(2), 344-359.
- Rutherford H. Platt (2006) Urban Watershed Management: Sustainability, One Stream at a Time, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 48:4, 26-42, DOI). 10.1007/978-94-007-7088-1_11.
- S. J. McGrane (2016) "Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 61, no. 13, pp. 2295–2311.
- Secretaría de desarrollo sustentable del municipio de Querétaro (2007), *Plan parcial de Desarrollo Urbano*; Delegación Félix Osores Sotomayor. Recuperado de: http://52.2.141.8/pdf/2.2/Plan_parcial_de_Desarrollo_Urbano_para_la_Delegacion_Felix_Osores_Sotomayor.pdf (20 de septiembre de 2020).
- Sedano Cruz, R. K. (2013). *Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Hidráulica Urbana.
- Sisay, E., Halefom, A., Khare, D., Singh, L., & Worku, T. (2017). Hydrological modelling of ungauged urban watershed using SWAT model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(2), 693-702.
- Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., ... & Brown, R. R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. *Environmental management*, 42(2), 344-359..

Trapote Jaume (2016) “Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible,” *Journal of Engineering and Technology.*, vol. 5, no. (2), pp. 26–40.

Valencia, A. G. (2019). Aproximación al concepto de Servicios Ecosistémicos y su evolución a través del tiempo. *Revista Ambiental ÉOLO*, 18(1).

Villarreal, Edgar y Bengtsson, Lars (2005). Response of a sedum Green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering.* 25.1-7.

Valdés-Carrera, A. C., & Hernández-Guerrero, J. A. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 189-230.

ANEXOS

- I. Categorías de servicios ecosistémicos en MA, TEEB, CICES e IKNEA. Fuente: Elaboración propia en base a Información explicativa del nivel de división CICES y del nivel de clase CICES

Clasificación/ Servicio	Categorías MA	Categorías TEEB	Grupo CICES v4.3	UKNEA
Aprovisionamiento de servicios	Alimentos (forrajes)	Comida	Biomasa, Nutrición	Cultivos
			Biomasa (Materiales de plantas, algas y animales para uso agrícola)	
	Agua dulce	Agua	Agua (para beber) Nutrición	Ganadería / Acuicultura
			Agua (para uso no potable) Materiales	
Fibra, madera	Materias primas	Biomasa (fibras y otros materiales de plantas,	Pez	

			algas y animales para uso directo y procesamiento)	
	Recursos genéticos	Recursos genéticos	Biomasa (materiales genéticos de toda la biota)	Árboles, vegetación en pie, turba
	Bioquímicos	Recursos medicinales	Biomasa (fibras y otros materiales de plantas, algas y animales para uso directo y procesamiento)	Suministro de agua
				Diversidad de especies silvestres
	Recursos ornamentales	Recursos ornamentales	Biomasa (fibras y otros materiales de plantas, algas y animales para uso directo y procesamiento)	
			Fuentes de energía basadas en biomasa	
			Energía mecánica (basada en animales)	
Regulando servicios (TEEB)	Regulación de la calidad del aire	Regulación de la calidad del aire	Mediación de flujos gaseosos / de aire Mediación (de desechos, tóxicos y otras molestias)	Entornos ambientales: Lugares locales

Regulando y secundario servicios (MA) Regulando y mantenimiento servicios (CICES) Regulación (La Evaluación Nacional de Ecosistemas del Reino Unido)	Purificación de agua y agua tratamiento	Tratamiento de residuos (agua purificación)	por biota	Entornos ambientales: Paisajes / marinas
			Mediación (de desechos, tóxicos y otras molestias) por biota	
	Regulación del agua	Regulación de los caudales de agua Moderación de eventos extremos	Mediación de flujos de líquidos	
	Regulación de la erosión	Prevención de la erosión	Mediación de flujos masivos	
	Regulación climática	Regulación climática	Composición atmosférica y regulación climática	
	Formación de suelo (servicio de apoyo)	Mantenimiento de la fertilidad del suelo	Formación y composición del suelo	
	Polinización	Polinización	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y acervo genético protección	

	Regulación de plagas	Control biológico	Control de plagas y enfermedades	
	Regulación de enfermedades			
	Producción primaria Ciclo de nutrientes (servicios de apoyo) Valores espirituales y religiosos	Mantenimiento de ciclos de vida de especies migratorias (incluido el vivero Servicio) Mantenimiento de la diversidad genética (especialmente en el acervo genético protección) Experiencia espiritual	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y acervo genético protección Formación y composición del suelo Mantenimiento de las condiciones del agua Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y acervo genético protección Espiritual y / o emblemática	
Cultural	Valores estéticos	Información estética	Interacciones intelectuales y representativas	Peligro
	Diversidad cultural	Inspiración para la cultura, el arte y diseño	Interacciones intelectuales y representativas Espiritual y / o emblemática	Enfermedades y plagas
	Recreación y ecoturismo	Recreación y turismo	Interacciones físicas y experienciales	Polinización
	Sistemas de conocimiento y	Información para cognitivo	Interacciones intelectuales y representativas	Ruido

	valores educativos	desarrollo	Otros productos culturales (existencia, legado)	
	MA proporciona una clasificación que es reconocido y utilizado a nivel mundial en evaluaciones sub globales.	TEEB proporciona una actualización clasificación, basada en la MA, que se utiliza en la actualidad nacional Estudios TEEB en Europa.	CICES proporciona un sistema jerárquico, basado en las clasificaciones MA y TEEB pero adaptadas a contabilidad	Desintoxicación y Purificación Calidad del agua Calidad del suelo Calidad del aire

II. Cuestionario

Genero:
 Edad:
 Calle y colonia:
 Lugar:
 Fecha:

Cuestionario para conocer la opinión de los habitantes de la Microcuenca Colinas de Santa Cruz acerca de su percepción sobre los SEU

Soy estudiante de Maestría, estoy realizando un cuestionario sobre la opinión de los habitantes del municipio de Querétaro, sobre temas de su percepción, saberes y visión del ecosistema urbano, es un ejercicio dentro de mi tesis por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro que estamos realizando y todos los datos que me proporcione son para fines académicos y confidenciales, puedo proporcionarle un correo para que se comunique en caso de ser necesario.

1. ¿Cuáles de estas características se encuentran entre 5-20m de su vivienda?:

Árbol	Parque	Jardín	Camellones	Ninguno
-Grande -Mediano -Pequeño	-Pasto- concreto -Pasto -Concreto	-Pasto- concreto -Pasto -Concreto	-Concreto -Arboles -Arbustos	

2. ¿En su patio (trasero-delantero) cuenta con plantas?:

1-5	6-10	más de 10	Ninguna
-----	------	-----------	---------

3. Su calle es:

Pavimentada	Adoquinada	Empedrada	Terracería
-------------	------------	-----------	------------

4. ¿Acostumbra salir a caminar a un parque-jardín o sentarse en una banca cerca de su casa?

1-2	3-4	diario	¿Dónde?
-----	-----	--------	---------

5. Cuando llueve el agua que cae en la calle fuera de su casa:

Corre o fluye/ ¿Hacia dónde?	Se encharca	5cm	10cm	20cm	30cm
		Un limón	Una lata	Una cuchara	Una botella de 1.5L

6. ¿Ha sufrido/presenciado alguno de estos eventos ocasionados por la lluvia, y hace cuánto tiempo?

Inundación/perdida de bienes	El agua entra a su cochera/patio	Se crea una corriente de agua fuera de su casa o cerca de ella	Se desbordo un dren cerca de su casa	C

7. ¿Cree usted que el lugar donde vive tiene riesgo de inundarse?

Nada posible	Posiblemente	Muy posible
¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?

8. ¿Qué tan intenso es el calor por las noches dentro de su casa en primavera-verano?

Bajo	Fuerte	Intenso
------	--------	---------

9. Si su vivienda se viera afectada/dañada por la intensa lluvia, ¿usted tendría la posibilidad de solventar ese gasto?

Nada probable	Probable	Muy probable
---------------	----------	--------------

10. La cobertura vegetal, permite regular el calor y la intensidad de la lluvia, refrescando el ambiente a su alrededor y evitando inundaciones y encharcamientos. Sabiendo esto...Cuál de los siguientes lugares cercanos a su casa cree necesario conservar y mantener :

Arboles	Parques	Jardines	Plantas de patios

11. ¿Cree que estos lugares deben ser mantenidos por el Municipio o usted estaría dispuesta (a) a pagar una cantidad mensual para apoyar a conservar estos sitios?

Si	\$10	\$20	\$40	\$80	\$120	Le corresponde al municipio
----	------	------	------	------	-------	-----------------------------

12. ¿Estaría dispuesto (a) en ser parte de algún comité dentro de su colonia para administrar estos lugares, por qué?