



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I**



**PROPUESTAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA
DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LA MICROCUENCA POTINASPAK,
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN HIDRÁULICA**

**PRESENTA
ANA BEATRIZ BONILLA VILLATORO PS1884**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. MOISÉS SILVA CERVANTES**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; mayo de 2023



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
30 de mayo del 2023
Oficio No. F.I.01.794/2023

**C. ANA BEATRIZ BONILLA VILLATORO
ALUMNA DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CON FORMACIÓN EN HIDRÁULICA
PRESENTE.**

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**“PROPUESTAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LA
MICROCUENCA POTINASPAK, TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS”.**

CERTIFICO el VOTO APROBATORIO emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestra en Ingeniería con Formación en Hidráulica.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**


DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
ENCARGADO DE DIRECCIÓN AUTÓNOMA
DIRECCIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA




Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
Archivo/minutario
OACC/HMSG/tpcg*



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Ana Beatriz Bonilla Villatoro
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Propuestas para el Diseño de un Sistema de Drenaje Sostenible en la Microcuenca Potinaspak, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas"
presentada y aprobada en el año 20 23 como requisito para obtener el título o grado de Maestra en Ingeniería con Formación en Hidráulica, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 05 días del mes de junio del año 20 23.


Ana Beatriz Bonilla Villatoro

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por ser la luz en mi camino y guiar mis pasos hacia un nuevo objetivo.

A mis padres:

Emma y Jesús

Mi amor, respeto y cariño por su amor incondicional.

Al compañero de mi vida:

Roberto, por ser un apoyo importante y estar siempre para mí compartiendo mis mejores aventuras.

A mi hermosa hija:

Abril Rosales Bonilla, por dar alegría a mis días, ser inspiración y mi fuente de energía inagotable.

A mis hermanos:

Manuel por ser el ángel que acompaña mi camino.

Keny y Martín por todo su apoyo y cariño.

A mi familia y amigos:

Por la confianza depositada en mí.

Ana Beatriz Bonilla Villatoro

AGRADECIMIENTOS

A mi Director de tesis Dr. Moisés Silva Cervantes por su invaluable apoyo, sus acertados consejos y confianza que tuvo en mi para la realización de este trabajo.

A la Dra. Delva del Rocío Guichard Romero y al Dr. Miguel Ángel Aguilar Suárez, por su gran apoyo y participación como asesores de tesis.

Al M.I. Juan José Muciño Porras, por sus enseñanzas y conocimientos compartidos a lo largo de mi carrera profesional.

Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas, por su apoyo financiero para el desarrollo de este trabajo a través del Programa Beca Tesis para Posgrado 2022.

Al Mtro. Enrique Abdala Mujica Castillo, Coordinador de Medio Ambiente del Instituto Ciudadano de Planeación Municipal, ICIPLAM, por su aporte y colaboración para alcanzar los objetivos de esta tesis.

Índice

Introducción	6
Marco Teórico	8
Conceptos Generales	8
Elementos de Cálculo	16
Metodología	18
Marco Lógico.....	18
Cálculo de Captación de Agua de Lluvia.....	18
Número de Curva.....	18
Información Cartográfica.....	18
Información Hidrológica	19
Información Histórica	19
Experiencia de la Comunidad	19
Hipótesis.....	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Apartado I. Caracterización de la Zona de Estudio	21
1. Zona de Estudio	21
1.1. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	21
1.1.1. Crecimiento Urbano y Poblacional	22
1.1.2. Grado de Marginación y Vulnerabilidad Socioeconómica	24
1.1.3. Factores que Provocan las Inundaciones	25
1.1.4. Inundaciones más Grandes en la Historia de Tuxtla Gutiérrez.....	27
1.2. La Cuenca del Río Sabinal.....	30
1.2.1. Principales Afluentes	32
1.3. La Microcuenca Potinaspak.....	34
1.3.1. Datos Fisiográficos	37
1.3.2. Límites del Parteaguas	38
1.3.3. Trayectoria del Afluente Principal	39
1.3.4. Dirección y Orden de Corrientes	46
2. La Microcuenca Potinaspak Zona de Riesgo por Inundación	49
2.1. Afectación por Lluvias Extremas	49
2.2. Grado de Riesgo por Inundación	52
Apartado II. Propuestas de intervención.....	54

3. Diseño de Tres Propuestas de Parques Inundables	54
3.1. Parque El Carmen	55
3.1.1. Capacidad de Retención de Agua de Lluvia	61
3.2. Parque San Juan Seminario	62
3.2.1. Capacidad de Retención de Agua de Lluvia	64
3.3. Parque La Cascada	66
3.3.1. Capacidad de Retención de Agua de Lluvia	68
3.4. Ubicación de los 3 Parques Inundables en la Carta Urbana de Tuxtla Gutiérrez 2015-2040	68
3.5. Propuesta de Arbolado en los Parques Ecológicos	70
4. Captación Pluvial en 7 Colonias de la Microcuenca Potinaspak	72
4.1. Máxima Captación de Lluvia	72
4.1.1. Captación Pluvial Estimada	73
Apartado III. Cálculos Hidrológicos	75
5. Número de Curva Ponderado	75
5.1. Características Geomorfológicas de la Microcuenca	75
5.1.1. Pendiente Media	75
5.1.2. Forma o Índice de Compacidad o de Gravelius (G)	76
5.1.3. Tiempo de Concentración	76
5.1.4. Densidad de Drenaje	77
5.2. Uso de Suelo y Vegetación de la Microcuenca Potinaspak	78
5.3. Cálculo del Número de Curva Ponderado	80
5.4. Cálculo del Valor de Escorrentía Directa	81
6. Discusiones Generales	83
7. Conclusiones	84
Referencias	85
Apéndice A	89
Árbol de problemas	89
Árbol de objetivos	90
Actores involucrados en el proyecto de intervención	91
Anexo A	92
Clasificación Hidrológica de los tipos de suelo	92
Valores del Número de Curva según la cobertura del suelo.	93
Anexo B	94
Glosario de Términos	94

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de las cuencas respecto a su tamaño.....	9
Tabla 2. Clasificación de las inundaciones.....	9
Tabla 3. Beneficios de implementar infraestructura verde en zonas urbanas.	12
Tabla 4. Variación temporal de las coberturas del suelo en Tuxtla Gutiérrez en hectáreas.....	23
Tabla 5. Microcuencas y superficies de la cuenca del Río Sabinal.....	33
Tabla 6. Coeficientes de escurrimiento de las Microcuencas del río Sabinal para el periodo de retorno de 2 años.	34
Tabla 7. Zonas de riesgo por inundación, colonias, viviendas y personas afectadas en la MCHU.....	53
Tabla 8. Datos históricos del tiempo en Tuxtla Gutiérrez.	73
Tabla 9. Máxima captación de agua de lluvia.	74
Tabla 10. Clases de pendiente del cauce (%).	76
Tabla 11. Clases de tiempo de concentración (min).	77
Tabla 12. Factores de densidad de drenaje de cuencas.	78
Tabla 13. Uso de suelo y vegetación de la microcuenca Potinaspak.....	78
Tabla 14. Tipos de coberturas en la microcuenca Potinaspak.....	80
Tabla 15. Valores ponderados del número de curva (CN) por tipo de cobertura (1986 y 2014).....	80
Tabla 16. Número de curva ponderado por tipo de cobertura.	80
Tabla 17. Precipitación máxima anual en 24 h (datos de la estación hidrometeorológica 7202) Tuxtla Gutiérrez, Chiapas para el período 1988-2016, CICESE, 2017.....	81
Tabla 18. Valor de escorrentía directa.	82

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo lluvia escurrimiento.	10
Figura 2. Jardines de biorretención implementados en zonas de estacionamientos.	14
Figura 3. Sistemas de cubiertas o techos verdes.	14
Figura 4. Montaje sistema de pavimento permeable.	15
Figura 5. Esquema pozo de infiltración.	15
Figura 6. Esquema cunetas o zanjas verdes.	15
Figura 7. Mancha urbana de Tuxtla Gutiérrez, 1986, 2001 y 2014.	22
Figura 8. Grado de crecimiento poblacional.	23
Figura 9. Densidad de población por AGEB.	24
Figura 10. Grado de marginación.	24
Figura 11. Síntesis de vulnerabilidad socioeconómica.	25
Figura 12. Erosión hídrica.	26
Figura 13. Síntesis de riesgos hidrometeorológicos.	27
Figura 14. Red hidrográfica del río Sabinal.	28
Figura 15. Desbordamiento del arroyo Potinaspak.	29
Figura 16. Desbordamiento sobre libramiento norte.	29
Figura 17. Ajuste lineal del decremento del periodo de retorno de las inundaciones en Tuxtla Gutiérrez, desde la de 1921 y hasta la de 2011, (modificado de González, 2009).	30
Figura 18. Ubicación geográfica de la cuenca del río Sabinal, Chiapas.	31
Figura 19. Microcuencas del río Sabinal, Chiapas.	32
Figura 20. Subcuenca del río Sabinal y microcuenca hidrográfica Potinaspak.	35
Figura 21. Microcuenca Potinaspak y arroyos.	35
Figura 22. Microcuenca Potinaspak.	36
Figura 23. Imagen satelital en relieve de la microcuenca hidrográfica Potinaspak.	36
Figura 24. Áreas naturales protegidas, vegetación natural y antrópica en la microcuenca Potinaspak.	38
Figura 25. El cauce del arroyo Potinaspak.	39
Figura 26. Afluente principal del Arroyo Potinaspak en tiempo de lluvias.	40
Figura 27. Sección de la obra de mampostería en la salida del afluente principal del arroyo Potinaspak.	40
Figura 28. Imagen del afluente principal.	41
Figura 29. Cañada ubicada en las coordenadas UTM 488,015 E y 1,855,369 N.	41
Figura 30. Cañada.	42

Figura 31. Canal de mampostería de piedra al pie de la cañada.	42
Figura 32. Bóveda bajo libramiento norte, Coordenada UTM 487,545 E, 1,854,343 N.	43
Figura 33. Estructura de canal reducido por bóvedas de tubo de lámina corrugada de hasta 2.2 m de diámetro.	43
Figura 34. Paredes del afluente de mampostería, Coordenada UTM 487,323 E, 1,854,158 N.	44
Figura 35. Maleza sobre el afluente y viviendas colindantes, Coordenada UTM 487,279 E, 1,854,058 N.....	44
Figura 36. El afluente hace su recorrido debajo de vivienda, Coordenada UTM 487,537 E, 1,853,597 N.....	45
Figura 37. Salida de bóveda del afluente Potinaspak, Coordenada UTM 487,838 E, 1,852,873 N.....	45
Figura 38. Dirección y orden de corriente de los afluentes urbanos de la parte alta de la microcuenca.	46
Figura 39. Dirección y orden de corriente de los afluentes urbanos de la parte media 1 de la microcuenca.	46
Figura 40. Dirección y orden de corriente de los afluentes urbanos de la parte media 2 de la microcuenca.	47
Figura 41. Direcciones de corriente y orden de los afluentes urbanos de la parte media 3 de la MCHU 7.....	47
Figura 42. Direcciones de corriente y orden de los afluentes urbanos de la parte baja de la microcuenca.	48
Figura 43. Daños a viviendas por la tormenta tropical Larry.....	49
Figura 44. Casa habitacional construida sobre el arroyo Potinaspak.	50
Figura 45. Calles secundarias en mal estado.....	50
Figura 46. Vialidad principal en mal estado.	51
Figura 47. La Cascada, ubicada en las coordenadas UTM 488,015 E y 1,855,369 N.....	51
Figura 48. Arroyo Potinaspak con canal de mampostería de piedra.....	52
Figura 49. Polígonos de inundación.	53
Figura 50. Propuesta de los 3 sitios de intervención.....	54
Figura 51. Vista hacia la propuesta del parque El Carmen.	55
Figura 52. Vista del área propuesta como zona de inundación inducida.	56
Figura 53. Zona propuesta como parque inundable.	56
Figura 54. Afluente principal del Arroyo Potinaspak en tiempo de lluvias.....	57
Figura 55. Propuesta arquitectónica del Parque El Carmen (afluente principal Potinaspak).	58
Figura 56. Vista en planta del proyecto.	58
Figura 57. Vista panorámica del parque El Carmen.	59
Figura 58. Parque de skateboard.	59

Figura 59. Canchas mixtas.....	60
Figura 60. Cancha de fútbol 11.	60
Figura 61. Espacios de convivencia.	60
Figura 62. Espacio para juegos infantiles.	61
Figura 63. Espacio para juegos para jóvenes y adultos.	61
Figura 64. Cálculo del volumen de un estanque.	62
Figura 65. Propuesta de intervención 2. Arroyo San Juan Seminario.....	63
Figura 66. Vista desde la parte más alta del arroyo San Juan Seminario hacia la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.	64
Figura 67. Tanques de los miradores.	65
Figura 68. Vista en planta del parque La cascada.	66
Figura 69. Vista de los andadores.	67
Figura 70. Cancha de usos múltiples.....	67
Figura 71. Área de ejercicio y ciclovía.	67
Figura 72. Local comercial.....	68
Figura 73. Parques inundables propuestos y ubicados en la Carta urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2015-2040.	69
Figura 74. Árbol de Flor de Mayo.....	70
Figura 75. Árbol de Primavera	71
Figura 76. Árbol de Cuchunuc.....	71
Figura 77. Máxima captación de lluvia.....	72
Figura 78. Gráfica porcentual de captación de lluvia.	74
Figura 79. Uso de suelo y vegetación en la microcuenca Potinaspak.	79

Introducción

Los recursos hidráulicos de Chiapas y sus servicios ecosistémicos asociados son muy relevantes en el contexto nacional. Como lo documenta CONAGUA (2018) los recursos hidrológicos representan aproximadamente 45.74% del total del país, comprende 110,000 hectáreas de aguas continentales, 260 kilómetros de litoral, 96,000 km² de mar patrimonial, 75,230 hectáreas de esteros y 10 sistemas lagunarios.

Este estudio se ubica en la microcuenca Potinaspak de la subcuenca del río Sabinal perteneciente a la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta y subregión hidrológica Grijalva-Tuxtla Gutiérrez. El cauce del río Sabinal atraviesa la capital del estado de Chiapas de poniente a oriente, teniendo una longitud medida desde la confluencia con el arroyo San Francisco hasta su desembocadura en el río Grijalva de 21 km y un desnivel en pendiente de 800 metros. (CONAGUA, 2009).

La microcuenca Potinaspak se encuentra al norte poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y sus escurrimientos son los afluentes Potinaspak y Pistimbak, que nacen en el municipio San Fernando al noroeste de Tuxtla Gutiérrez a 640 msnm. En época de lluvias su sistema de drenaje se desborda, debido al cambio de uso de suelo en la zona, lo que ha provocado una menor permeabilidad de las aguas de escurrimiento, además de ser insuficiente el desalojo del agua pluvial. Estos fenómenos han causado que las vialidades y viviendas se encuentren en mal estado, además de poner en riesgo a la población.

Del año 2008 al 2010 se han presentado 90 inundaciones en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez reportadas por Protección Civil y a partir de la década de 1920 se han presentado una serie de fenómenos hidrometeorológicos que han provocado las principales inundaciones, catalogado como el principal riesgo de origen natural. (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

Uno de los acontecimientos más desafortunados para la capital tuxtleca fue en el año 2003 con el paso de la tormenta tropical Larry por el estado de Chiapas, que dejó pérdidas por más de 500 millones de pesos y unos 40 mil damnificados.

En los meses de junio y julio de 2020, 2021 y 2022 se presentaron fuertes lluvias de hasta 7 días continuos, ocasionando el desbordamiento del arroyo Potinaspak, casas inundadas y calles y avenidas principales en pésimas condiciones en la colonia Potinaspak (13noticias, 2021, El Heraldo, 2022).

El objetivo de este trabajo es la presentación de propuestas para el diseño de un sistema de drenaje sostenible que incluya a) parques inundables ecológicos como lagunas de captación y regulación de caudales y b) captación de agua de lluvia en las viviendas con el mismo fin.

Para poner en relieve el beneficio de las propuestas en cuanto a la regulación de caudales se realizaron cálculos estadísticos de caudales totales en la microcuenca Potinaspak, mediante el método del número de curva.

En cuanto a los parques inundables, se presenta una solución alternativa enfocando el diseño arquitectónico e hidráulico de un sistema no convencional, en 2 zonas de la parte alta de la microcuenca (afluente principal Potinaspak y arroyo San Juan seminario) y una intervención en la parte media (la Cascada).

Una alternativa viable para la mitigación de las inundaciones que afectan las zonas en la parte media y baja de la microcuenca Potinaspak es el diseño y la implementación de un sistema de drenaje sostenible.

Para la formulación de las estrategias en este trabajo se tomaron en cuenta algunas experiencias en el mundo sobre parques inundables y las iniciativas del Instituto Ciudadano de Planeación Municipal.

Con base en los argumentos anteriores, el diagnóstico del contexto local y las directrices teóricas dominantes, el problema que se aborda en este trabajo son las “Frecuentes inundaciones en la microcuenca Potinaspak”.

Para una mayor comprensión de los argumentos de causa - efecto que delimitan el problema se recomienda revisar el Apéndice A relativo al árbol de problemas y árbol de objetivos.

El documento de la tesis está integrado en tres apartados:

El Apartado I comprende dos capítulos. En el capítulo 1 se aborda la caracterización de la zona de estudio, en el cual se describe el crecimiento urbano y poblacional, el grado de marginación y vulnerabilidad socioeconómica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, entre los factores que incrementan el riesgo de inundación. En el Capítulo 2 se describe la microcuenca Potinaspak como zona de riesgo por inundación.

El Apartado II, comprende dos capítulos: se presentan las tres propuestas de intervención (Capítulo 3), es decir, se detallan los diseños de los parques inundables y la capacidad de retención de agua de lluvia en cada uno; además se presenta el cálculo de la captación pluvial en 7 Colonias de la microcuenca Potinaspak (Capítulo 4).

El Apartado III comprende 2 capítulos, que profundizan el valor de las propuestas de intervención: en el Capítulo 5 se describen las características geomorfológicas, el uso de suelo y vegetación de la microcuenca Potinaspak, y se presenta el valor de la escorrentía directa, calculada mediante el Método del Número Curva; en el Capítulo 6 se expone una breve discusión de carácter general que integra lo abordado en los capítulos anteriores. Finalmente, en el Capítulo 7 se exponen las conclusiones.

Marco Teórico

En este apartado se describen con brevedad conceptos generales que posteriormente son utilizados en la metodología, resultados y discusión. Así mismo, se revisan algunos elementos de cálculo básicos para el desarrollo de esta investigación.

Conceptos Generales

Cuenca

Una cuenca es el área delimitada por un límite topográfico bien definido (parteaguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra. (CONAGUA, 2011).

Respecto a los límites de una cuenca, estos constituyen lo que se conoce como “parteaguas” o “divisorias de aguas”, es decir, las líneas imaginarias que une las crestas de las elevaciones de terreno por cuyas laderas escurre el agua hacia el cauce principal de salida de la propia cuenca, o hacia su centro, en caso de ser cerrada. Así, en vez de ser un “embudo”, una cuenca cerrada es más bien como una “cuchara”. (IMTA, 2019).

Tipos de Cuenca Hidrográfica

Cuando una cuenca tiene una o más salidas de agua hacia un caudal mayor o hacia un lago o hacia el mar, se dice que es “abierta” o “exorreica”. Si no tiene ninguna salida, se califica de “cerrada” o “endorreica” y por lo general da origen a un lago, si la impermeabilidad del suelo se lo permite. (IMTA, 2019).

También existen las cuencas llamadas “criptorreicas”, que fluyen subterráneamente y las cuencas arreicas son aquellas en que las aguas se evaporan o filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. (IMTA, 2019).

Asimismo, la cuenca hidrográfica se compone de tres partes: alta, media y baja. La cuenca alta corresponde a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por los parteaguas o las divisorias de aguas. La cuenca media es donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en la que el río principal mantiene un cauce definido. En la cuenca baja el río desemboca a ríos mayores o en estuarios o humedales. (IMTA, 2019).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se deben concebir a las cuencas como sistemas integrados y reconocer que las actividades socioeconómicas, las modalidades del uso de la tierra, los procesos hidromorfológicos, entre otros; son elementos constitutivos de esos sistemas (CENAPRED, 2004).

Una cuenca fluvial como un sistema dinámico en el que se dan una serie de interacciones entre suelo y agua. En estas interacciones, no sólo conciernen los suelos y los sedimentos; sino también, los contaminantes (desechos urbanos e industriales) y los nutrientes. (CENAPRED, 2004).

La urbanización a gran escala en cuencas comparativamente pequeñas acentúa los valores máximos de las crecidas y acorta el tiempo de respuesta de la cuenca, lo que tiene como consecuencia una reducción del tiempo de concentración de la cuenca. (CENAPRED, 2004).

Esto obedece a que, en las cuencas urbanizadas los terrenos están cubiertos por estructuras, incluidos techos, calles pavimentadas y otras superficies impermeables que aumentan el volumen del flujo de superficie y disminuyen las recargas de aguas subterráneas y la evapotranspiración. (CENAPRED, 2004).

Clasificación de la Cuenca Respecto a su Tamaño

Chow fija como límite para considerar una cuenca pequeña aquella que sea menor a 25 km²; sin embargo, I-Pai-Wu y Springall la limitan a 250 km², para fines prácticos se propone usar la clasificación de tamaño de cuenca mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las cuencas respecto a su tamaño.

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2,500	Intermedia – grande
2,500 a 5,000	Grande
> 5,000	Muy grande

Fuente: Elaboración propia con datos del Manual para el control de inundaciones de la CONAGUA y SEMARNAT 2011.

Clasificación de las Inundaciones y Medidas de Mitigación

Las inundaciones se clasifican: a) Por su origen, en fluvial, pluvial, costeras, falla de infraestructura hidráulica y b) Por el tiempo de respuesta de la cuenca, en lentas y súbitas (ver Anexo B). (CENAPRED, 2016).

Los parámetros que se deben tomar en cuenta a la hora de intentar definir la magnitud de una inundación son: el tiempo de duración de la precipitación, el área afectada, la velocidad de corriente, la profundidad del agua, el tiempo de recurrencia o periodo de retorno. En la Tabla 2 se muestra la clasificación aplicando dichos parámetros.

Tabla 2. Clasificación de las inundaciones.

Características	Inundaciones	
	Súbitas	Lentas
Tamaño de cuencas	Pequeña	Grande
Pendiente	Grande	Pequeña
Tiempo de respuesta	≤ 6 horas	> 6 horas
Duración del evento	De minutos a horas	De días a semanas
Área de afectación	Pequeña	Grande
Afectación	Decesos y daños económicos	Daños económicos

Fuente: Sistema de alerta temprana de la Coordinación de Protección Civil, Cenapred, 2016.

Las medidas de mitigación de daños por inundación pueden ser dos tipos: estructurales y no estructurales.

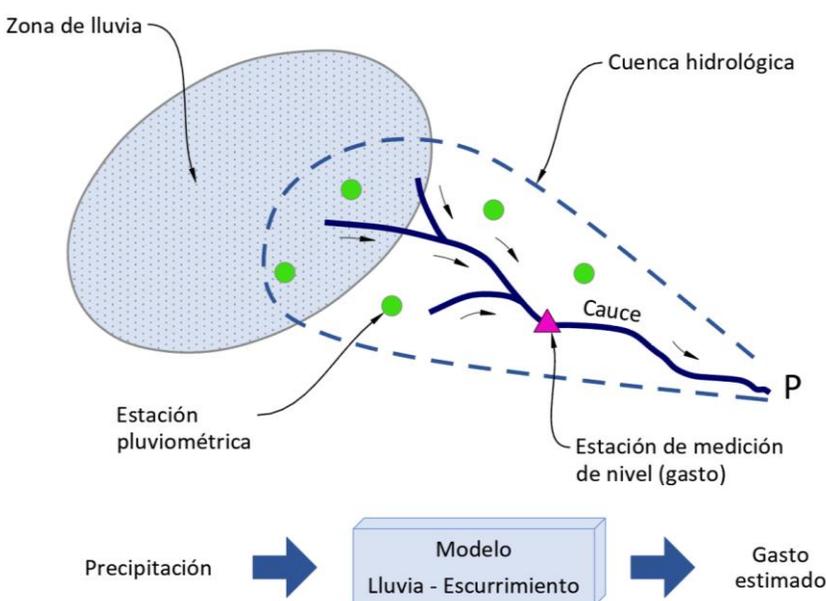
Obras Estructurales. Son obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confinarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento y caudales. Entre ellas están los bordos perimetrales y longitudinales, muros longitudinales, desvíos permanentes y temporales, presas de almacenamiento, entre otros. (CONAGUA, 2011).

Obras no Estructurales. Se basan en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Entre ellas están; elaboración de mapas de riesgo, reglamentar el uso del suelo, reordenamiento territorial, planes de emergencia, simulacros, etc. (CONAGUA, 2011).

Transformación de la Lluvia en Esguerrimiento

Mediante un modelo lluvia – esguerrimiento (Figura 1) se estima el gasto esperado en el punto P en un tiempo determinado, basado en las mediciones de precipitación (intensidad y lluvia acumulada) en la parte alta de la cuenca. Las mediciones de nivel sirven como puntos de control.

Figura 1. Modelo lluvia esguerrimiento.



Fuente: Sistema de alerta temprana de la Coordinación de Protección Civil, Cenapred, 2016.

Modelos de Desarrollo para el Manejo de Agua de Lluvia

Existen diversos modelos de desarrollo, planificación y diseño urbano que son homólogos a la Infraestructura Verde (IV), según el Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos (IMPLAN Hermosillo, 2019), es importante conocerlos para saber que cuando se hace referencia a alguno de ellos, se puede estar haciendo IV. Los modelos son los siguientes:

Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés Low Impact Development). Planificación y diseño de ingeniería para el manejo de agua pluvial. Enfatiza la conservación y el uso de atributos naturales. Utiliza controles hidrológicos a pequeña-escala para replicar el régimen hidrológico pre-desarrollo.

Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés Sustainable Drainage Systems). Mimetizando procesos naturales, busca manejar el agua de lluvia a la vez que aumenta el valor de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés Water Sensitive Urban Design). Modelo integral de planeación y diseño urbano que incorpora el ciclo del agua (manejo de agua pluvial, residual y de abastecimiento) con el fin de minimizar el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida.

Infraestructura Gris (I.G.), También llamada infraestructura dura, es la alternativa que se emplea tradicionalmente alrededor del mundo. Consiste en sistemas de drenaje que tienen la única función de transportar el agua fuera de la ciudad lo antes posible.

Infraestructura Verde (IV), esta alternativa relativamente reciente, hace uso de áreas verdes y/o de técnicas de IV diseñadas y planeadas estratégicamente para conformar una red. De esta forma contribuye a solucionar las problemáticas relacionadas con el agua pluvial al mismo tiempo que cumple múltiples funciones y aporta una amplia gama de beneficios socioambientales.

Infraestructura Verde

En la Guía de diseño para la infraestructura verde del Plan de Desarrollo Urbano Sostenible de Ciudad Juárez, 2016, se describe a la IV como los métodos de diseño constructivos que utilizan sistemas vivos o naturales, como el uso de plantas y el suelo, que conllevan una serie de beneficios como: limpiar e infiltrar el agua, crear hábitats y ecosistemas naturales, enfriar y crear más sombra en las calles, entre otros beneficios. Con estos diseños es posible controlar de una manera más eficiente el agua de lluvia en comparación de los sistemas tradicionales de infraestructura gris.

La Infraestructura Verde IV es también definida como aquella que utiliza sistemas naturales (o sistemas producto de ingeniería que imitan procesos naturales) para mejorar la calidad ambiental y proveer servicios sociales, económicos, culturales y ambientales (IMPLAN Hermosillo, 2019). La IV es utilizada como componente de un sistema de manejo y aprovechamiento sustentable de agua.

En la Tabla 3 se muestran los beneficios ambientales, sociales, económicos y de cambio climático que ofrecen las iniciativas de infraestructura verde, además de tener la posibilidad de implementar proyectos afines como estrategias en las políticas públicas urbanas y ambientales.

Los beneficios de utilizar elementos de infraestructura verde según el Watershed Management Group, 2013, City of Tucson, Arizona 2013, Córdova 2015 y Vancouver 2012, son los siguientes:

- mejora el clima urbano y reduce el efecto isla de calor;
- aumenta el valor del suelo;
- reduce el gasto en salud pública;
- ahorro de energía para climatizar;
- fomenta valores culturales y comunitarios, promoción de actividades económicas y turísticas;

- reducción del gasto en manejo y control del agua pluvial;
- disminuye gases efecto invernadero y partículas nocivas suspendidas en el aire;
- al aumentar la eficiencia del manejo del agua pluvial y su infiltración se reduce también el riesgo de inundación;
- reducción de climatización en edificios particulares;
- absorbe el ruido, recarga acuíferos, reduce la erosión del suelo;
- aumenta la calidad de vida;
- mejora la biodiversidad;
- mejora la salud física y mental de la comunidad.

Tabla 3. Beneficios de implementar infraestructura verde en zonas urbanas.

Ambientales	Sociales	Económicos	Cambio climático
Mejora la calidad del aire	Humanización de las ciudades	Optimización de la inversión pública al entender distintos objetivos e incentivar la coordinación entre actores clave	Disminución de gases de efecto invernadero
Mejora la salud de los ecosistemas	Generación de bienestar físico y psicológico	Atracción para negocios, turismo y economía verde	Reducción del efecto de la isla de calor
Conectividad ecológica	Cohesión y organización social	Incremento de plusvalía de las zonas donde se implementa	Regulación climática
Reducción de la contaminación por ruido	Mejora de la habitabilidad	Eficiencia energética	Mejor manejo de agua: inundaciones, abastecimiento, reúso, recarga
Reducción de la contaminación visual	Mejora la estética del paisaje	Ahorros a través de un cambio patrones de movilidad (público y privado)	
Producción de servicios ecosistémicos y bienes ambientales	Esparcimiento (recreación y deporte)		Fomento de la resiliencia en el sistema socioambiental
Recuperación de hábitats naturales	Mejora la salud pública Favorece la educación ambiental	Reducción de costos en los sistemas de salud (público y privado)	Prevención de riesgos hidrometeorológicos
Biodiversidad y hábitat de especies	Confort térmico		Reducción de la vulnerabilidad socioambiental

Fuente: SEDATU / SEMARNAT / GIZ, 2019.

Los sitios más susceptibles de aplicar IV son los que tienen mayor escurrimiento y las zonas sujetas a inundación. También en aquellos donde los beneficios a la comunidad se multipliquen, por ejemplo: proveer sombra en vialidades, banquetas, camellones y finalmente sitios en donde la vegetación no compita por recursos con otra.

Se utilizó la metodología de infraestructura verde mediante el modelo de un sistema de drenaje sostenible, con propuestas de parques inundables para captación de agua de tormentas. Como ejemplos los siguientes referentes como casos de éxito en el mundo:

- 1) Una de estas iniciativas de adaptación al cambio climático muy interesante y de éxito, es el caso el Parque de la Marjal en Alicante, España, como un proyecto innovador para reducir los riesgos de inundación. Denominado proyecto de urbanización de parque urbano inundable La Marjal. (Aguas de Alicante y el Ayuntamiento de Alicante España, 2015).
- 2) La Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Saavedra, presenta otra forma de mitigar las inundaciones mediante un vaso expensor de agua como un retardador de tormenta, con el denominado parque inundable Saavedra en el arroyo Medrano. (Universidad Abierta Interamericana, 2015).
- 3) Otro ejemplo para disminuir los riesgos por inundación también es el Parque Inundable Víctor Jara, presentado por el ministerio de obras públicas de Chile. (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2018).

Un dato importante para este proyecto es considerar los estudios que han realizado los investigadores chinos quienes implementan la idea innovadora de convertir sus ciudades en ciudades esponjas, en donde el suelo es cambiado mediante tecnología que permite absorber las lluvias para usarlas a favor de las ciudades. Con el principio de que es necesario aprender cómo vivir mejor junto a las inundaciones, utilizar los elementos urbanos para imitar el ciclo hidrológico y amortiguar las consecuencias devastadoras de los desastres naturales, escasez del agua y cambio climático. (El Confidencial, 2018).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)

Entre las estrategias constructivas para implementar IV se mencionan las siguientes, referidas por la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, para la recuperación de condiciones hidrológicas y reducción de caudales pico en cuencas urbanas consolidadas.

Jardines de Biorretención o Jardines de Lluvia

Los jardines de biorretención (Figura 2) son espacios modificados que permiten los procesos de captación y almacenamientos de aguas lluvias desde el mismo momento en que se presente el evento, a través de las capacidades de infiltración del suelo.

Techos Verdes

Los techos o cubiertas verdes (Figura 3) son áreas con vegetación que se vienen implementando desde hace muchos años, por ejemplo, en Europa, son utilizados como una fuente que permite el almacenamiento de calor para las viviendas. Consisten en una gruesa capa de tierra con plantas, césped, y/o árboles, y se requiere un soporte estructural adicional.

Figura 2. Jardines de biorretención implementados en zonas de estacionamientos.



Fuente: Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, (s.f.).

Figura 3. Sistemas de cubiertas o techos verdes.



Fuente: Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, (s.f.).

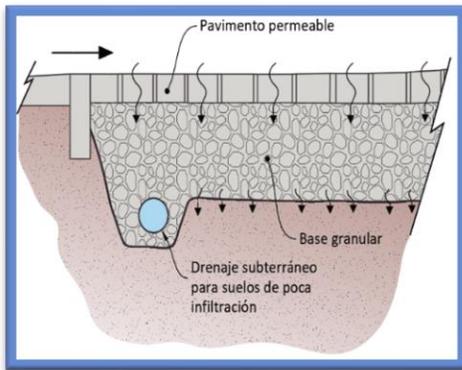
Pavimentos Permeables

Los pavimentos permeables (Figura 4) son la mezcla entre hormigón de alta porosidad y una subbase permeable. este tipo de pavimentos puede cumplir con las mismas funciones de un pavimento tradicional en cuenta a la aplicación en parqueaderos, andenes y veredas. El pavimento permeable en muchos casos puede llegar a tener una capacidad de infiltración superior a la de algunos tipos de suelo, lo que permite que éste sea capaz de absorber en su totalidad el agua producto de la lluvia que cae sobre él.

Pozos de Infiltración

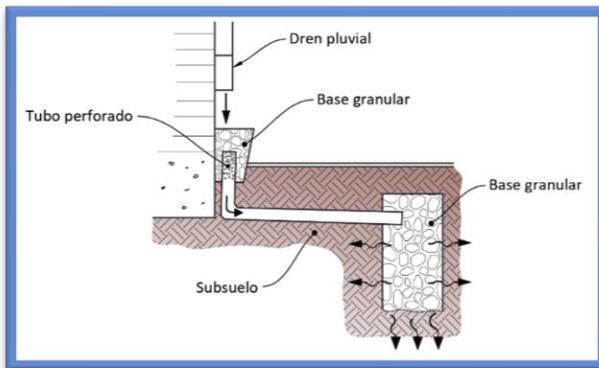
Los pozos de infiltración (Figura 5) son alternativas que se implementan en áreas en las que no se pueden instalar obras superficiales. Son sistemas que se encuentran enterrados, y cuyo tamaño puede variar según sea la necesidad.

Figura 4. Montaje sistema de pavimento permeable.



Fuente: Elaboración propia recuperado de la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, (s.f.).

Figura 5. Esquema pozo de infiltración.

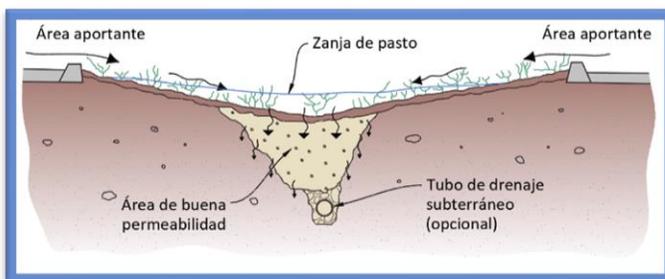


Fuente: Elaboración propia recuperado de la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, (s.f.).

Cunetas Verdes

Las cunetas verdes o biocunetas (Figura 6) son zanjas trapezoidales cuya finalidad es la captación de las escorrentías pluviales.

Figura 6. Esquema cunetas o zanjas verdes.



Fuente: Elaboración propia recuperado de la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, (s.f.).

Elementos de Cálculo

El Coeficiente de Escorrentía o Esguerrimiento

El Coeficiente de Escorrentía (CE) es uno de los parámetros fundamentales de la Hidrología superficial, pues representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el Volumen de Escorrentía Superficial (VES) y el de Volumen de Precipitación Total (VPT) sobre un área determinada (tutorialesaldía, 2013):

$$CE = \frac{VES}{VPT}$$

En la medida que el valor del Coeficiente de Escorrentía tiende a 1 el cual es su valor máximo, mayor será la cantidad de agua precipitada que se convertirá en caudal superficial lo cual podría estar asociado a una baja tasa de retención del agua por parte de la cuenca o área en estudio, por ejemplo, un suelo prácticamente impermeable.

El CE no es un factor constante, pues varía de acuerdo con la magnitud de la lluvia y particularmente con las condiciones fisiográficas de la Cuenca Hidrográfica (Cobertura vegetal, pendientes, tipo de suelo), por lo que su determinación es aproximada.

El coeficiente de escorrentía varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico. Las superficies que son relativamente impermeables como las calles y plazas de aparcamiento tienen coeficientes de escorrentía que se aproximan a uno. Las superficies con vegetación para interceptar la escorrentía superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de escorrentía más bajas cercanas a 0.

Entre los factores que afectan los esguerrimientos se encuentran la precipitación (intensidad, duración y área de distribución, y frecuencia); fisiografía (área de la cuenca, topografía, forma de la cuenca, red de drenaje, pendiente y longitud del cauce); y físico (cubierta del suelo, filtraciones superficiales y tipo de suelo). (Kraijenhoff y Van De Seur, 1977).

El método del Número de Curva o Curva Numérica (NC o CN)

El número de curva es un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos que determina un umbral de escorrentía (P0) a través de un número hidrológico o número de curva (NC) agregado de la cuenca.

El número de curva depende de las siguientes propiedades generadoras de escorrentía de la cuenca: 1) tipo hidrológico de suelo, 2) uso de la tierra y tratamiento, y 3) condición previa de humedad. El método fue desarrollado a partir de registros de lluvia y escorrentía en 24 horas, por lo que no considera explícitamente la variación temporal de la escorrentía. (Aguaygis, 2017).

El método de número de curva distingue 4 tipos de suelos A, B, C y D.

El tipo A tiene una alta capacidad de infiltración, el tipo D posee una baja capacidad de infiltración, es decir que produce escorrentía fácilmente. Los suelos de tipo B y C tienen propiedades hidrológicas intermedias. De una forma más concreta el National Resources Conservation Service de Estados Unidos (NRCS, 2002) hace la siguiente descripción para los cuatro tipos de suelos (A. Martínez de Azagra, J. Mongil & J. del Río, 2003):

Grupo A. Suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y con elevada capacidad de infiltración, aun cuando estén húmedos. Se trata principalmente de suelos profundos y con texturas gruesas (arenosa o areno-limosa).

Grupo B. Suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Principalmente consisten en suelos de mediana a alta profundidad, con buen drenaje. Sus texturas van de moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa).

Grupo C. Suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa). También se incluyen aquí suelos que presentan horizontes someros bastante impermeables.

Grupo D. Suelos muy arcillosos con elevado potencial de escurrimiento y, por lo tanto, con muy baja capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable, así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con nivel freático alto.

Cálculo del Método de Curvas Numéricas

El método SCS-CN estima el escurrimiento medio (Q) mediante cantidad de precipitación y retención máxima potencial (S), utilizando valores de curvas numéricas (Francisco-Nicolás N., Turrent-Fernández A., Flores-López H., Martínez-Menes M & Enríquez-Quiroz J. 2010). Las fórmulas para obtener Q y S se indican a continuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

Donde:

Q, escurrimiento medio por evento (mm)

P, precipitación efectiva por evento (mm)

S, retención máxima potencial (mm)

La condición para aplicar la Ecuación 1 es que $Q > 0$ si $0.2S < P$, de lo contrario $Q = 0$.

La retención máxima potencial se obtiene mediante curvas numéricas, de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$S = \frac{25,400}{CN} \quad (2)$$

Donde:

CN = curva numérica (adimensional).

La retención máxima potencial de agua en el suelo se estimó utilizando la siguiente relación, obtenida

$$S = 5 \left[P + 2Q - (5PQ + 4Q^2)^{1/2} \right] \quad (3) \qquad S = \frac{25,400}{S + 254} \quad (4)$$

Metodología

En este apartado se mencionan las metodologías empleadas en el proyecto de investigación que permitirán llegar a los resultados, estrategias, conclusiones y recomendaciones.

Las metodologías empleadas son: el marco lógico, la infraestructura verde, la captación de agua de lluvia anual y el número de curva.

También se incluyeron aspectos cartográficos, hidrológicos, históricos, y experiencias de la comunidad, los cuales se detallan al final de este apartado.

Marco Lógico

La metodología del marco lógico nos permitió la construcción de los diagramas de árbol de problemas y objetivos, el cual es importante estructurar para conocer la problemática central, como se puede ver a detalle en el Apéndice A.

Cálculo de Captación de Agua de Lluvia

Para el cálculo de captación de agua de lluvia anual en las viviendas se utilizó una calculadora de recolección de agua de lluvia, herramienta que permite determinar la cantidad máxima de agua que puede ser recolectada. Es importante considerar las pérdidas al recolectar o almacenar la lluvia, como son la evaporación y las fugas, además de las variaciones que pueden resultar de las condiciones climáticas específicas de la zona. (Lasprilla C., et al, s.f.). Esta calculadora no considera estos elementos.

Número de Curva

Se utilizó la metodología del número de curva, la cual se describe en el marco teórico y los datos CN por cobertura de Silva, 2020, los cuales fueron resultado de la consulta de los valores de N de acuerdo con el tipo de suelo y uso de suelo y vegetación (Anexo A). Posterior a esto se obtuvo el NC ponderado por tipo de cobertura.

Información Cartográfica

Se obtuvieron coberturas en formato .shp de la zona de estudio en la página de INEGI, en la cual se descargaron las curvas de nivel a cada 100 metros, microcuenca, corrientes de agua y la traza urbana.

A partir del modelo digital de terreno MDT se delimitó el parteaguas de la microcuenca Potinaspak, de la cual se definió la zona de estudio y se determinaron aspectos fisiográficos e hidrológicos.

El Instituto Ciudadano de Planeación Municipal (ICIPLAM) proporcionó a esta investigación coberturas a nivel de microcuenca que contempla una zona hidrográfica natural y urbana del Potinaspak y zonas inundables detectadas que sirvieron de referencia.

Del CENAPRED se obtuvieron las coberturas de índice de peligro municipal por inundaciones y riesgo por inundación, en el cual se puede apreciar que el municipio de San Fernando tiene un índice de alta vulnerabilidad, mientras que Tuxtla Gutiérrez tiene un índice de vulnerabilidad media.

Con la ayuda de Google Earth y Google Map en internet se recorrieron las zonas de estudio, para analizar el relieve, las zonas arboladas, los equipamientos, los fraccionamientos y colonias que se encuentran en la microcuenca, así como las calles y lugares estratégicos para los recorridos de campos.

Se elaboraron mapas en el sistema de análisis de información geográfica Arc-GIS 10, a partir de archivos vectoriales obtenidos del INEGI, en los cuales se muestra la ubicación de las calles, manzanas, uso de suelo y vegetación, curvas de nivel, cuerpos de agua que cruzan el área de estudio, con el fin de identificar los sitios vulnerables según los datos recabados de las últimas inundaciones.

Información Hidrológica

Para la modelación y previsión de inundaciones se recopiló la información disponible en CONAGUA, sobre las precipitaciones mínimas y máximas en milímetros, afluente principal del Potinaspak y corrientes de agua.

Con base en los estudios hidrológicos realizados, levantamientos de campo, análisis de información geográfica, topografía, tomas fotográficas y videos con el vuelo de un dron DJI Mini 2 de 249 gramos, se harán 3 propuestas de intervención mediante parques ecológicos que contemplan lagunas de captación de agua de lluvias y recolección de agua de lluvias en las viviendas.

Información Histórica

Se obtuvo información histórica en el Atlas de riesgos de Tuxtla Gutiérrez, publicado por la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez en 2015, en el cual se mencionan las colonias que han sido afectadas por los fenómenos hidrometeorológicos, se muestran 4 mapas sobre el grado de crecimiento poblacional, inundaciones, erosión hídrica y síntesis de riesgos hidrometeorológicos, así como los daños materiales y humanos ocurridos en nuestra zona de estudio.

Experiencia de la Comunidad

Se realizaron cuatro recorridos de campo en las zonas seleccionadas como posibles estrategias para mitigar las inundaciones, recopilando información y la experiencia de la población acerca de las inundaciones en las colonias cercanas a los afluentes principales de la microcuenca Potinaspak.

Se entrevistaron a los habitantes de la colonia Flor de Mayo en las partes más altas de la microcuenca, quienes nos platicaron sobre las corrientes que se conectan desde aguas arriba de San Fernando y el cañón del Sumidero, sobre las inundaciones y deslaves de las colonias asentadas en las laderas.

Además de recorrer las zonas de inundación ya detectadas por ICIPAM, se recorrieron otras zonas para identificar lugares vulnerables a inundaciones y derrumbes por lluvias extremas.

Hipótesis

Los parques inundables y la recolección de agua de lluvia en las viviendas contribuyen a mitigar el riesgo de desbordamiento de los cauces en la microcuenca Potinaspak.

Objetivo General

Elaborar propuestas de intervención que sirvan para el diseño de un sistema de drenaje sostenible en la microcuenca Potinaspak, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Objetivos Específicos

- 1) Diseñar esquemáticamente 3 parques inundables ecológicos con lagunas de captación, ubicados en la zona media-alta de la microcuenca.
- 2) Proponer un sistema de captación de agua de lluvias en las viviendas de 7 colonias ubicadas en la microcuenca.
- 3) Valorar el beneficio de las anteriores propuestas en términos de reducción del riesgo de desbordamiento de los cauces de la microcuenca Potinaspak, mediante el método del número de curva.

Apartado I. Caracterización de la Zona de Estudio

1. Zona de Estudio

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez es la capital del estado de Chiapas, la cual se ha extendido hacia Chiapa de Corzo y Berriozábal, dando lugar a conurbaciones que generan complejos desafíos de tipo funcional, económico, social, ambiental y político. Es considerada el núcleo urbano de la Zona Metropolitana que está integrada por los municipios de Chiapa de Corzo, Berriozábal, San Fernando, Suchiapa, Ocozocoautla de Espinosa y Osumacinta.

Debido a lo anterior, en 2005 se consideró a Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo zona metropolitana y el 30 de marzo de 2009 se instaló el Consejo para el Desarrollo Metropolitano de Tuxtla Gutiérrez. (Secretaría General de Gobierno del Estado de Chiapas, 2011).

1.1. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Tuxtla Gutiérrez se localiza en la región central de la entidad, con las coordenadas 16°45'56" latitud norte y 93°06'56" longitud oeste, a una altura de 550 msnm. Cuenta con una extensión territorial de 334.61 km², de las cuales 14,001.2 hectáreas están ocupadas por los tres principales asentamientos humanos, Tuxtla Gutiérrez con 13,507 ha, Copoya ocupa 292.7 ha y El Jobo 201.5 ha. (Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2021-2024).

El tipo de clima es cálido subhúmedo; la temperatura media anual es de 24.5°C. La temporada de lluvias se presenta entre los meses de mayo y octubre y la de estiaje de noviembre a abril. La precipitación anual es alrededor de 900 mm. (Ordóñez-Ruiz J., et al., 2015).

El municipio de Tuxtla Gutiérrez está ubicado en el Valle Central de Chiapas, localizado casi en su extremo noroeste, y zonas de relieve montañoso tanto al sur como al norte del municipio. El valle comienza en la frontera con el municipio conurbado de Berriozábal y avanza hasta las riberas del río Grande. (CONAGUA, 2009).

Su orografía está conformada por dos montañas separadas por una planicie, la primera montaña se eleva a partir del libramiento norte y alcanza la cota del margen superior del Cañón del Sumidero, de aproximadamente 800 msnm. La planicie del centro de la ciudad registra cotas de 505 msnm; el cauce del río Sabinal desciende hasta los 500 msnm y constituye el dren pluvial más importante de la ciudad. En la parte sur de la ciudad, la segunda montaña inicia a partir del libramiento sur y se extiende hasta la meseta de Copoya que alcanza niveles topográficos de 700 msnm. (Ordóñez-Ruiz J., et al., 2015).

El valle donde se ubica la capital está enmarcado geológicamente por secuencias de sedimentos marinos de edad correspondiente al Cretácico inferior-terciario medio, deformadas por dos eventos orogénicos, uno del Cretácico superior-Terciario inferior (orogenia Laramide) y otro del Terciario medio (orogenia Chiapaneca). (UNAM, 2015).

Se encuentra dentro de la cuenca del río Sabinal, que está inmersa dentro de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva Usumacinta. Su principal caudal es el río Sabinal el cual es un afluente del río Grijalva, también fluyen en el municipio los ríos Suchiapa y los arroyos Yatipak, Terán, San Agustín y Guadalupe.

La cabecera municipal cuenta con 578,830 habitantes que equivalen al 95.8% de la población total del municipio, Copoya que cuenta con 9,868 habitantes y El Jobo que tiene 5,798 residentes. (Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2021-2024).

1.1.1. Crecimiento Urbano y Poblacional

En este apartado se presentan las trazas urbanas de Tuxtla Gutiérrez del año 1986, 2001 y 2014, en donde se aprecia el rápido crecimiento de la ciudad en el sentido horizontal, hacia el lado norte poniente y sur poniente.

También se presentan el crecimiento poblacional, los grados de marginación y vulnerabilidad socioeconómica y los factores que provocan las inundaciones más grandes en la historia de Tuxtla Gutiérrez.

Crecimiento de la Mancha Urbana

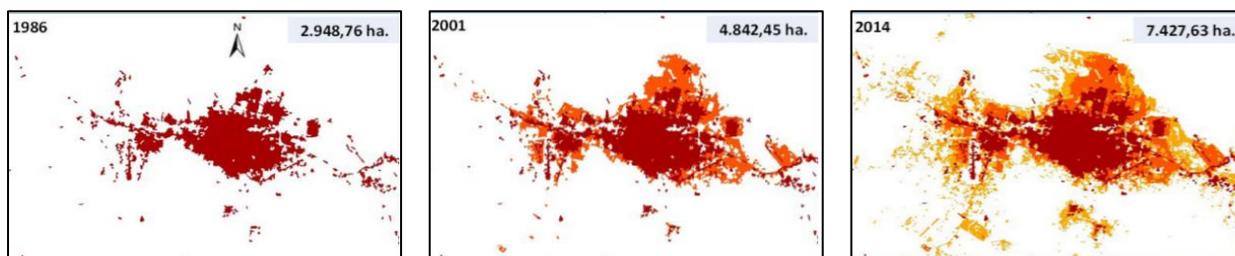
Según el estudio del Crecimiento de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez ZMTG (Chiapas, México), 2015, Tuxtla Gutiérrez presenta un rápido crecimiento horizontal, nuevos fraccionamientos en la calzada Emiliano Zapata al sur poniente de la ciudad y hacia el lado norte poniente de la microcuenca Potinaspak. (Silva, 2015).

Una ciudad que crece rápidamente demanda mayores espacios habitacionales, vías de comunicación, infraestructuras y equipamientos, es por esto por lo que se presenta disminución del uso de suelo agropecuario, pastizales y selva subcaducifolia.

Este estudio de la ZMTG señala que “es necesario realizar estudios sistemáticos multidisciplinarios que permitan entender la génesis, evolución y posibles repercusiones de los cambios en las coberturas y usos del suelo, y tender así hacia un modelo de planeación integral a escala regional que procure la reducción de los impactos ambientales, la sostenibilidad de los recursos naturales y el desarrollo social equilibrado e incluyente”. (Silva, 2015).

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez del año 1986 a 2014 el uso de suelo de tipo residencial aumentó anualmente más de 3% (Figura 7). (Silva, 2015).

Figura 7. Mancha urbana de Tuxtla Gutiérrez, 1986, 2001 y 2014.



Fuente: Tomado de Silva, 2015.

La variación temporal de las coberturas del suelo en Tuxtla Gutiérrez (Tabla 4) muestra que el uso agropecuario (incluyendo manchones de pastizal y selva baja caducifolia) disminuyó alrededor de 1% por año, que en términos absolutos equivale a una reducción de más de 5 mil hectáreas.

Tabla 4. Variación temporal de las coberturas del suelo en Tuxtla Gutiérrez en hectáreas.

Cobertura	1986	2001	2014	1986 – 2014
Residencial	2,948.76	4,842.45	7,427.63	4,478.87
Agua	120.33	113.94	116.33	-4.01
Agropecuario	23,966.55	20,534.94	18,371.07	-5,595.48
Arbolado	6,336.81	7,777.89	7,073.98	737.17
Suelo desnudo	88.92	192.15	471.71	382.79
Total	33,461.37	33,461.37	33,460.72	

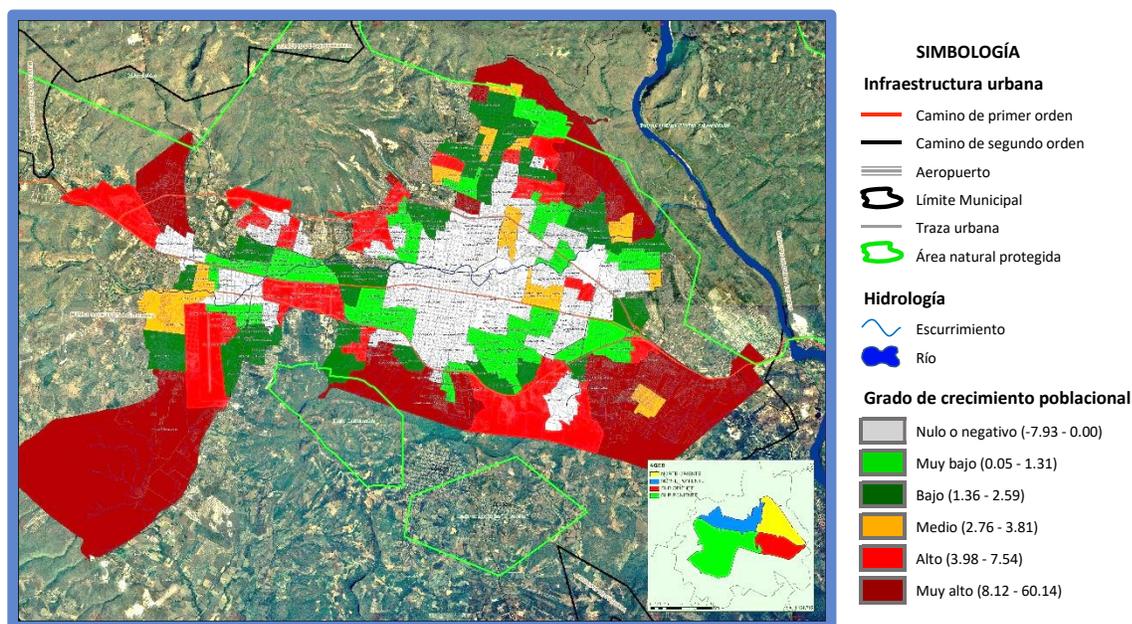
Fuente: Tomado de Silva, 2015.

Crecimiento Poblacional

El grado de crecimiento poblacional en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Figura 8), refleja un alto y muy alto crecimiento poblacional en la periferia, hacia el norte y sur de la ciudad.

En esta investigación se considera relevante el crecimiento poblacional, ya que nos permite ver que la población en esas zonas demandará un mayor número de viviendas, equipamientos e infraestructura, lo cual provocará un mayor coeficiente de escurrimiento.

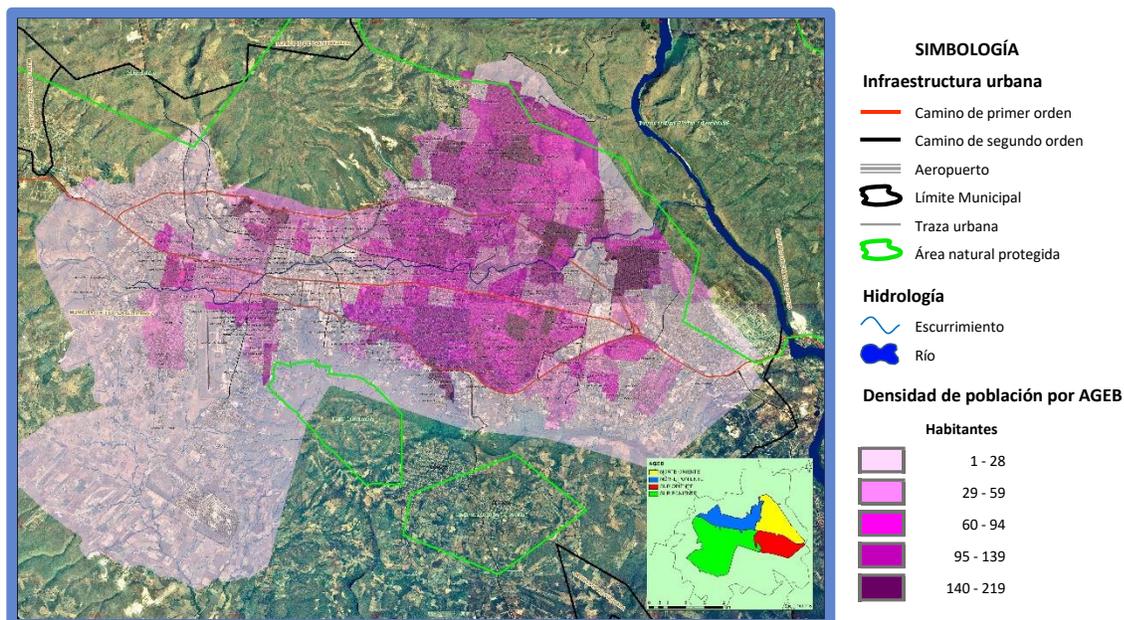
Figura 8. Grado de crecimiento poblacional.



Fuente: Obtenida del Atlas de riesgos elaborado por la SEDESOL y el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2010.

La densidad de población por área geostatística básica (AGEB) (Figura 9), permite apreciar que existe menor densidad en la periferia de ciudad, sin embargo, en la zona Norte de la ciudad se puede ver una densidad que va desde 60 hasta 139 habitantes/km² y en menor cantidad en el rango de 140 a 219 habitantes por km².

Figura 9. Densidad de población por AGEB.

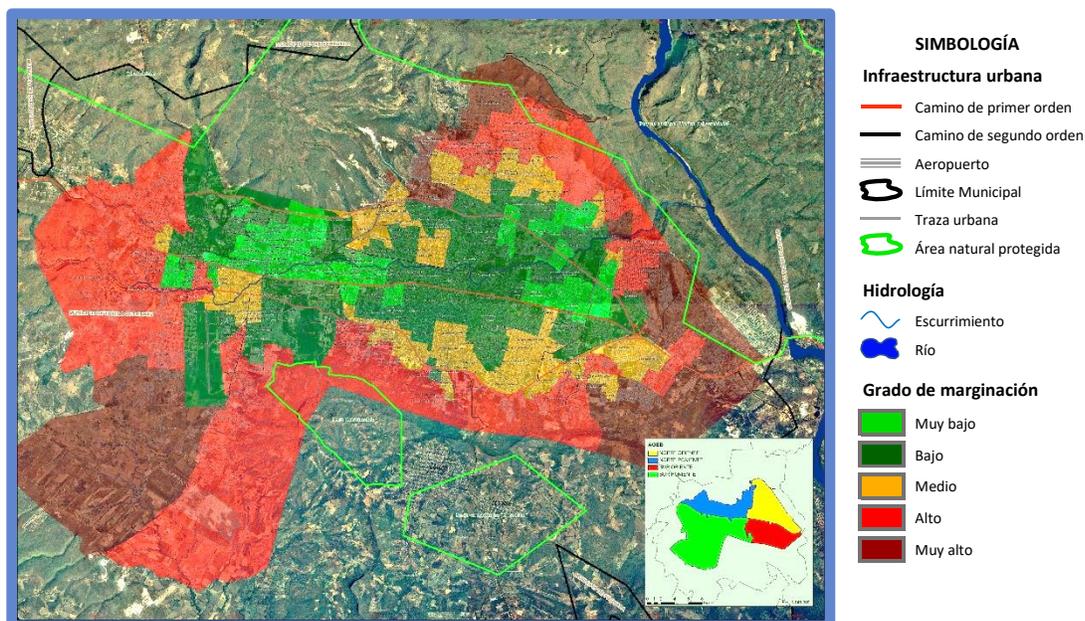


Fuente: Obtenida del Atlas de riesgos elaborado por la SEDESOL y el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2010.

1.1.2. Grado de Marginación y Vulnerabilidad Socioeconómica

En las zonas periféricas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez el grado de marginación va de medio, alto y muy alto precisamente en las zonas con mayor rezago (Figura 10).

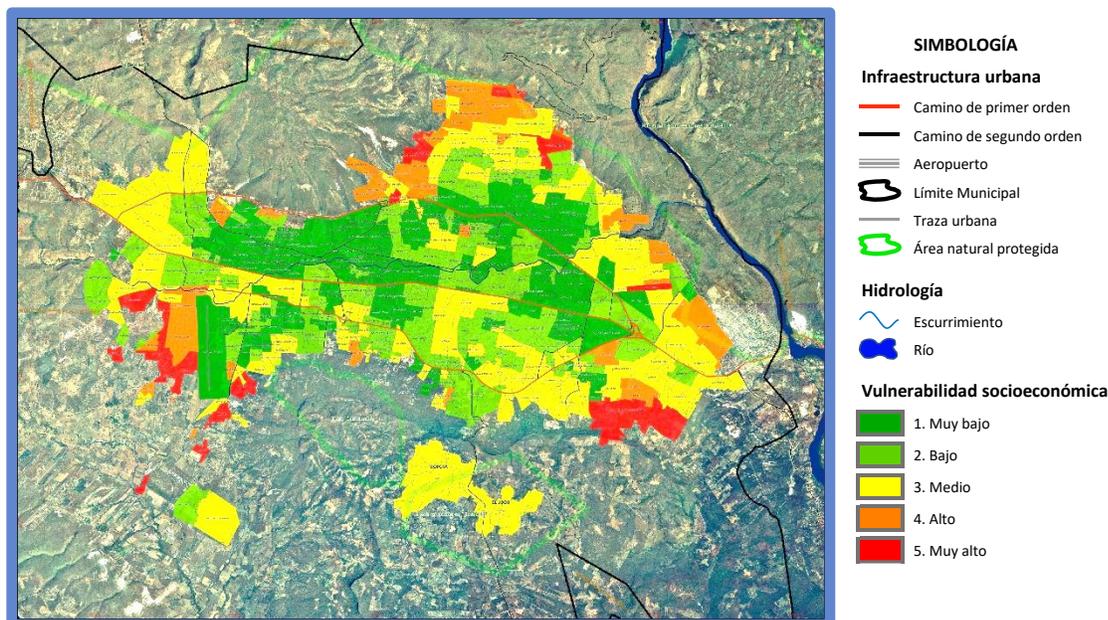
Figura 10. Grado de marginación.



Fuente: Obtenida del Atlas de riesgos elaborado por la SEDESOL y el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2010.

Se observa una mayor vulnerabilidad socioeconómica en la periferia de la Tuxtla Gutiérrez, sobre todo en algunas zonas al norte y sur poniente, así como al norte y sur oriente de la ciudad capi tal (Figura 11).

Figura 11. Síntesis de vulnerabilidad socioeconómica.



Fuente: Obtenida del Atlas de riesgos elaborado por la SEDESOL y el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2010.

1.1.3. Factores que Provocan las Inundaciones

Ante las fuertes precipitaciones uno de los factores que provocan las inundaciones en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, es la falta de un sistema de drenaje pluvial adecuado, que ha conducido a que las lluvias se incorporen al drenaje domiciliario.

Otro factor es el crecimiento demográfico en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, que ha sido del 13% en los últimos años, lo que repercute en el cambio de uso del suelo incrementándose el urbano, que se traduce en una reducción del tiempo de respuesta a la lluvia de la microcuenca y a un aumento de volumen, debido a que el material asfáltico cubre el suelo (CNA, 2003).

De acuerdo con el análisis hidrometeorológico, las inundaciones se han vuelto constantes, debido a la invasión de los márgenes de los arroyos, a la impermeabilización del suelo en la pavimentación de calles, impidiendo la infiltración de las aguas y dejando que corran por la superficie y el volumen de agua se incrementa. Esto provoca que la velocidad de su fuerza traiga consigo material de arrastre que viene de las partes altas del municipio. Así también los embovedados de los arroyos en tramos urbanos limitan el cauce natural de ellos. (Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2021-2024).

La vulnerabilidad ante las lluvias de convección, las cuales suelen producirse en zonas llanas o con pequeñas irregularidades topográficas, han generado, que en poco intervalo de tiempo originen una extraordinaria oferta de agua; derivado de un inusual ascenso de aire que provoca la condensación del vapor de agua, ésta pasa a estado líquido, y finalmente precipita en una fenomenología que está acompañada por cúmulos de tormentas; cuyas afectaciones, en su mayoría se complican por factores

como la distribución de la ciudad y la respuesta en los arroyos que desembocan al río Sabinal, ocasionando daños colaterales al municipio como es el caso del fenómeno de las inundaciones.

En Tuxtla Gutiérrez más de 60 colonias están en alto riesgo por inundaciones o encharcamientos. (Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2021-2024).

En el mapa de erosión hídrica se observan importantes zonas erosionadas por las lluvias en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, las cuales son señaladas como zonas de mayor peligro por derrumbes, en la zona norte lado oriente y poniente se aprecian las erosiones más grandes (Figura 12).

Figura 12. Erosión hídrica.



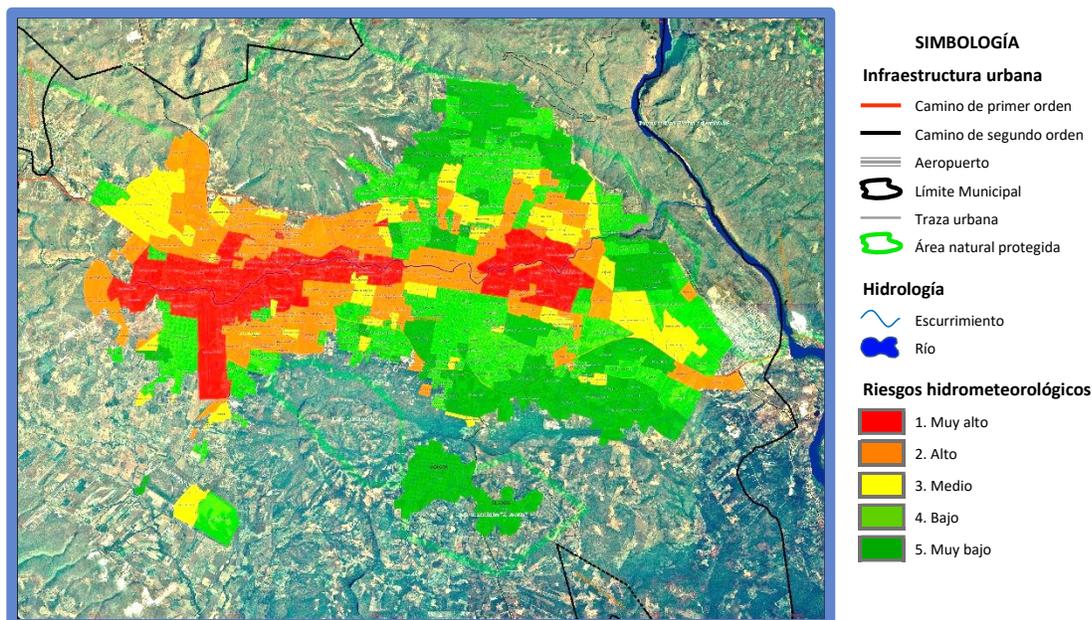
Fuente: Obtenida del Atlas de riesgos elaborado por la SEDESOL y el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2010.

La erosión se presenta por los escurrimientos y los arroyos que bajan de las partes altas de las montañas hacia los barrancos localizados al norte y norte poniente de la ciudad, agravándose en las siguientes colonias: Poma Rosa, Laguitos, Potinaspak, Jardines del Norte, Las Granjas, Atenas, Chapultepec, entre otras.

El nivel de riesgo por erosión en el municipio es alto; sin embargo, cabe mencionar que los barrancos localizados al Norte y Norte-Poniente presentan un mayor poder de erosión, ya que por sus características tienen la capacidad de transportar bloques y derrubios de tamaño considerable en temporada de lluvias, los cuales son depositados en las partes más bajas de la montaña en donde se localizan las siguientes colonias: Calichal, Monterreal, Tzisco, Los Laguitos Infonavit, Malibú, Continental, San José Chapultepec, San José Yeguiste, Atenas, Nuevo Edén, entre otras. (Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2021-2024).

Las zonas con mayor riesgo hidrometeorológico (Atlas, 2010), se presentan como riesgos medio, alto y muy alto en todas las zonas cercanas al río Sabinal de poniente a oriente, solamente se presentan riesgos bajos y muy bajos en la zona periférica en la parte alta tanto al norte como al sur de la ciudad capital (Figura 13).

Figura 13. Síntesis de riesgos hidrometeorológicos.



Fuente: Obtenida del Atlas de riesgos elaborado por la SEDESOL y el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2010.

1.1.4. Inundaciones más Grandes en la Historia de Tuxtla Gutiérrez

Históricamente la población de Tuxtla Gutiérrez se ha visto afectada por inundaciones debido a los desbordamientos del río Sabinal, que cruza en una longitud de 6.5 km la zona urbana y el cual contiene los arroyos Jotipak, Pospón, Cachotopak, Penipak, Potinaspak, Yucucupak, Jamaipak, Pistimbak, Popombak, Capetecjopak, Factaccosok, entre otros, así como por el río Quishimpak (El Sabinal). Los arroyos que han causado mayores desastres son el Sabinal, San Roque y Potinaspak (el Poti). (El Heraldo, 2022).

En la Figura 14 se pueden observar los ríos y arroyos que cruzan la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, como principal el río Sabinal que cruza de poniente a oriente, desembocando en el río Grijalva.

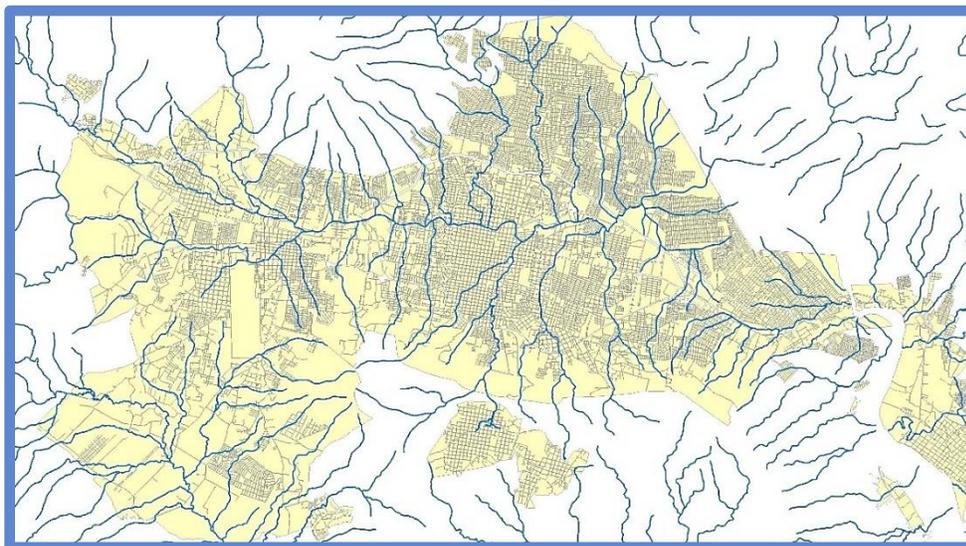
La Comisión Nacional del Agua (CNA) calcula que cuando menos dos mil casas están construidas en las márgenes de 13 de los 21 afluentes del río Sabinal. En 1999 el Gobierno del estado de Chiapas construyó siete nuevos puentes sobre el río Sabinal, para tratar de evitar su desbordamiento durante la época de lluvias, los cuales vinieron a sustituir a los antiguos puentes de arco de arquitectura tradicional.

En el año 1996 se desbordó el arroyo Potinaspak, dejando 60 colonias inundadas y en 1998 se desbordaron los arroyos Potinaspak y Totoposte; ocasionando que el Sabinal creciera con 1.20 m, arrastrando automóviles y con ello la pérdida de una vida. (CONAGUA, 2003).

Han sido 90 inundaciones ocurridas durante los años 2008, 2009 y 2010 en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez reportadas por Protección Civil. (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

En mayo de 2001 los fuertes aguaceros destruyeron casas en condiciones precarias en la colonia Democracia y los desbordamientos de varios de los afluentes del Sabinal afectaron a las colonias Los Pájaros, Bienestar Social, Terán y Potinaspak. (CONAGUA, 2003).

Figura 14. Red hidrográfica del río Sabinal.



Fuente: Elaboración propia con datos CEIEG, 2015.

El fenómeno hidrometeorológico Larry en 2003, provocó lluvias intensas con una acumulación de 225 mm en la parte alta de la cuenca del río Sabinal, generando una avenida estimada de 300 m³/seg, con periodo de retorno de 15 años. (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

La insuficiente capacidad del cauce para esta avenida ocasionó el desbordamiento del río afectando una superficie aproximada de 290 hectáreas de la ciudad. La inundación afectó a 2,181 viviendas. (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

Los remanentes del sistema tropical "LARRY" ocasionaron precipitaciones máximas históricas de 131.0 mm en San Fernando y 225.5 mm en Berriozábal, Municipios ubicados en la cuenca alta del Río Sabinal, presentándose desbordamientos en diversos puntos, con afectación a 28 colonias importantes de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, 39,000 habitantes y 49,720 viviendas (CONAGUA, 2003).

El desbordamiento del arroyo Potinaspak y varias casas inundadas fue el saldo que dejó la fuerte lluvia en junio de 2020 en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. De acuerdo con Protección Civil un árbol se desplomó golpeando a una unidad del servicio público en su modalidad de taxi (Figura 15). (Diario del sur, 2020).

A finales del 2018 eran 81 zonas de alto riesgo de inundación en Tuxtla Gutiérrez, ahora son 26, (El Heraldo, 2022), gracias a los trabajos que se han realizado en las gestiones municipales se ha logrado disminuir el riesgo, sin embargo, existen insuficientes alcantarillas y no se logra una capacidad hidráulica ante las fuertes lluvias, además de la existencia de viviendas dentro de algunos cauces.

Hubo un abandono de al menos 15 años que hicieron que colapsara la red hidráulica, además de que la infraestructura fue diseñada y realizada para una menor población (El Heraldo, 2022), razón por la que existe poca capacidad hidráulica para desalojar las aguas pluviales.

En 2022 se reporta que desde los cerros Mactumactzá y Parque Nacional Cañón del Sumidero se siguen presentando fuertes corrientes, ya que se han retirado más de 11 mil toneladas de escombros de los afluentes, de ellos 3 mil 400 toneladas solo del Sabinal, las zonas de más riesgo son libramiento norte y calle Ricardo Flores Magón en Infonavit Grijalva por el arroyo El bambú. (El Heraldo, 2022).

Figura 15. Desbordamiento del arroyo Potinaspak.



Fuente: Hugo Sánchez/El Heraldo, 2022.

Los otros puntos críticos son el Fraccionamiento La Ilusión en el libramiento norte oriente, así como Torres Kan, donde baja mucho material de arrastre del Libramiento Sur y Bulevar Ciro Farrera, colonia 24 de Junio debido a la poca capacidad hidráulica del canal, donde los escurrimientos son cada vez mayores y el área hidráulica no soporta gran cantidad de lluvia, en menos de 15 minutos empieza a subir muy rápido el nivel, con 20 minutos de lluvia empiezan los desbordamientos. (El Heraldo, 2022).

En la Figura 16 se muestran los riesgos por inundación en uno de los puntos críticos de la ciudad en septiembre de 2022, el libramiento norte a la altura de Infonavit Grijalva, donde se puede ver el desbordamiento del río Sabinal sobre las calles. (El Heraldo, 2022).

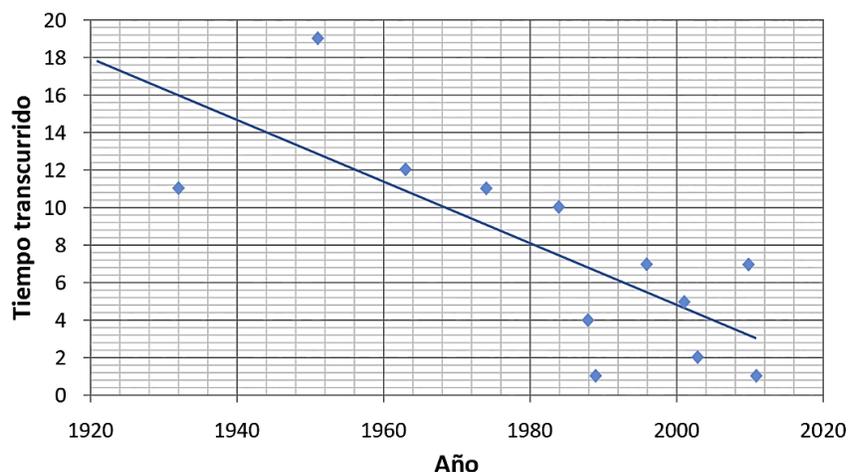
Figura 16. Desbordamiento sobre libramiento norte.



Fuente: El Heraldo, 2022.

En la Figura 17 se muestra el ajuste lineal del decremento del periodo de retorno de las inundaciones en Tuxtla Gutiérrez, del año 1921 al 2011, en el cual se observa que el periodo de retorno se divide en dos grupos tomando en cuenta el tiempo que transcurre de inundación a inundación. El primer grupo de 1921 a 1984 y el segundo de 1984 a 2011.

Figura 17. Ajuste lineal del decremento del periodo de retorno de las inundaciones en Tuxtla Gutiérrez, desde la de 1921 y hasta la de 2011, (modificado de González, 2009).



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

Seguido de esto se promedian los tiempos transcurridos de los años de 1921 a 1984, nos da un valor de separación de inundaciones de 12.6 años y entre los años de 1984 y 2011 nos da un valor de 5.4 años. Los valores obtenidos del Atlas reflejan que con el paso del tiempo el periodo de retorno de las inundaciones es cada vez menor, poniendo en riesgo en un menor tiempo a la población.

Lo anterior se debe a fenómenos del cambio climático, al incremento poblacional que resulta en un cambio de uso de suelo y deforestación de la microcuenca. Así también influye la migración de personas que habitaban zonas rurales y ahora radican en la capital tuxtleca.

Aunado al hecho de que cada vez más vialidades son de concreto hidráulico o asfáltico, provocando que el coeficiente de escurrimiento sea cada vez mayor e impidiendo una mayor infiltración de la precipitación.

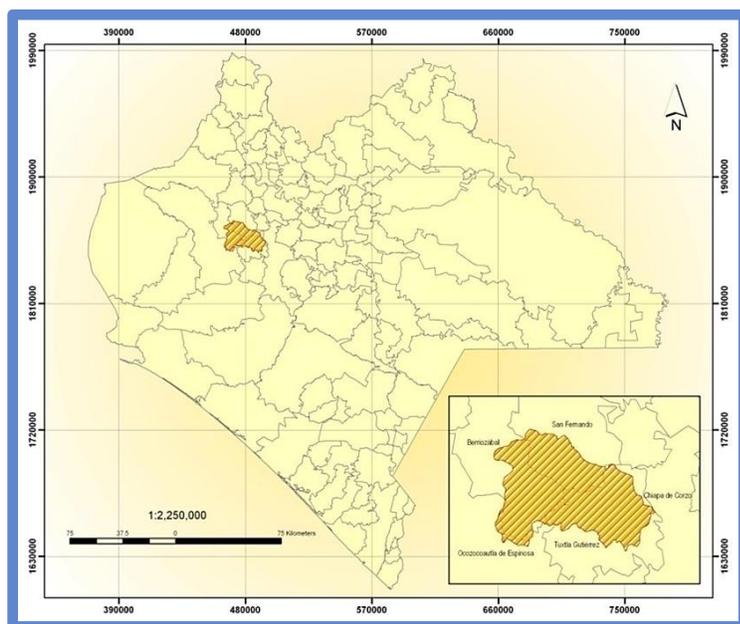
1.2. La Cuenca del Río Sabinal

El Río Sabinal se origina en La Loma, El Chupadero, 5 km al noroeste de la población de Berriozábal, Chiapas, a una altitud de 1,100 msnm, corre en dirección sureste, atravesando dicha población y continuando hacia la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, la cual es abastecida de agua por dos grandes afluentes, los ríos Santo domingo y Grijalva (CNA, 2003).

El río Sabinal finalmente descarga al Río Grijalva en las cercanías del Cañón del Sumidero, aportando a éste, un área de drenaje de 375 km² aproximadamente. (SMAYV, 2009).

La cuenca del río Sabinal está ubicada dentro de la Región hidrológica No. 30 denominada Grijalva-Usumacinta, en la cuenca administrativa Grijalva-Tuxtla Gutiérrez (Figura 18).

Figura 18. Ubicación geográfica de la cuenca del río Sabinal, Chiapas.



Fuente: Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca del río el Sabinal, 2009. Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda, Gobierno del Estado de Chiapas, 2009.

La cuenca del río Sabinal es un afluente del río Grijalva que drena un área aproximada de 407 km² y es llamado así porque desde finales del siglo pasado existen en sus márgenes árboles de Sabino. Su confluencia se efectúa a la altura de la mesa Nido de Águilas, punto de entrada del río al cañón del Sumidero (CENAPRED, 2004).

Por sus características topográficas la cuenca del río Sabinal, se encuentra protegida por dos barreras montañosas: la Sierra Madre de Chiapas y la Altiplanicie Central, las cuales impiden la incidencia directa de eventos de origen ciclónicos, presentándose lluvias de tipo convectivo y en menor grado las de tipo orográfico (CNA, 2003).

Abarca de manera parcial los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Berriozábal, Ocozocoautla de Espinosa y San Fernando; sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte 16°52'02", donde limita con la localidad de Álvaro Obregón, municipio de San Fernando; a los 16°43'29" en la porción Sur, limitando con el Cerro Mactumactzá. Longitud Oeste 93°20'13" limitando con el cerro "Charro Negro", municipio de Berriozábal y a los 93°04'07" en la porción Este, limitando con el Río Grijalva y el Cañón del Sumidero, municipio de Tuxtla Gutiérrez. (SMAyV, 2009).

En cuanto a hipsografía se tiene que la cota más alta en la zona se encuentra a los 1,240 msnm, por el contrario, la cota menor está en los 380 msnm. (SMAyV, 2009).

El área de la subcuenca se encuentra casi en su totalidad dentro de la Provincia Tectónica del Sinclinorio Central, en la cual se identificaron tres tipos de unidades geohidrológicas, las cuales presentan las características físicas y geohidrológicas de los materiales del subsuelo y la posibilidad para formar un acuífero subterráneo, cabe hacer mención que estos datos muestran cómo se encuentra el balance hídrico en la Subcuenca. (SMAyV, 2009).

Material consolidado con posibilidades de permeabilidad baja, son materiales con un fracturamiento escaso o no interconectado, así como baja o nula porosidad. Este tipo de material se encuentra en la mayor parte de la subcuenca el Sabinal.

Material no consolidado con posibilidades altas, es una unidad susceptible de contar con agua subterránea extraíble a través de norias y manantiales contando con numerables escorrentías pequeñas. Cabe hacer mención que parte de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez está asentada en este material.

Material no consolidado con posibilidades de permeabilidad bajas, están compuestas de arenisca y conglomerado de baja compactación, así como depósitos lacustres y de litoral (INEGI, 1988).

Cabe señalar que los afluentes que conforman la cuenca del río Sabinal, son en su mayoría arroyos intermitentes, los cuales reciben descargas de aguas pluviales y residuales y que después de cruzar toda la ciudad de poniente a oriente, descargan sus aguas sobre la margen izquierda del Río Grijalva.

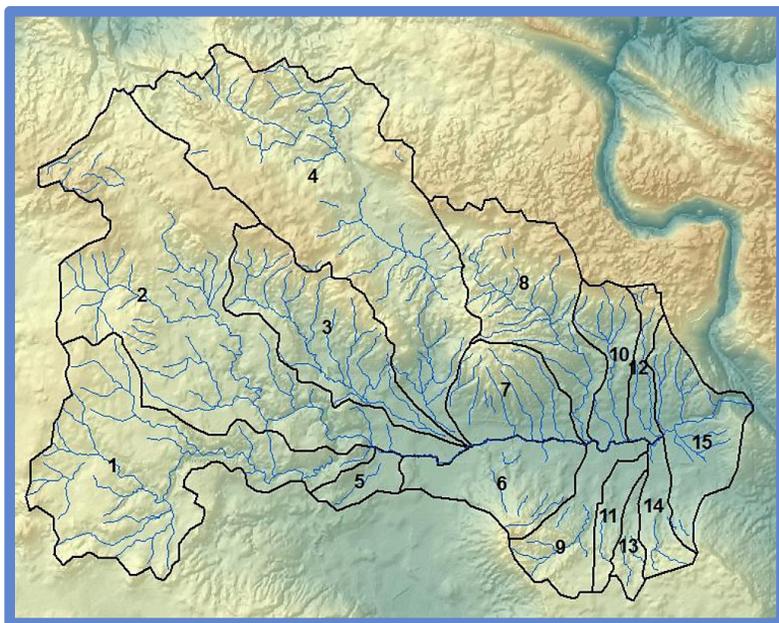
Lo anterior ha provocado que al final de su recorrido se presente una serie de lomeríos de pendientes suaves y una baja densidad de drenaje.

1.2.1. Principales Afluentes

Los principales afluentes del río Sabinal son los arroyos: San Agustín, La Chacona, Chapultepec, Ojo de Agua, Pomarroza, Pistimbak, Potinaspak, Totoposte, Bambú, Arroyo Blanco, Lomas del Oriente, Cerro Hueco, Santa Ana, Poc-Poc, San Roque, El Zope, San Pascualito, El Cocal, Romeo Rincón, San Francisco Sabinal y La Laguna. (PMD Tuxtla Gutiérrez 2021-2024).

En 2009 eran 15 microcuencas las que conformaban el río Sabinal (Figura 19) de las 21 mencionadas en el apartado anterior.

Figura 19. Microcuencas del río Sabinal, Chiapas.



Fuente: Plan de gestión y manejo integral de la cuenca del Río Sabinal, 2009.

En la Tabla 5 se muestran las superficies de las 15 microcuencas del río Sabinal que se mencionan en el Plan de gestión y manejo integral de la cuenca del río Sabinal 2019, en la que se puede observar a la microcuenca Potinaspak en el 5º. lugar de las microcuencas de mayor superficie, siendo su área un factor fisiográfico que afecta el escurrimiento.

Tabla 5. Microcuencas y superficies de la cuenca del Río Sabinal.

Número de subcuenca	Subcuenca	Superficie (km ²)
1	San Francisco	55.81
2	Berriozábal	88.35
3	San Agustín	30.97
4	Chacona	86.62
5	San José el Arenal	5.8
6	Arroyo Centro Sur	19.08
7	Pomarosa	17.48
8	El Potinaspak	30.9
9	San Roque	13.99
10	Totoposte	12.1
11	Poc Poc	6.29
12	24 de Junio	7.05
13	Santa Ana	5.06
14	Cerro Hueco	7.71
15	Patria Nueva y otros	19.82
Total		407.03

Fuente: Elaboración propia con datos del Plan de gestión y manejo integral de la cuenca del Río Sabinal, 2009.

El Programa de ordenamiento ecológico y territorial de la subcuenca del río el Sabinal, en el 2009 (Tabla 6), reportó datos de los coeficientes de escurrimiento de 14 microcuencas pertenecientes al río Sabinal, dentro de las cuales podemos destacar la microcuenca Potinaspak, presentando un valor del CE = 0.06 para un periodo de retorno de 2 años, notando que se aleja del valor 1, lo que significa que para ese año seguramente existía una mayor superficie de vegetación para interceptar la escorrentía superficial, permitiendo una mayor infiltración de las precipitaciones.

Con el paso de los años, el crecimiento urbano en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y el aumento de la deforestación se está provocando que el coeficiente de escurrimiento se acerque al valor de 1, donde el volumen de agua de lluvia que escurre tiende a ser el volumen de la precipitación total del evento. Provocando que exista un mayor gasto en la salida de la microcuenca Potinaspak el cual desembocará al río Sabinal.

Tabla 6. Coeficientes de escurrimiento de las Microcuencas del río Sabinal para el periodo de retorno de 2 años.

Microcuenca	Coeficiente de Escurrimiento 2 años
24 de Junio	0.144
Arroyo Centro Sur	0.165
Cerro Hueco	0.287
Chacona	0.024
El Potinaspak	0.060
Patria Nueva y otros	0.202
Poc Poc	0.309
Pomarosa	0.096
San Agustín	0.035
San Francisco	0.038
San José el Arenal	0.148
San Roque	0.163
Santa Ana	0.242
Totoposte	0.128

Fuente: Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca del río el Sabinal, 2009.

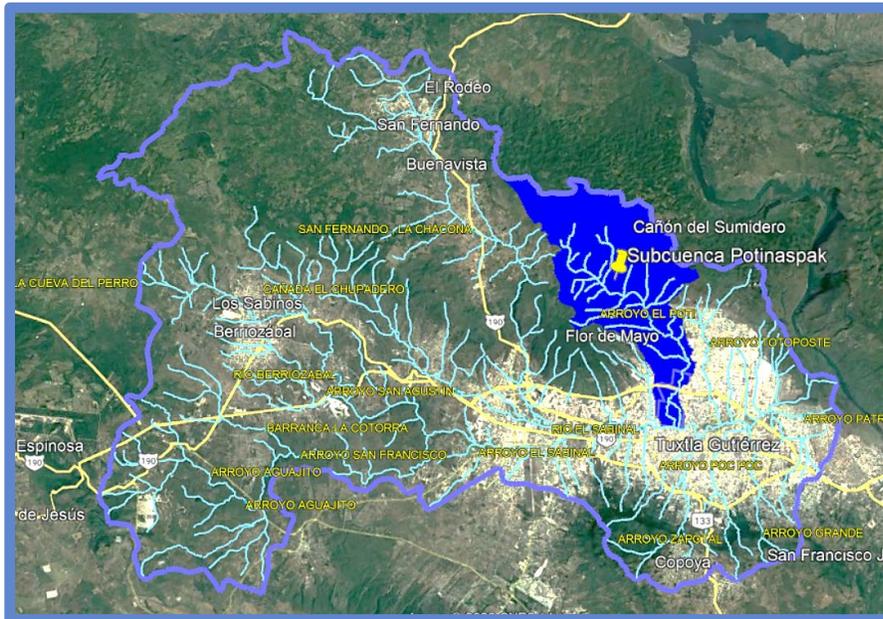
1.3. La Microcuenca Potinaspak

La microcuenca Potinaspak es de tipo endorreica, la cual es posible clasificar según la tabla 1 citada en la página 9 como una cuenca hidrográfica pequeña (25 a 250 km²), debido a que su área total es de 31 km² con un perímetro de 35.95 km, la cual forma parte de una de las 21 microcuencas mencionadas en el PDM de Tuxtla Gutiérrez 2021-2024, que conforman la cuenca del río Sabinal y ocupa el 7.6% del área total de la cuenca del río Sabinal.

La microcuenca Potinaspak está ubicada dentro de la subcuenca el Sabinal (Figura 20) y se compone de los afluentes Potinaspak y Pistimbak, que nacen en el municipio San Fernando al noroeste de Tuxtla Gutiérrez a 640 msnm.

Las 45 colonias que conforman esta microcuenca son las siguientes: 12 de Noviembre, Adonái, Albania Alta, Barrio Colón, Barrio el Magueyito, Barrio Guadalupe, Barrio Juy Juy, Barrio la Pimienta, Barrio Niño de Atocha, Barrio San Jacinto, Barrio San Marcos, Barrio Santo Domingo, Buenavista, Caleras Maciel, Canteras, Condominito Alta Vista, El Carmen, Elmer Seltzer, Fovissste Paraíso, Fracc. Cándox, Fracc. Grijalva, Fracc. Jardines de las Flores, Fracc. La Llave, Fracc. Mirador, Fracc. Nuevo Mirador, Fracc. Pedregal San Antonio, Fracc. Vista Hermosa, La Condesa, La Joya, Las Américas, Lindavista Shanká, Luis Donald Colosio, Miravalle, Paraíso Alto, Paraíso Bajo, Paraíso Medio, Pistimbak, Pomarosa, Potinaspak, Profesor Daniel Robles Sasso, Rincón Potinaspak, Roberto Albores Guillén, San Pedro Popular, Santa Cruz y Tuxtla Nuevo.

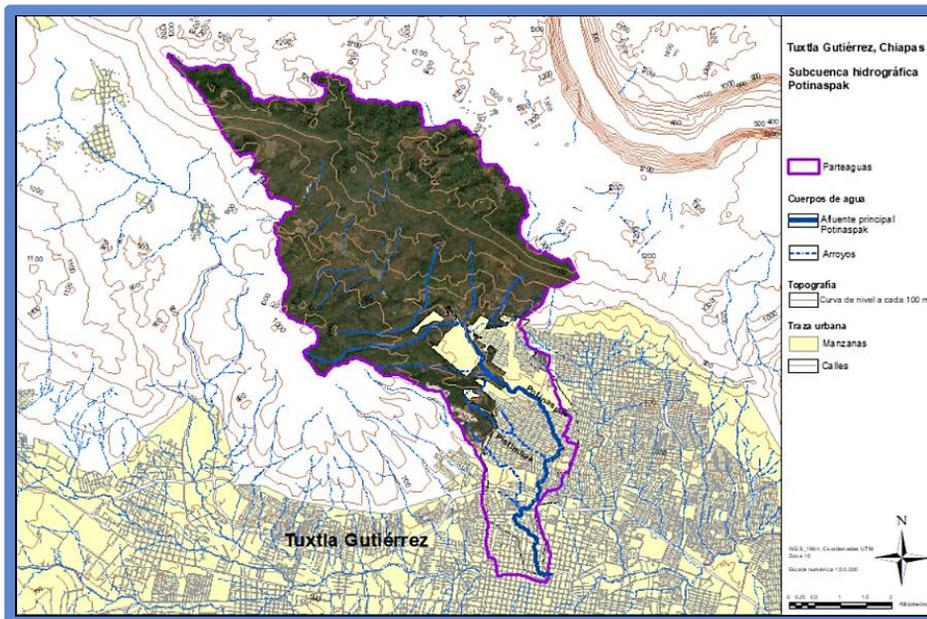
Figura 20. Subcuenca del río Sabinal y microcuenca hidrográfica Potinaspak.



Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth, 2021 e información de INEGI, 2015.

El arroyo el Potinaspak recibe los escurrimientos de la parte alta, aportación que viene del municipio de San Fernando y del cañón del Sumidero y que fluye hacia la zona media y baja de la microcuenca (Figura 21).

Figura 21. Microcuenca Potinaspak y arroyos.



Fuente: Elaboración propia con coberturas del INEGI 2015.

La microcuenca Potinaspak (Figura 22) está ubicada en el lado norte poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Figura 22. Microcuenca Potinaspak.



Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth, 2021.

En la Figura 23 se muestra la imagen satelital de la microcuenca hidrográfica Potinaspak rotada en el sentido de las manecillas del reloj, resaltando el relieve de la zona en la cual se puede observar que las mayores elevaciones de las montañas se encuentran en la parte norte poniente de la microcuenca.

Figura 23. Imagen satelital en relieve de la microcuenca hidrográfica Potinaspak.



Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth, 2021.

Los escurrimientos llegan del municipio San Fernando y de la parte alta del cañón del sumidero, provocando una fuerte erosión que recorre el arroyo Potinaspak, ocasionando el arrastre de sedimentos.

Además de los riesgos hidrometeorológicos bajos y muy bajos en la zona alta de la microcuenca Potinaspak, medio y alto en la parte media y baja de esta microcuenca. Cabe señalar que existe un alto riesgo en la zona baja y sobre todo donde se conectan todos los escurrimientos con el río Sabinal.

La población más vulnerable socioeconómicamente en la microcuenca Potinaspak se encuentra en la zona norponiente de esta microcuenca, en mediana, baja y muy baja vulnerabilidad hacia la parte media y baja de la microcuenca.

1.3.1. Datos Fisiográficos

Los datos fisiográficos de la microcuenca Potinaspak según el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial (POET) de la Subcuenca del río el Sabinal, 2009 se describen a continuación:

Localización

Se ubica en el municipio de San Fernando y la parte norte poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con una extensión territorial de 32.11 km² lo que representa el 7.88% de la superficie total comprendida por la subcuenca del río Sabinal.

Presenta rangos altitudinales que van desde los 600 hasta los 1,200 msnm en la parte alta (INEGI, 2015) y sus colindancias políticas son, al poniente con la microcuenca La Chacona al sur con la microcuenca Pomarosa y al Oriente con la microcuenca Totoposte.

Características Físicas

Fisiografía. La microcuenca presenta dos niveles de estratificación de acuerdo con la altitud correspondiente, como son la parte alta caracterizada por la Sierra la cual ocupa un total de 27.760 km² representando el 86%; la parte baja se encuentra una parte de Llanura 4.351 km² que representa el 14% restante.

Geología. Se presentan 2 tipos de eras geológicas: la primera Mesozoico, cretácico superior (58%) presentando rocas sedimentarias, posteriormente el Mesozoico cretácico inferior en 41% se encuentra con rocas sedimentarias y por último el Cenozoico cuaternario, con rocas sedimentarias con el 1%.

Clima. En base a la clasificación climática de Köppen modificada por E. García (1980) presenta un clima tropical de tipo Aw0(w)ig.

Hidrología Superficial. La Microcuenca “El Poti” tiene un cauce total de 13.48 km de largo y aproximadamente un metro de ancho.

Hidrología Subterránea. Está formado con material consolidado con posibilidades de permeabilidad baja, y el 1% restante con material no consolidado con posibilidades altas el cual es susceptible de contar con agua subterránea extraíble a través de norias y manantiales contando con numerables escorrentías pequeñas.

Suelo. Los tipos de suelos presente en esta área son I: Litosol, Lc/3: Luvisol crómico de textura fina, Vp/3/LP: Vertisol pélico de textura fina y en fase lítica profunda, Hi+Lo+I/3/L: Feozem lúvico asociado con luvisol órtico y litosol, de textura fina y en fase lítica, Hh+Rc+Re/2/Lp: Feozem háplico combinado con

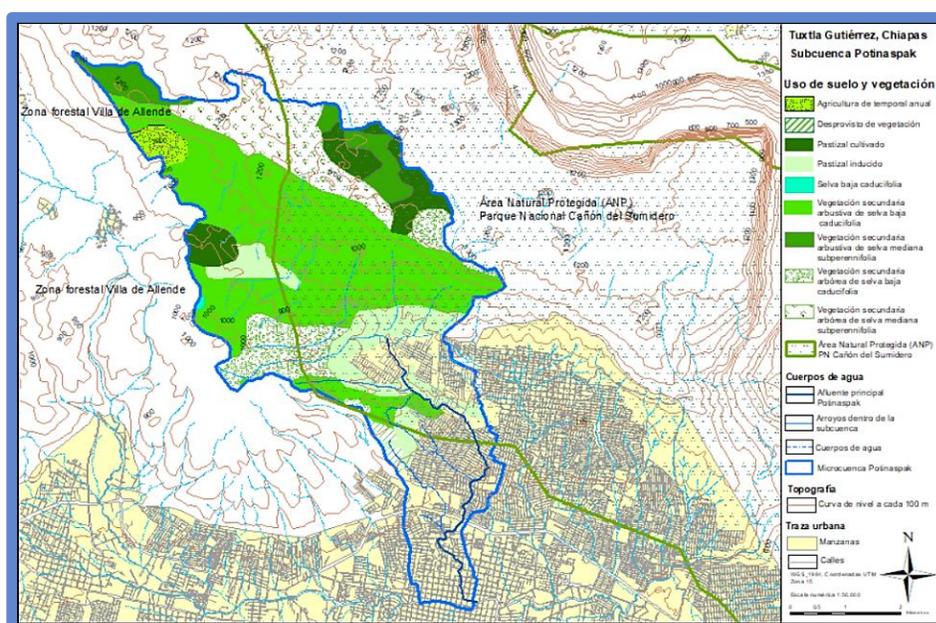
Regosol calcárico y Regosol éutrico de textura media, en fase física lítica profunda, E+I/3/L: Rendzina asociado con Litosol, de textura fina y en fase lítica.

Características Biológicas

En la microcuenca Potinaspak queda comprendida una parte de la zona de protección forestal vedada de los terrenos forestales del área natural protegida Villa Allende, formando un corredor biológico junto con el Parque Nacional Cañón del Sumidero (Figura 24).

Los tipos de vegetación que se presentan son selva alta y mediana con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, pastizal inducido y agricultura de temporal. La microcuenca se encuentra rodeada en la parte norte poniente por vegetación natural y antrópica (INEGI, 2015).

Figura 24. Áreas naturales protegidas, vegetación natural y antrópica en la microcuenca Potinaspak.



Fuente: POET de la Subcuenca del río el Sabinal, 2009 e INEGI, 2015.

Fauna. Como esta microcuenca es la unión de la zona forestal Villa de Allende y el parque nacional Cañón del Sumidero, forman un corredor biológico permitiendo el hábitat y desplazamiento de numerosas especies. Dentro de los cuales los mamíferos están conformados por un total de 20 familias, aves representadas por un total de 32 familias, reptiles por un total de 17 familias, y anfibios con un total de 5 familias.

1.3.2. Límites del Parteaguas

Al norte la microcuenca Potinaspak se encuentra delimitada por los terrenos forestales del área natural Villa Allende y el Parque Nacional Cañón del Sumidero, es un área natural de vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia y en menor porcentaje pastizal cultivado y vegetación secundaria arbustiva de la misma selva.

Al sur colinda con el río Sabinal, en un área urbana completamente, al norponiente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, sobre la 4ª norte oriente desde la 10ª poniente norte y hasta llegar a la calle central norte.

Al poniente la microcuenca se encuentra dentro de la reserva Villa Allende, el parteaguas sigue su recorrido y cruza el libramiento norte hasta llegar al sur poniente ya sobre la traza urbana.

Al oriente de la microcuenca la delimitación inicia sobre el parque Cañón del Sumidero, haciendo su recorrido hacia el sur hasta cruzar el Libramiento Norte e incorporarse al fraccionamiento Miramar, sobre la calle 3ª poniente norte y 18ª norte poniente.

1.3.3. Trayectoria del Afluente Principal

El afluente Potinaspak inicia su recorrido en la colonia Ampliación Condesa y llega hasta la colonia Adonahí con una longitud de 2,496 m, se une al afluente Pistimbak, tanto los márgenes como su cauce están invadidos por viviendas, templos y vialidades, ocasionando la reducción del cauce (IC IPLAM, 2020).

Continuando su recorrido hacia el sur, se puede observar que el cauce del arroyo Potinaspak se ha convertido en la vialidad de la zona, con una longitud de 1,673 m, aproximadamente (Figura 25).

Figura 25. El cauce del arroyo Potinaspak.



Fuente: IC IPLAM, 2020.

Continúa en una zona deshabitada por aproximadamente 179 m, hasta encontrar nuevamente su cauce. En este punto el cauce tiene paredes y mampostería con un ancho de 3 m y una altura de 1.80 m, en la colonia el Carmen en la calle 12 de Octubre, entre las calles 1ª de Enero y 12 de Diciembre (Figura 26).

En la Figura 27 se logra ver la sección de la obra de mampostería en la salida del afluente principal del arroyo Potinaspak. La población menciona que este es el punto de mayor afluencia y almacenamiento de agua de lluvia que baja hacia el lado sur de la microcuenca, afectando un gran número de colonias, por lo

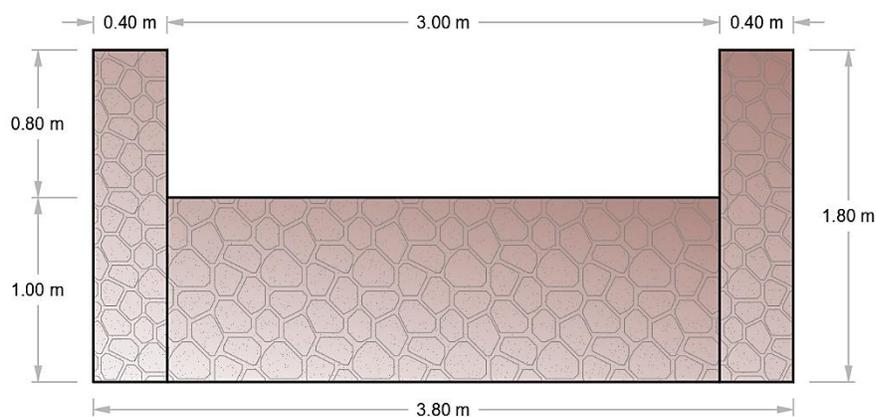
que se deduce que las dimensiones no son suficientes para la cantidad de agua que drena en este punto en tiempo de lluvias.

Figura 26. Afluente principal del Arroyo Potinaspak en tiempo de lluvias.



Fuente: Imagen tomada por Roberto Rosales a través de vuelo con dron DJI Mini 2, 2020.

Figura 27. Sección de la obra de mampostería en la salida del afluente principal del arroyo Potinaspak.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la Figura 28 se puede apreciar en una Imagen aérea, que personas de las colonias cercanas acuden a lavar en tiempo de lluvias argumentando que el agua es limpia y que proviene de un pozo ubicado en la parte alta de la microcuenca en la zona urbana.

Los grandes volúmenes de agua de lluvia escurren hacia la zona hidrológica urbana en la parte media y baja de la microcuenca, afectando a las colonias que se encuentran asentadas en los márgenes del arroyo aguas abajo.

Posteriormente el afluente es embovedado en algunos puntos de su recorrido para después retomar su curso a cielo abierto, a nivel de calle y por canales.

Figura 28. Imagen del afluente principal.



Fuente: Imagen tomada por Roberto Rosales a través de vuelo con dron DJI Mini 2, 2021.

El afluente sigue su curso sobre calles empedradas en muy mal estado hasta llegar a un puente en el cual se observa en su parte inferior que desemboca agua de lluvia de la parte alta de los fraccionamientos, y así regresar a su cauce natural a una cañada (Figura 29), donde en temporada de lluvia se forma una cascada y el nivel del agua ha alcanzado hasta un metro de altura (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

Figura 29. Cañada ubicada en las coordenadas UTM 488,015 E y 1,855,369 N.



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

En la Figura 30 se puede ver la zona de la cascada que ha sido protegida con un canal de mampostería de piedra desde el punto más bajo de la cañada y hasta la calle San Juan.

En este punto de la cañada es una zona muy interesante de analizar, dada la acumulación de agua en temporada de lluvia que baja de la enorme zona rocosa. Por información de los vecinos de esa zona

algunas personas han sido arrastrados por la corriente antes de la construcción del canal, sin embargo, todavía en algunas ocasiones este canal tiende a desbordarse, lo que se califica aún como una zona de riesgo y vulnerabilidad para los habitantes que viven cercanos a este sitio.

Figura 30. Cañada.



Fuente: Imagen tomada por Roberto Rosales a través de vuelo con dron DJI Mini 2, 2021.

La Figura 31 muestra la forma curvilínea del canal que capta el agua de la cascada, siguiendo la figura de un meandro hacia la zona sur de este cauce.

Figura 31. Canal de mampostería de piedra al pie de la cañada.



Fuente: Imagen tomada por Roberto Rosales a través de vuelo con dron DJI Mini 2, 2021.

En el punto donde se conectan los afluentes Pistimbak y el Potinaspak, se reciben las aguas negras provenientes de las viviendas aledañas a sus márgenes, siguiendo su curso a cielo abierto.

En la Figura 32 se observa que ahora el arroyo pasa a través de una bóveda bajo el Libramiento Norte.

Figura 32. Bóveda bajo libramiento norte, Coordenada UTM 487,545 E, 1,854,343 N.



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

Se sigue presentando una reducción importante del área hidráulica en donde el arroyo fluye a través de un puente de 4.2 m de ancho y en el que hay un tubo de lámina corrugada con un diámetro 2.5 m (Figura 33).

Figura 33. Estructura de canal reducido por bóvedas de tubo de lámina corrugada de hasta 2.2 m de diámetro.



Fuente: ICIPLAM, 2020.

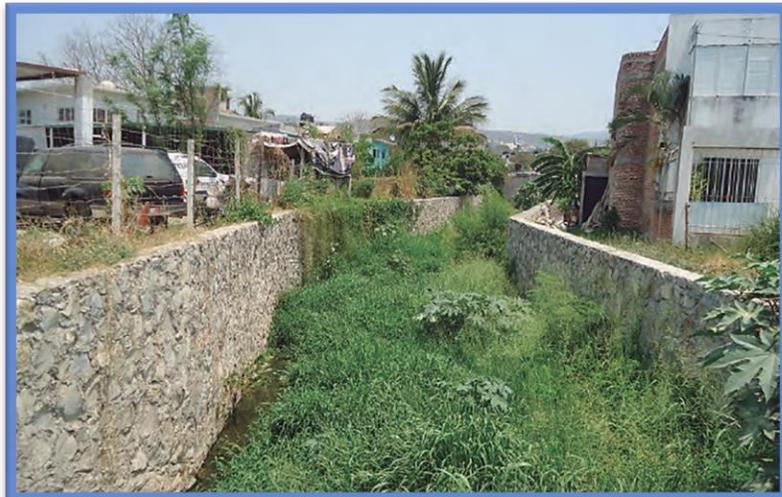
El cauce se reduce y se amplía considerando las dimensiones que las manzanas y viviendas dejan para el paso del afluente Potinaspak (Figura 34 y 35).

Figura 34. Paredes del afluente de mampostería, Coordenada UTM 487,323 E, 1,854,158 N.



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

Figura 35. Maleza sobre el afluente y viviendas colindantes, Coordenada UTM 487,279 E, 1,854,058 N.



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

El afluente comienza a ser encauzado por debajo de las viviendas cuando realiza su curso entre las manzanas, y es embovedado bajo las vialidades, contando con alcantarillas sobre la bóveda, que captan el agua (Figura 36), posteriormente el afluente desemboca en el río Sabinal (Figura 37).

Figura 36. El afluente hace su recorrido debajo de vivienda, Coordenada UTM 487,537 E, 1,853,597 N.



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

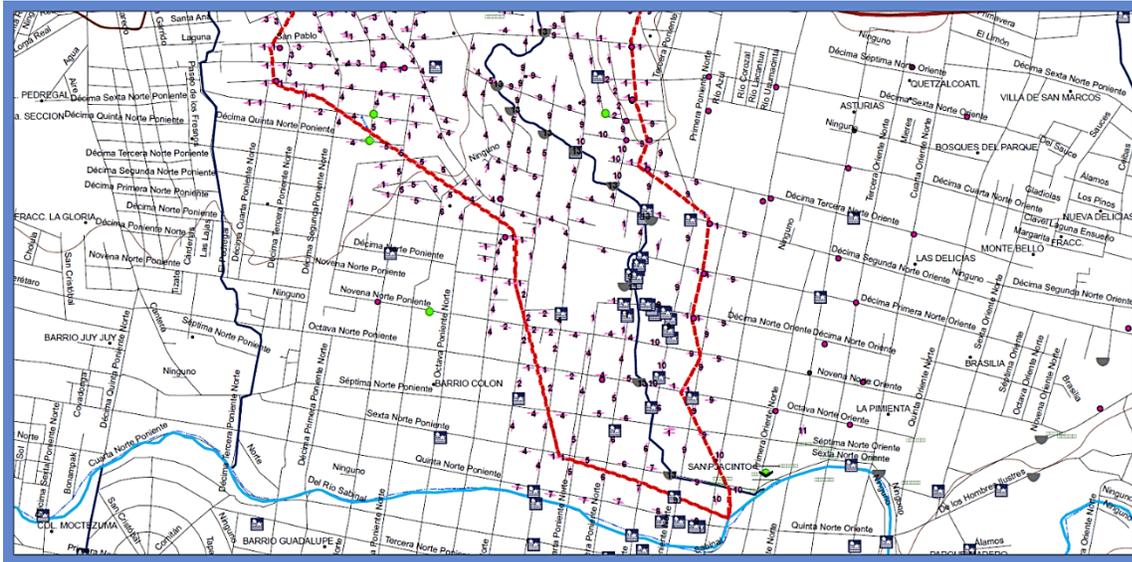
Figura 37. Salida de bóveda del afluente Potinaspak, Coordenada UTM 487,838 E, 1,852,873 N.



Fuente: Obtenida del Atlas de Riesgo de la Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015.

En la 6ª avenida norte entre 1ª y 2ª poniente, la estructura de concreto mide 4 m de ancho y 1.5 m de alto y el arroyo en este punto pasa debajo de las calles hasta desembocar al afluente principal del Río Sabinal en la 1ª oriente norte.

Figura 42. Direcciones de corriente y orden de los afluentes urbanos de la parte baja de la microcuenca.



Fuente: ICIPAM, 2020.

2. La Microcuenca Potinaspak Zona de Riesgo por Inundación

Las fuertes lluvias pueden causar inundaciones en las microcuencas, dejando daños materiales y pérdidas humanas, por lo que es necesario conocer la dinámica de las precipitaciones.

Las lluvias abarcan desde el mes de mayo hasta la segunda semana de octubre. Los meses más lluviosos son junio y septiembre. En los meses de septiembre y octubre se presentan lluvias mucho más abundantes que duran más de 24 horas debido a la temporada de huracanes tanto en las costas del Atlántico como del pacífico mexicano.

Ocurren lluvias de tipo convectivo conocidas como chubascos o aguaceros, estas comienzan y terminan bruscamente. También hay lluvias de tipo orográfico que se desencadenan en zonas montañosas y son generalmente fuertes chubascos.

2.1. Afectación por Lluvias Extremas

Las inundaciones en la microcuenca Potinaspak, se han presentado a lo largo de los años de forma frecuente, en 1996 se presentaron lluvias entre los 75 y 80 mm que provocaron el desbordamiento del río Poti, afectando a 80 personas y viviendas, en ese entonces resultaron inundadas más de 60 colonias por falta de drenaje pluvial. (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

En 1998 las lluvias torrenciales provocaron el desbordamiento de los arroyos Potinaspak y Totoposte, así como del río Sabinal y los niveles alcanzados fueron del orden de los 1.20 metros sobre el nivel de la calle; una persona perdió la vida y dos autos fueron arrastrados. (Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015).

En 2001 se desbordaron varios afluentes del Sabinal afectando nuevamente a la colonia Potinaspak, y en 2003 fue que a causa del huracán Larry se desbordó en varios tramos el río Sabinal provocando la inundación de 318.32 hectáreas de terrenos con casas habitación, servicios y comercios, provocando cuantiosas pérdidas materiales. (CONAGUA, 2003).

La tormenta tropical Larry provocó que afluentes del río Sabinal, como los arroyos San Agustín, La Chacona y Potinaspak se desbordaran durante el evento. Fueron ocasionados daños en viviendas por el azolve, la basura y la vegetación en los cauces (Figura 43). (CONAGUA, 2009).

Figura 43. Daños a viviendas por la tormenta tropical Larry.



Fuente: CONAGUA, 2009.

En los últimos años se han reportado daños en los arroyos San Roque, Potinaspak (Poti) y 24 de Junio de la subcuenca del Río Sabinal. (ICIAM, 2020).

Existen datos históricos que demuestran que la zona urbana de la subcuenca Potinaspak ha sido vulnerable ante los fenómenos hidrometeorológicos; en el año 2014 una casa habitacional construida sobre el arroyo Potinaspak (Figura 44), ubicada en la avenida 18 de noviembre y esquina con 12 de octubre, sufre un severo daño estructural por efecto de los escurrimientos y el arrastre, dejándola deteriorada completamente sin posibilidad de volverla a habitar.

Figura 44. Casa habitacional construida sobre el arroyo Potinaspak.



Fuente: Rodríguez J., Alcocer V. Albornoz P., Llaguno O. & Maldonado J., 2014.

En el año 2020 la gran mayoría de las calles en las colonias que conforman el polígono de la cuenca Potinaspak en la parte alta y media, se encuentran sin pavimentar y en un muy mal estado.

En época de lluvias se intensifican los daños por las intensas corrientes que bajan tanto del afluente principal del arroyo Potinaspak en la colonia el Carmen y la corriente que baja del arroyo San Juan Seminario (Figuras 45 y 46).

Figura 45. Calles secundarias en mal estado.



Fuente: Imagen tomada por Ana Bonilla, 2020.

Figura 46. Vialidad principal en mal estado.

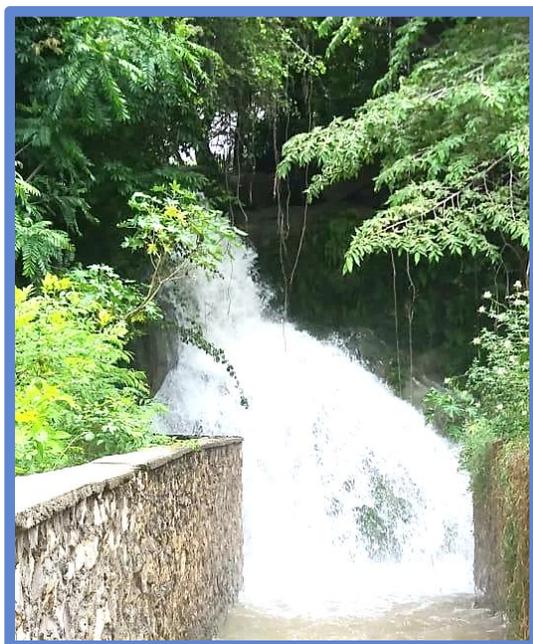


Fuente: Imagen tomada por Ana Bonilla, 2020.

La mayor parte de las colonias que conforman la microcuenca Potinaspak no tienen pavimentos adecuados que permitan infiltrar el agua de lluvia y que a su vez recarguen los mantos freáticos. Aunado a esto no se cuenta con un sistema integral de drenaje pluvial que desaloje el agua de manera controlada.

Aunque las corrientes en este arroyo son intermitentes, los factores antes mencionados han provocado que el tiempo de escurrimiento haya venido disminuyendo, lo que significa que una mayor cantidad de agua de lluvia llegue en menos tiempo a la parte baja, eleve el nivel rápidamente de los arroyos y provoque desbordamientos en época de lluvia. La cascada como lo llaman los pobladores es uno de los puntos analizados en este trabajo debido a la cantidad de agua que baja en ese canal (Figura 47).

Figura 47. La Cascada, ubicada en las coordenadas UTM 488,015 E y 1,855,369 N



Fuente: Imagen tomada por Nilve Velázquez, 2022.

El arroyo Potinaspak escurre por un canal de mampostería de piedra (Figura 48) a la altura de la avenida San Pedro con vista a la calle San Bartolomé, lugar en el que lo pobladores mencionan que hace algunos años habían tenido ocurrencias de inundaciones, dejando ver que los canales de mampostería han ayudado en alguna medida a prevenir estos sucesos, sin embargo, las inundaciones se siguen presentando en otras zonas.

Figura 48. Arroyo Potinaspak con canal de mampostería de piedra.



Fuente: Imagen tomada por Ana Bonilla, 2020.

La frecuencia con la que han ocurrido las inundaciones en la zona de estudio es de gran importancia, ya que se han presentado no solo daños materiales millonarios en años consecutivos, sino que también personas han sido arrastradas por el arroyo en las avenidas máximas, quedando heridas o fallecidas, situaciones desagradables que han tenido que afrontar los pobladores.

2.2. Grado de Riesgo por Inundación

El grado de riesgo del arroyo Potinaspak se presenta en mediana vulnerabilidad en la colonia Potinaspak, mientras que en las colonias Antenita y Niño de Atocha se presenta una alta vulnerabilidad. En estas 3 colonias existe un uso habitacional con una densidad de población de máximo de 200 habitantes por hectárea (H4). (SMAYV, 2009).

La subcuenca hidrográfica urbana Potinaspak es una zona de riesgo por inundación (Tabla 8), en la cual se identifican cuatro zonas que afectan a 7 colonias, 1,442 viviendas que presentan vulnerabilidad física expuesta, 4,621 habitantes que presentan vulnerabilidad social expuesta.

El crecimiento desordenado de la mancha urbana de Tuxtla Gutiérrez ha incrementado los coeficientes de escurrimiento por una disminución en la retención del agua precipitada y sobre todo disminuye los tiempos de concentración de las avenidas que circulan con una mayor velocidad (CONAGUA, 2003, p 25).

El arroyo Potinaspak presenta modificaciones significativas en su área hidráulica y muchas de las viviendas de reciente construcción están situadas específicamente en el cauce de dicho arroyo.

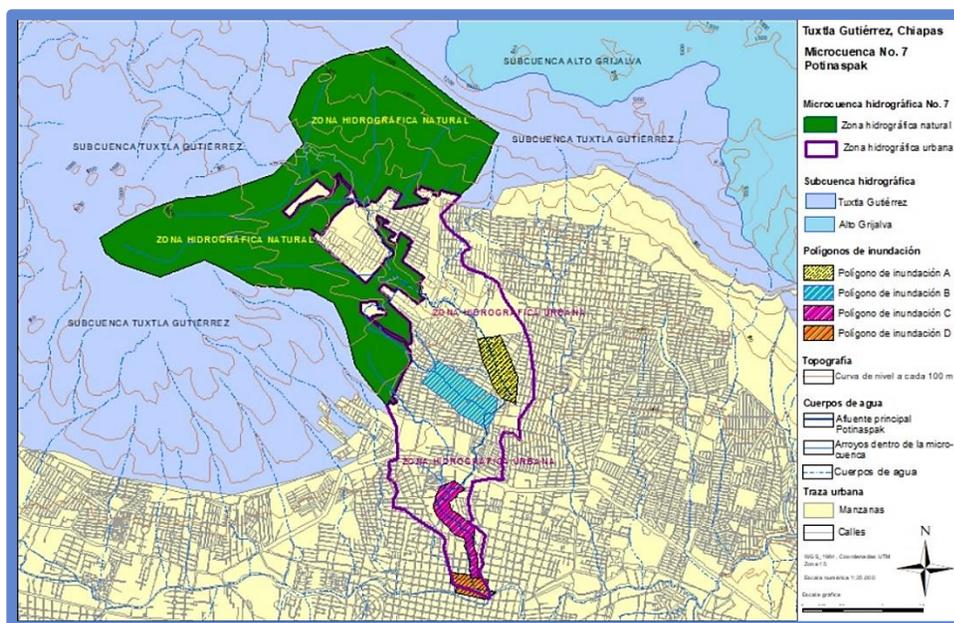
Tabla 7. Zonas de riesgo por inundación, colonias, viviendas y personas afectadas en la MCHU

Zona de riesgo por inundación	Superficie (m ²)	Colonias afectadas	Viviendas afectadas	Personas afectadas
1	1'445,545.99	Colón, Guadalupe y Santo Domingo	590	1,661
2	360,363.31	Potinaspak y Linda Vista Shanká	480	1,745
3	242,002.11	Linda Vista Shanká y Colonia 42	372	1,215
4	240,508.37	Colón y Niño de Atocha	N/D	N/D

Fuente: Tomado de ICIPAM, 2020.

En el estudio que hace ICIPAM lo denomina microcuenca Potinaspak No. 7, en el cual detecta 4 polígonos de inundación A, B, C, D (Figura 49) en la parte media y baja. El polígono A se encuentra en la franja que conecta el afluente principal del arroyo Potinaspak y hacia la cascada, el polígono B recorre del arroyo Pistimbak al arroyo Potinaspak, intensificándose la posibilidad de inundación en la intersección de estos dos polígonos en tiempo de lluvias. En la parte baja de la microcuenca están los polígonos C y D que conectan y vierten sus aguas de lluvia al río Sabinal, incrementando las posibilidades de inundación. (ICIPAM, 2020).

Figura 49. Polígonos de inundación.



Fuente: Elaboración propia a partir de capas de ICIPAM, 2020 e INEGI 2015.

Apartado II. Propuestas de intervención

3. Diseño de Tres Propuestas de Parques Inundables

Para la recuperación hidrológica y forestal de la microcuenca Potinaspak, se proponen 3 parques ecológicos, ubicados en la parte norte poniente de Tuxtla Gutiérrez, mismos que incluyen infraestructuras verdes.

Los elementos de infraestructura verde que intervienen en estas propuestas ecológicas son los siguientes:

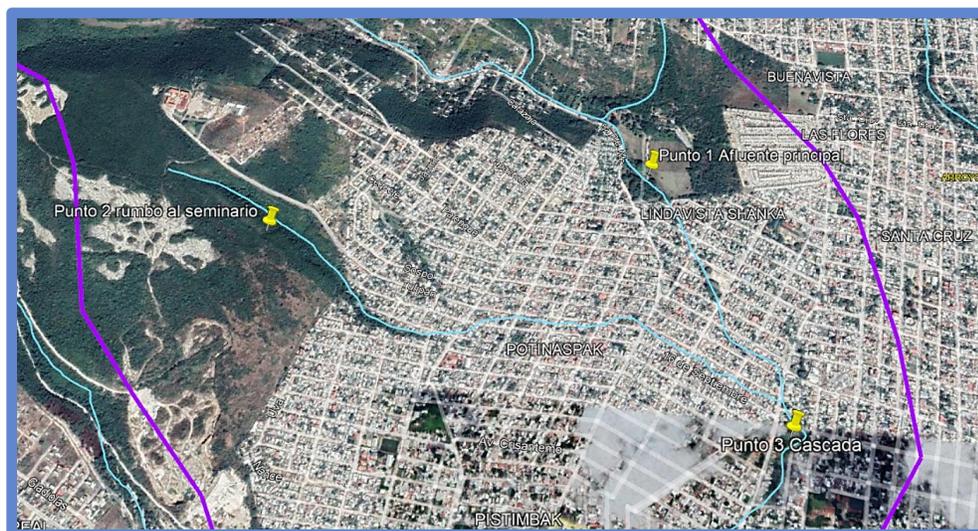
- la conexión espacial mediante la creación de corredores peatonales y ciclistas;
- refugio de flora y fauna locales;
- áreas verdes como un factor del paisaje;
- mejoramiento de la imagen urbana;
- disminución del efecto de la isla de calor;
- espacios de recreación en los cuales se captarán aguas de lluvias para su reutilización;
- áreas de juegos y deportivas;
- espacios para los comercios locales.

Todos estos elementos integrados aportan beneficios ambientales, sociales y económicos.

Es importante aclarar que en este proyecto no se cuantifican los servicios ecosistémicos que podrían ofrecer los parques ecológicos, por ser un tema mucho más amplio motivo de otro estudio.

Originalmente se analizaron 8 puntos en la zona, de los cuales fueron elegidos 3 sitios estratégicos para una intervención (Figura 50), ya que cuentan con áreas verdes que se deben conservar, además de que son zonas en las que se tienen fuertes escurrimientos en tiempo de lluvias.

Figura 50. Propuesta de los 3 sitios de intervención.



Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth pro, 2021.

En este estudio se propone un sistema de captación de aguas de lluvia, mediante parques inundables aplicando un diseño de sistema de drenaje sostenible, como parte de la metodología de infraestructura verde.

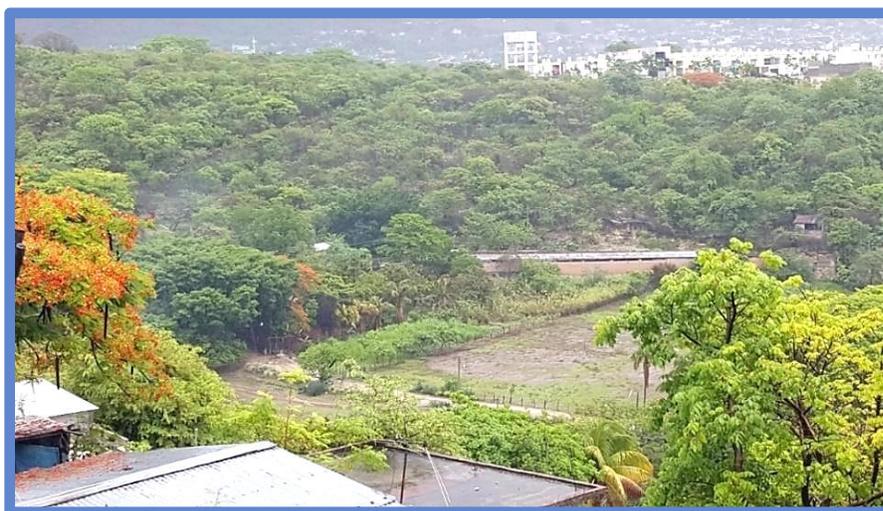
Los 3 parques inundables tienen un diseño arquitectónico y cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua de lluvia, además de considerar las pendientes y los materiales que se ocuparán.

3.1. Parque El Carmen

Esta área se encuentra ubicada en las coordenadas 487,675 m E 1,856,130 m N, es un terreno sin construcciones situado en la colonia El Carmen que tiene salida del agua de lluvia en la calle 12 de Octubre, entre las calles 1º de Enero y 12 de Diciembre. Se hace una propuesta de intervención como un parque inundable como laguna de captación de agua de lluvia.

Este predio tiene su acceso en la calle 5ª poniente norte, se estima que tiene un área aproximada de 18 ha y un perímetro de 1,472 m (Figura 51).

Figura 51. Vista hacia la propuesta del parque El Carmen.

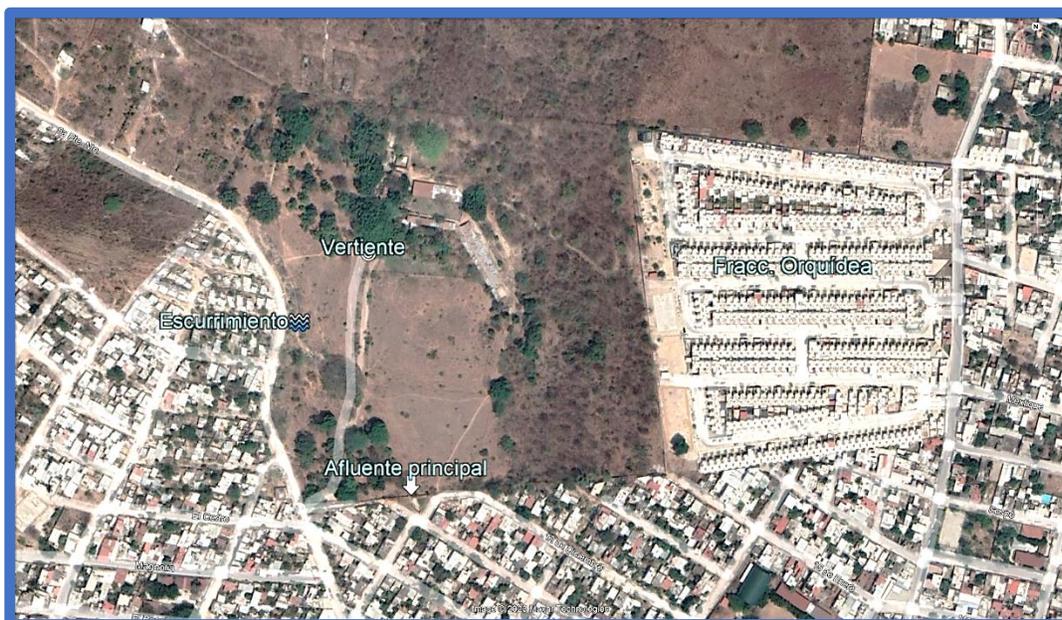


Fuente: Imagen tomada por Ana Bonilla, 2020.

Se cuenta con una vista hacia la colonia El Carmen, específicamente hacia la zona de inundación inducida propuesta (Figura 52), es posible ver en la parte superior derecha el fraccionamiento Orquídeas, en el cual se puede apreciar que no existen áreas verdes que permitan mayor infiltración de agua de lluvia, dejando que el agua escurra por las calles aguas abajo.

Este sitio es considerado uno de los más importante, ya que en este punto se conectan los escurrimientos de agua de lluvia que se reciben de San Fernando y la reserva el Cañón del Sumidero, por lo que en temporada de lluvia no se logra contener o infiltrar el agua, dejando que fluya por las colonias que se encuentran en los márgenes del arroyo aguas abajo provocando serias inundaciones. Además de contar con una vertiente de agua que se encuentra en una zona privada, esta fuente es importante para la población ya que se les permite el acceso.

Figura 52. Vista del área propuesta como zona de inundación inducida.



Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth pro, 2020.

El afluente principal del arroyo Potinaspak en tiempo de lluvias (Figuras 53 y 54) se forma donde convergen los escurrimientos de la parte alta de la microcuenca y es justamente ahí donde se propone la zona de inundación inducida como parte de un parque ecológico.

Figura 53. Zona propuesta como parque inundable.



Fuente: ICIPLAM, 2020.

Figura 54. Afluente principal del Arroyo Potinaspak en tiempo de lluvias.



Fuente: ICIPLAM, 2020.

En la zona existe amplia vegetación y arbolado; cuenta con servicio eléctrico, aunque se carecen de luminarias públicas alrededor; falta pavimentación, no impidiendo el acceso de los vehículos.

La presencia de un cuerpo de agua limpia cercano al sitio, en el cual las personas acuden a bañarse, cuando este pozo se desborda, sigue su recorrido por la zona que se propone como parque inundable.

Según la Carta Urbana de Tuxtla Gutiérrez, el polígono total del parque ecológico es en su mayor parte suelo de uso habitacional y propuesto para crecimiento urbano. Es importante, como aquí se propone, implementar el parque inundable, por la cantidad de agua de lluvia que se recolecta en esa zona.

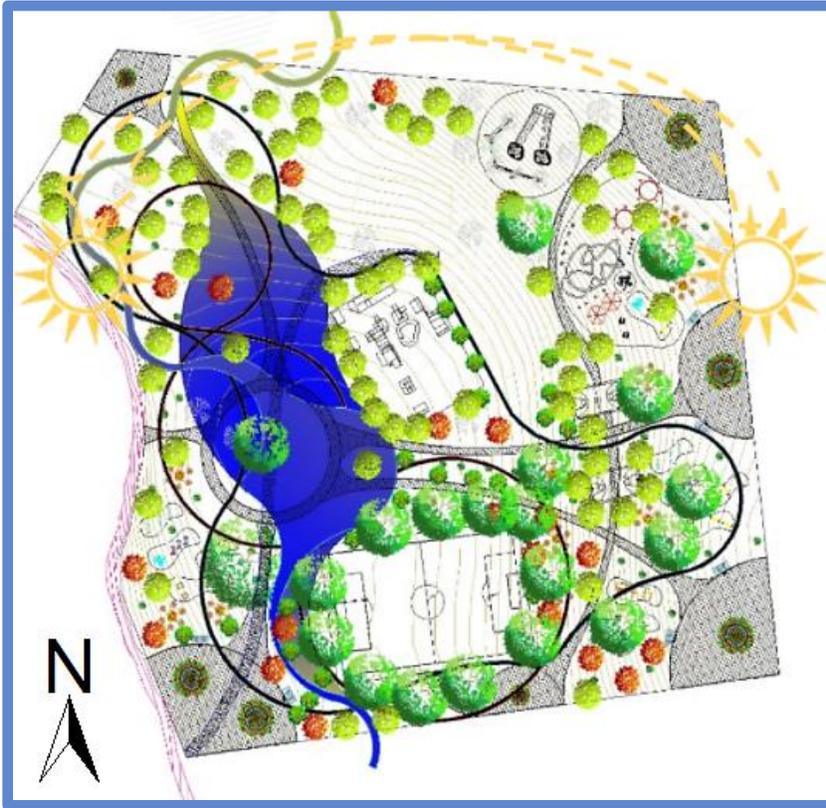
El diseño arquitectónico en planta muestra como estará interconectada la ciudad con el parque inundable a través de los corredores, áreas arboladas, juegos y demás equipamientos (Figuras 55 y 56).

Los servicios básicos con los que cuenta la zona son el agua y el drenaje, energía eléctrica, cuenta con una única vialidad y un acceso por el fraccionamiento Orquídeas, el cual rodea parte de él para poder acceder al proyecto del parque inundable.

La propuesta del parque inundable da una disolución a los límites entre lo urbano y lo natural. Así también integrando a la comunidad y reforzando las actividades precedentes y actuales que se dan en él e introduciendo nuevas relaciones con distintos espacios recreativos.

Pero también integrando la naturaleza como la base para desarrollar una intervención de bajo impacto en un área de riesgo hídrico. Considerando conservar los árboles existentes y reforestar especies nativas en áreas que han sido degradadas o no tienen vegetación.

Figura 55. Propuesta arquitectónica del Parque El Carmen (afluente principal Potinaspak).



Fuente: López E., 2022.

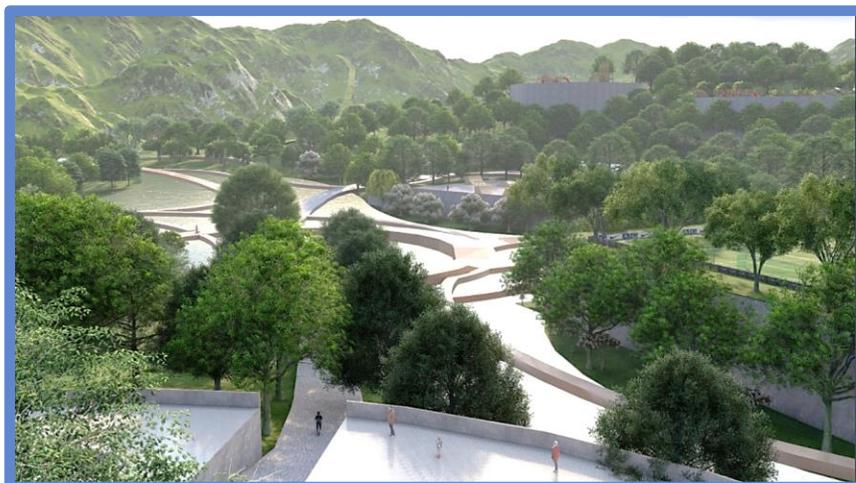
Figura 56. Vista en planta del proyecto.



Fuente: López E., 2022

Promoviendo además la conservación del hábitat natural y el fomento del desarrollo de actividades culturales, recreativas y de esparcimiento (Figura 57).

Figura 57. Vista panorámica del parque El Carmen.



Fuente: López E., 2022.

El concepto del proyecto son las conexiones y el paisajismo, ya que se conecta a la naturaleza y a la avenida principal de la subcuenca Potinaspak, dando acceso a la ciudad, intentando resolver la integración con distintas áreas actualmente propuestas.

Los miradores están constituidos por jardines, andadores y distintos equipamientos que se irán proponiendo mediante el paso de los años y el uso del establecimiento.

Los elementos que se contemplan en este proyecto son: área de juegos infantiles, parque de skateboard, canchas múltiples, cancha de fútbol 11, espacios de convivencia familiar, andadores peatonales, andadores para corredores y ciclistas, y baños. (Figuras 58 a 63).

Figura 58. Parque de skateboard.



Fuente: López E., 2022

Figura 59. Canchas mixtas.



Fuente: López E., 2022

Figura 60. Cancha de fútbol 11.



Fuente: López E., 2022

Figura 61. Espacios de convivencia.



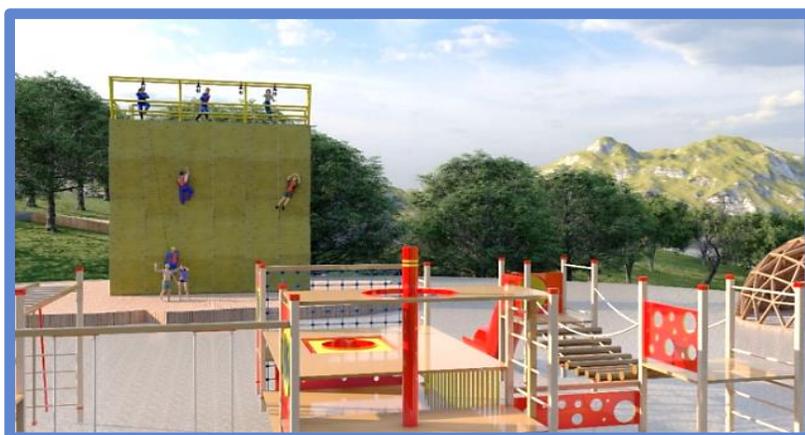
Fuente: López E., 2022

Figura 62. Espacio para juegos infantiles.



Fuente: López E., 2022

Figura 63. Espacio para juegos para jóvenes y adultos.



Fuente: López E., 2022

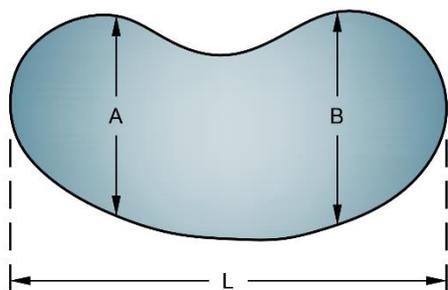
Los materiales que se contemplan son estructura de madera para andadores tanto peatonal como corredores y ciclistas, muro Keystone, concreto y bancas de concreto y madera.

3.1.1. Capacidad de Retención de Agua de Lluvia

El volumen de agua de lluvia se calculó multiplicando el área por la altura propuesta para el estanque y el resultado por 1000 para obtenerlo en litros.

Dado que la laguna de captación es una figura irregular se podrá utilizar la siguiente fórmula para calcular el área y volumen de un estanque (Figura 64) u obtener directamente en Arc-GIS o Autocad, donde P es la altura del estanque o laguna.

Figura 64. Cálculo del volumen de un estanque.



$$\text{Área} = (A + B) * L * 0.45$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * P * 1000$$

Fuente: Elaboración propia recuperado de <http://www.estanquesypeces.com/>.

Donde el Área propuesta es:

$$\text{Área} = 15,658.94 \text{ m}^2 \text{ y } P = 2 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 15,658.94 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} \times 1000 = 31,317,880 \text{ litros}$$

Por lo tanto, la capacidad de retención de la laguna es de 31,317,880 litros y el destino final del agua almacenada en el estanque será para el beneficio del mismo parque inundable, para su mantenimiento, además de que podrán beneficiarse las colonias aledañas de la zona, ya que en época de lluvias el parque podrá exceder su capacidad.

3.2. Parque San Juan Seminario

El proyecto de intervención parque San Juan Seminario, está situado en la 2ª norte poniente en la colonia 12 de Noviembre, en las coordenadas 486,650 m E y 1,855,914 m N. El tipo de suelo es rendzina y con tipos de rocas areniscas.

Los servicios básicos cercanos a la zona son el agua potable, energía eléctrica y servicio de drenaje, y en cuanto a vialidades cuenta como única vialidad la calle Tulipán para poder acceder al proyecto.

En la zona podemos encontrar las siguientes características según la Carta Urbana 2015, los vientos son dominantes del norponiente, se tienen áreas pobladas cerca del escurrimiento, el uso de suelo es para conservación y reserva natural ecológica.

El escurrimiento ubicado a un costado de la calle Tulipán en el cual se pretende la intervención de drenaje sostenible a través de los miradores (Figura 65).

El parque está contemplado como un conjunto de elementos tipo cisterna interconectadas entre sí, que además de servir para almacenar el agua de lluvia funcione como miradores y esparcimiento de los paseantes.

Figura 65. Propuesta de intervención 2. Arroyo San Juan Seminario.



Fuente: Girón M., 2022.

Los 5 miradores y el dique del proyecto son los siguientes:

Mirador principal (1): está constituido por un estacionamiento, locales comerciales, área de juegos infantiles, área de patinaje en tabla, jardines coloridos y andadores con o sin pergolados.

Mirador común (2): constituido por jardines, andadores con o sin pergolado y bancas de descanso.

Mirador secundario (3): cuenta con un teatro al aire libre, área de vestidores, área de juegos infantiles, comedores exteriores, dos restaurantes, jardines y andadores con o sin pergolado.

Mirador terciario (4): cuenta con locales comerciales, comedores, jardines y andadores para la venta de alimentos y botanas.

Mirador con baños (5): este mirador contiene baños de damas y de caballeros retirados de cada mirador estratégicamente.

Dique (6): Es el último tanque de almacenamiento de aguas pluviales.

Este proyecto está concebido principalmente para almacenar, retener y distribuir el agua de lluvia para aprovechamiento en viviendas o para riego de viveros, además de prevenir inundaciones en la parte baja de la microcuenca Potinaspak, así también está concebida para funcionar como miradores y áreas recreativas en la parte superior (Figura 66).

En este proyecto los tanques de almacenamiento de agua de lluvia se encuentran debajo de cada mirador. El concepto del proyecto arquitectónico es el de gotas de agua que descienden de la pendiente del terreno, dándole su forma característica al proyecto de círculos conectados con líneas curvas asimilando el descenso de las gotas de agua sobre la pendiente del terreno.

Figura 66. Vista desde la parte más alta del arroyo San Juan Seminario hacia la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.



Fuente: Girón M., 2022.

Los materiales contemplados son:

- ladrillo en pisos, techos de paja con la finalidad de retomar el contexto natural de Chiapas;
- muros de adobe en los edificios y repello de cal y cemento;
- estructura de madera para las cubiertas en los edificios y pergolados de madera;
- muro gavión con repello e impermeabilizados por dentro para los miradores para la buena contención del agua de lluvia almacenada;
- cubierta de poli-plástico en los pergolados para cubrir del sol y la lluvia;
- bancas de concreto y madera.

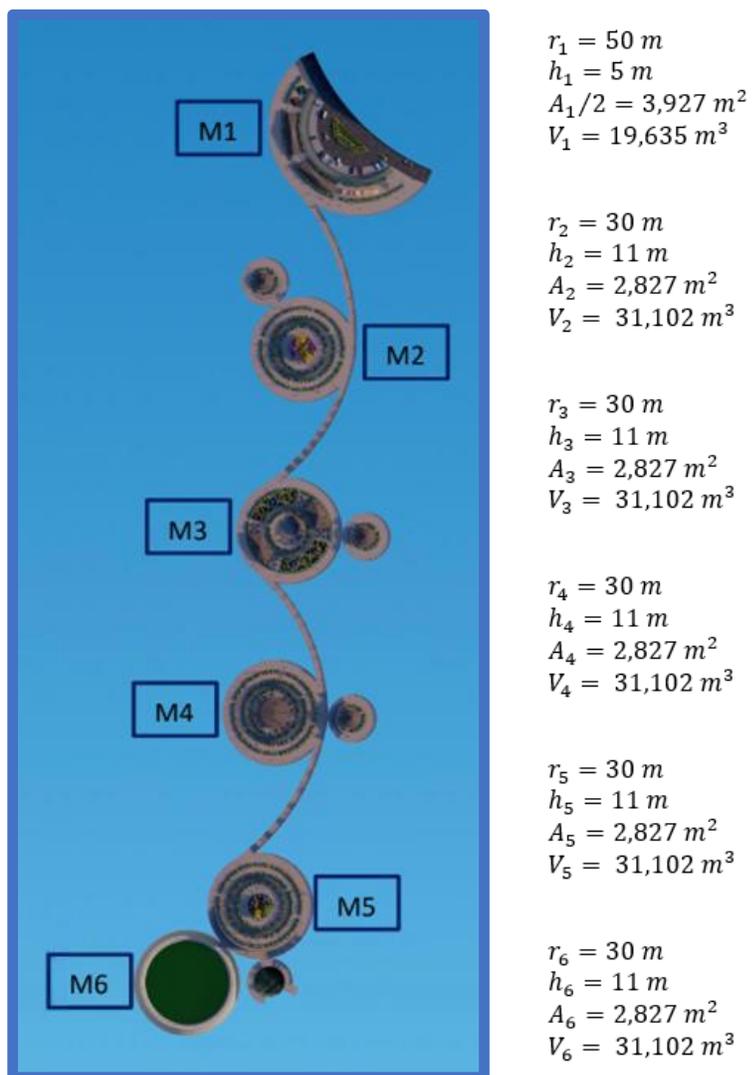
3.2.1. Capacidad de Retención de Agua de Lluvia

El volumen de agua de lluvia que se captará en los 6 cilindros que conforman este proyecto (Figura 67) se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$Volumen = \pi r^2 h$$

Para obtener la capacidad de retención en los tanques de agua se considera: una altura de 5 metros en el mirador principal en la parte alta, 11 metros en los miradores intermedios 2, 3, 4, 5 y el dique, haciendo los cálculos respectivos del volumen tenemos los siguientes datos:

Figura 67. Tanques de los miradores.



Fuente: Girón M., 2022.

Volumen total de agua = 175,145,000 litros

Cabe señalar que una vez sea llenado el dique en la parte más baja del proyecto con capacidad 31,102,000 litros, los residuales irán llenando los tanques superiores debido a las válvulas de regulación.

Las esclusas funcionan como elevadores de agua, se colocarán en cada conexión debajo de cada mirador con la finalidad de contener y manipular el agua retenida en cada tanque.

Se recomienda que la cimentación sea analizada por un especialista y que se utilicen rampas para que las personas con capacidades diferentes puedan trasladarse fácilmente.

El destino final del agua almacenada será para el beneficio de las colonias aledañas a la propuesta, principalmente la colonia Albores Guillén, donde la propuesta estará conectada a tanques de almacenamiento instalada en la zona más alta de cada colonia beneficiaria, esto permitirá que el sistema de distribución de agua llegue a todas las casas de cada colonia dándole diferentes usos.

3.3. Parque La Cascada

La tercera propuesta de intervención es el que denominamos Parque La Cascada que está ubicada en la colonia 12 de Noviembre en la calle Cascada entre Flor de Mayo y San Juan (Figura 68), en las coordenadas 487,990 m E y 1,855,341 m N.

El sitio está rodeado de amplia vegetación y arbolado, con un escurrimiento de agua que da lugar a la cascada en tiempo de lluvia, también se encuentra alrededor de viviendas de interés medio y pequeños locales comerciales en su mayoría de abarrotes, así como un jardín de niños ubicado en la calle vecina.

La geometría parte de las matemáticas que estudia la extensión, la forma de medirla, las relaciones entre puntos, líneas, ángulos, planos y figuras, y la manera cómo se miden.

La infraestructura cerca de la zona son calles pavimentadas y de terracería, electricidad, luminaria pública, banquetas, servicio de agua y drenaje.

Figura 68. Vista en planta del parque La cascada.



Fuente: Velazco, L., 2022.

El origen del parque nace como una estrategia de este estudio para proponer espacios de recreación con doble funcionalidad, ya que permitirá que los habitantes se integren más mediante un parque, además de generar un espacio para captar agua de lluvia previniendo inundaciones en las partes bajas de la ciudad.

Este proyecto cuenta con andadores, una cancha de usos múltiples donde se podrá jugar basquetbol, fútbol y realizar reuniones de barrio, área de ejercicio y ciclovía, así como dos locales comerciales para aumentar la economía local y favorecer la convivencia (Figuras de la 69 a la 72).

Figura 69. Vista de los andadores.



Fuente: Velazco, L., 2022.

Figura 70. Cancha de usos múltiples.



Fuente: Velazco, L., 2022.

Figura 71. Área de ejercicio y ciclovía.



Fuente: Velazco, L., 2022.

Figura 72. Local comercial.



Fuente: Velazco, L., 2022.

La cimentación debe ser analizada por un especialista. Usar materiales resistentes al agua debido a que tendrá contacto constante con esta. Pisos de adoquín y concreto. Rampas para incluir a las personas con capacidades diferentes.

3.3.1. Capacidad de Retención de Agua de Lluvia

El área total inundable del parque La Cascada es de 2,141 m² y la profundidad propuesta de la laguna de captación es de 2 metros, por lo que la capacidad de retención del parque es de 4,282,000 litros

3.4. Ubicación de los 3 Parques Inundables en la Carta Urbana de Tuxtla Gutiérrez 2015-2040

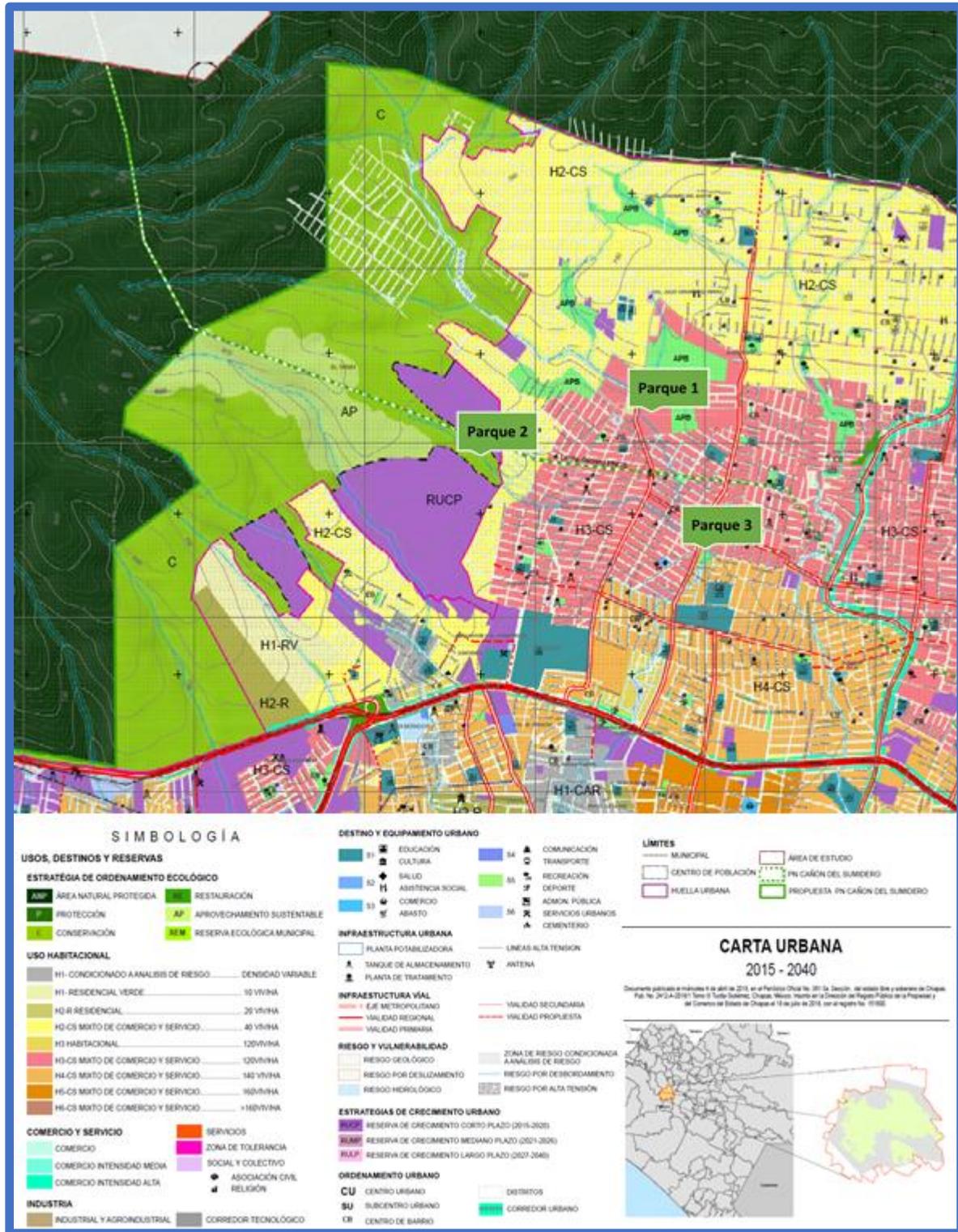
Analizando la carta urbana de Tuxtla Gutiérrez 2015-2040 (Figura 73), observamos que el parque inundable El Carmen (1) propuesto en este estudio, se encuentra ubicado en un uso de suelo habitacional 120 viviendas/ha (H3), mixto de comercio y servicio (CS), y junto a esta área al norte se encuentra un área propuesta para Bioparque (APB).

El parque inundable San Juan Seminario (2) propuesto, se encuentra en una zona de conservación en la carta urbana, pero su implementación es viable siempre y cuando se respeten las áreas provistas de arbolado.

El parque inundable La Cascada (3), está señalado como área verde en la carta urbana. En buen acuerdo con los vecinos se puede aprovechar muy bien el predio para la recreación de éstos y la contribución al control de avenidas en época de lluvias.

Las propuestas de los parques 1 y 3 son compatibles con los usos de suelo considerados en la carta urbana, la propuesta 2 está en una zona federal para conservación, pero es viable de aprovecharse respetando la zona verde.

Figura 73. Parques inundables propuestos y ubicados en la Carta urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2015-2040.



Fuente: Gobierno del Estado de Chiapas y H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 2015.

3.5. Propuesta de Arbolado en los Parques Ecológicos

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que los espacios verdes urbanos son imprescindibles por los beneficios que aportan en el bienestar físico y emocional. De ahí que nace la idea de proponer una zona completamente verde y con árboles de la región.

En virtud de lo anterior, en este estudio se consideran las zonas verdes como elementos clave para mantener una buena calidad de vida de las personas que viven cerca a estas zonas, así como quienes las visitan. A fin de favorecer la integración familiar manteniendo el contacto con la naturaleza, respirar aire más limpio, lo que conlleva a una disminución de los niveles de estrés. Además, de que la naturaleza nos permite reflexionar, sentirnos libres y relajarnos.

Se proponen conservar la vegetación que existe y fortalecerla plantando árboles de la región, dar riego según lo requieran y brindar constante mantenimiento a los jardines.

Los árboles que se planean para reforestar son primavera, flor de mayo, cuchunuc, tulipán de la india y brasil.

La Flor de Mayo, Cacaloxóchitl, Flor del Cuervo o Sak-Nikté es una flor preciosa que los Mayas le llamaron Sak-Nikté y los nahuas Cacaloxóchitl, la belleza y propiedades de esta flor siguen siendo reconocidas a la fecha (Figura 74). (MXCity, 2019).

Figura 74. Árbol de Flor de Mayo.



Fuente: MXCity, 2019.

El árbol de primavera es una especie que florece en un periodo de tres meses (enero-marzo), siendo febrero el mes con mayor floración, que corresponden a los meses con menor precipitación, como puede verse en la foto adornando la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Figura 75). (Diario de Chiapas, 2023).

El árbol de Cuchunuc es característico de la selva baja caducifolia y muy popular en Tuxtla Gutiérrez. Cuchunuc viene de la lengua zoque que significa guajolote y las cocineras zoques salen cada año en busca de la flor preciada como el ingrediente principal de sus platillos considerados como una comida exótica. Florece en color blanca y rosa en los meses de abril a junio y llega a medir hasta 15 m de altura (Figura 76). (Primer Plano Magazine, 2022).

Figura 75. Árbol de Primavera



Fuente: Chiapas paralelo, 2020.

Figura 76. Árbol de Cuchunuc



Fuente: Primer Plano Magazine, 2022.

4. Captación Pluvial en 7 Colonias de la Microcuenca Potinaspak

En este apartado se calculará la máxima captación de lluvia en 7 colonias seleccionadas de la microcuenca Potinaspak, utilizando una calculadora de recolección de agua de lluvia (Figura 77), como una herramienta muy útil con la cual es posible determinar de forma general la cantidad máxima de agua que puede ser recolectada.

Figura 77. Máxima captación de lluvia

Captación total de lluvia posible (m³/año) = Precipitación (mm/año) · Área de la Zona de Captación (m²)

Precipitación (mm/año)*:

1841

Área de la Zona de Captación (m²)*:

4320

CALCULAR

REINICIAR

Captación total de lluvia posible (m³/año):

7953.120

Litros (l/año):

7953120.000

Galones americanos (gal/año):

2100975.710

Precipitación Promedio Anual

Zona Climática	Tasa de Precipitación
Zona desértica	0-100 mm
Zona semi-desértica	100-250 mm
Zona árida	250-500 mm
Zona semi-árida	500-750 mm
Zona semi-húmeda	900-1500 mm
Húmeda - tropical	> 2000 mm

Fuente: Lasprilla C., et al, Tomado de <https://www.ruvival.de/es/calculadora-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>.

4.1. Máxima Captación de Lluvia

Para realizar el cálculo de captación de agua de lluvia por zona, basta con introducir el dato de precipitación en mm/año tomado de los datos históricos del tiempo en Tuxtla Gutiérrez (Tabla 8), en mm/mes o en mm/24 horas, si así se requieren para los fines del estudio. La suma de las precipitaciones de los 12 meses del año nos da un valor de 1,841 mm/año. Se introduce este dato y el área aproximada de la zona de captación en m², en seguida nos arrojará los valores de la máxima captación de lluvia en l/año. La calculadora realiza una multiplicación directa de la precipitación y el área de la zona de captación.

Es importante considerar las pérdidas al recolectar o almacenar la lluvia, como son la evaporación y las fugas, además de las variaciones que pueden resultar de las condiciones climáticas específicas de la zona. Esta calculadora no considera estos elementos.

Tabla 8. Datos históricos del tiempo en Tuxtla Gutiérrez.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	19.4	21.1	22.7	24.5	24.5	22.8	22.7	22.6	22.1	21.4	20.2	19.8
Temperatura mínima (°C)	15.3	16.3	17.6	19.3	20.3	19.6	19.2	19.4	19.3	18.6	16.9	16.0
Temperatura máxima (°C)	25.1	27.5	29.5	31.2	30.0	27.4	27.5	27.2	26.2	25.6	25.1	25.2
Precipitación (mm)	11	9	14	38	160	381	300	300	354	178	49	17
Humedad (%)	73	66	60	58	68	82	83	83	87	84	79	76
Días lluviosos (días)	2	2	3	6	15	20	19	19	20	14	5	2
Horas de sol (horas)	7.5	8.4	9.4	10.1	9.4	8.5	8.7	8.3	7.1	6.5	7.0	7.3

Fuente: Tomado de <https://es.climate-data.org>.

Horas de sol (1999-2019). Todos los demás datos (1991 – 2021).

4.1.1. Captación Pluvial Estimada

Para obtener la máxima captación de agua de lluvia se tomaron las medidas promedio de las viviendas y el Inventario Nacional de Vivienda INEGI 2010 y 2015 de las zonas analizadas, en seguida introducimos los datos del área total de la zona y obtenemos los valores directamente en la calculadora antes mencionada.

Se consideró importante calcular la máxima captación de agua de lluvia en l/año introduciendo el valor de 1,841 mm/año, en l/mes específicamente en el mes de junio con un valor de 381 mm, siendo el mes que tuvo una mayor precipitación en todo el año (tabla 8), en l/24 horas tomando el valor de 141 mm como precipitación máxima histórica (ICIAM, 2020).

Los resultados de las máximas captaciones de agua de lluvia en estas colonias se muestran en la Tabla 9, apreciándose que el total de agua de lluvia que se podrían captar en estas 7 colonias es de 1,182,807,521 l/año, 244,785,261 l/mes de junio o 90,589,821 l/24 horas, de no existir pérdidas.

En la Figura 78 se presenta la gráfica porcentual de la captación de lluvia en las 7 colonias con los siguientes datos: Lindavista Shanká 35%, Potinaspak 22%, Pedregal San Antonio 13%, La Condesa 13%, 12 de Noviembre 9%, Albores Guillén 7% y Orquídeas 1%.

Esto nos indica que la colonia Albores Guillén con 7% y el fraccionamiento Orquídeas con 1% tienen menos posibilidades de captación debido al área estimada, observándose que las colonias Lindavista Shanká con 35% y Potinaspak 22% son las dos colonias con mayor captación pluvial.

Tabla 9. Máxima captación de agua de lluvia.

No.	Área total de captación de agua de lluvia			Calculadora de Recolección de Agua de Lluvia			
	Colonia o Fraccionamiento	No. de viviendas particulares	Área por vivienda (m ²)	Área total (m ²)	*Máxima captación de agua de lluvia l/año	**Máxima captación de agua de lluvia l/mes de junio	***Máxima captación de agua de lluvia l/24 horas
1	Lindavista Shanká	1,915	117	224,055	412,485,255	85,364,955	31,591,755
2	Potinaspak	1,400	100	140,000	257,740,000	53,340,000	19,740,000
3	Pedregal San Antonio	558	152	84,816	156,146,256	32,314,896	11,959,056
4	La Condesa	846	100	84,600	155,748,600	32,232,600	11,928,600
5	12 de Noviembre	322	185	59,570	109,668,370	22,696,170	8,399,370
6	Albores Guillén	282	160	45,120	83,065,920	17,190,720	6,361,920
7	Orquídeas	72	60	4,320	7,953,120	1,645,920	609,120
Total		5,395	874	642,481	1,182,807,521	244,785,261	90,589,821

* Datos históricos del tiempo en Tuxtla Gutiérrez 1,841 mm/año (Tabla 8).

** Datos históricos del tiempo en Tuxtla Gutiérrez 381 mm/mes de junio (Tabla 8).

*** Precipitación máxima histórica 141 mm en 24 horas (ICIPLAM, 2020).

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2010 y 2015 y la calculadora de recolección de agua de lluvia.

Figura 78. Gráfica porcentual de captación de lluvia.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Tabla 9.

Como se sabe existen ciertos factores como la infiltración, el escurrimiento y la evaporación, que hace que la mayor parte de esta cantidad de agua de lluvia que podría ser captada escurra por las calles, lo que nos hace reflexionar sobre las grandes cantidades de agua de lluvia que podrían ser reutilizadas como una estrategia de desarrollo sostenible.

Ahora bien, si se considera una cisterna de 3,000 litros en cada una de las 5,395 viviendas de nuestro estudio (Tabla 9), el total de agua de lluvia que se captaría en realidad es de 16,185,000 litros. Esta cantidad no es despreciable, ya que no solo se puede retener agua de lluvia, sino que se podría disminuir el embate de las lluvias extremas y lograr que estas sean menos peligrosas.

Apartado III. Cálculos Hidrológicos

5. Número de Curva Ponderado

El método de curvas numéricas del Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN) de los Estados Unidos se utiliza para predecir el escurrimiento superficial (ES), siendo una herramienta sencilla que se calcula con datos mínimos de hidrología de un suelo.

Antes de iniciar con los cálculos del CN es importante partir del concepto de hidrología entendida como “una ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente y los seres vivos” (Dal Ré, 2003).

Partiendo de este concepto es importante comprender cuales son aquellas características geomorfológicas de la microcuenca que son necesarias calcular para entender su comportamiento, como la pendiente media, la forma que nos permite determinar el índice de compacidad, el tiempo de concentración y la densidad de drenaje.

Además de los cálculos anteriores se utilizó un modelo de elevación digital en formato ráster para la delimitación de la microcuenca Potinaspak mediante la herramienta ArcGIS y se obtuvo un área de 31.06 km², también se utilizó la carta de uso de suelo y vegetación de la serie VII del INEGI 2015, cuyas coberturas sirvieron para calcular el CN y el valor de escorrentía directa tomando las precipitaciones máximas históricas.

5.1. Características Geomorfológicas de la Microcuenca

Tanto el tiempo de concentración y el total de la escorrentía superficial producida por una precipitación están en función de la pendiente de la cuenca. Se entiende pues que cuanto mayor sea la pendiente de la microcuenca, menos tiempo tardará la escorrentía en desplazarse a lo largo de la red de drenaje y antes alcanzará la salida de esta.

5.1.1. Pendiente Media

“La pendiente media de la microcuenca se obtiene de la diferencia de las cotas del punto más alto y bajo de la cuenca en metros, dividido entre la longitud del cauce principal en metros” (Dal Ré, 2003), obtenido directamente en ArcGIS y para la microcuenca Potinaspak se encontró que su pendiente es suave, ya que es menor de 10% (Tabla 10).

$$J = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Donde $H_{máx}$ es la cota más alta de la cuenca y $H_{mín}$ es la cota más baja y L es la longitud del cauce principal, todos los valores en metros.

$$J = \frac{1,200 \text{ m} - 600 \text{ m}}{11,960 \text{ m}}$$

$$J = 0.050 = 5\%$$

Tabla 10. Clases de pendiente del cauce (%).

Rangos de Pendiente	Clases
< 10	Suave
10 a 30	Moderada
> 30	Fuerte

Fuente: Baldeon, 2016.

5.1.2. Forma o Índice de Compacidad o de Gravelius (G)

Para este estudio se determinó calcular el índice de compacidad o de Gravelius (G) de la microcuenca, por su importancia y su relación con el tiempo de concentración en el que se basa el cálculo de avenidas. Entonces decimos que cuencas con la misma área de drenaje y características de suelos y vegetación semejantes producirán hidrogramas diferentes como respuesta a una misma lluvia en función del tiempo de concentración (Dal Ré, 2003).

Dal-Ré relaciona el perímetro total de la microcuenca con el de un círculo equivalente P_e que tuviera la misma superficie, utilizando las siguientes ecuaciones para determinar G.

$$A = \pi r^2 \quad r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{1/2}$$

$$G = \frac{P}{P_e} = \frac{P}{2\pi r} = \frac{P}{2\pi \left(\frac{A}{\pi}\right)^{1/2}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

$$\text{Área de la microcuenca} = 31.06 \text{ km}^2$$

$$\text{Radio}(r) = 3.14 \text{ km}$$

$$\text{Perímetro de la microcuenca } (P) = 35.96 \text{ km}$$

$$G = \frac{0.28(35.96)}{\sqrt{31.06}}$$

$$G = 1.80$$

Cuanto más se aproxima G a la unidad, la cuenca es más compacta, su tiempo de concentración más pequeño y por tanto la tendencia a generar avenidas importantes será mayor que en otras cuencas de superficie semejante, pero valores de G mayores.

5.1.3. Tiempo de Concentración

“El tiempo de concentración de una cuenca, se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre” (Ospina & Mancipe, 2016). “Está determinado por el tiempo que tarda una gota de agua que cae en el punto hidrológicamente más lejano de la cuenca hasta que llegue al punto de salida” (Botero & Vélez, 2010 como se citó en Zhica, 2020).

Existen varias ecuaciones que permiten determinar el tiempo de concentración T_c de una cuenca, la fórmula utilizada para este estudio es de Témez:

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

T_c , Tiempo de concentración (horas)

L , Longitud del cauce principal (km) = 11.96 km

S , Pendiente total del cauce principal (%) = 5%

valores tomados del apartado anterior.

Sustituyen valores y desarrollando la ecuación tenemos que el tiempo de concentración

$$T_c = 0.30 \left(\frac{11.96}{5^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$T_c = 1.46 \text{ horas}$$

Baldeon, 2016 muestra en la Tabla 11 que nuestro T_c está en el rango de tiempo de concentración lento, lo que significa que en esta microcuenca se pueden presentar avenidas importantes o posibles inundaciones, sin embargo, el tiempo en que esto sucede es de mayor de 80 min, un dato importante que ayuda a las instituciones de protección civil y a la ciudadanía en general a tomar medidas preventivas antes de que se concentre la mayor cantidad de lluvia en la salida de la microcuenca.

Tabla 11. Clases de tiempo de concentración (min).

Rangos de T_c	Clases
< 40	Rápido
40 a 80	Moderada
> 80	Lento

Fuente: Baldeon, 2016.

5.1.4. Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total:

$$D_d = \frac{L_T}{A}$$

Longitud total de los cauces de agua = 40.68 km

Área de la microcuenca = 31 km²

$$D_d = 40.68 \text{ km} / 31 \text{ km}^2 = 1.31 \text{ km} / \text{km}^2$$

“La densidad de drenaje nos brinda información sobre la permeabilidad del suelo, ya que cuanto mayor es la densidad de drenaje de la microcuenca más rápida es la respuesta de esta, aumentando la eficiencia para evacuar la escorrentía producida” (Dal Ré, 2003).

La interpretación ambiental para el valor encontrado de 1.31 km/km² es de tendencia media de escorrentía, clasificada en categoría moderada. (Tabla 12).

Tabla 12. Factores de densidad de drenaje de cuencas.

Densidad de Drenaje (km/km ²)	Categoría	Interpretación Ambiental
< 1	Baja	Baja la escorrentía y aumenta la infiltración
1 a 2	Moderada	Tendencia media de escorrentía
2 a 3	Alta	Alta tendencia a fluir ya la inundaciones
> 3	Muy alta	Alta tendencia a la escorrentía, ya la erosión

Fuente: Horton (1945), Strahler (1957) y França (1968), citado por (Cerignoni & Rodrigues, 2015).

5.2. Uso de Suelo y Vegetación de la Microcuenca Potinaspak

Para abordar este apartado se utilizaron las coberturas de uso de suelo y vegetación, las cuales se clasificaron en agricultura de temporal anual, pastizal cultivado, pastizal inducido, selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia y de selva mediana subperennifolia, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y de selva mediana subperennifolia, asentamientos humanos y desprovisto de vegetación (Tabla 13).

Tabla 13. Uso de suelo y vegetación de la microcuenca Potinaspak.

Uso de suelo y vegetación	Área (km ²)
Agricultura de temporal anual	0.50
Asentamientos humanos	5.91
Desprovisto de vegetación	0.26
Pastizal cultivado	1.94
Pastizal inducido	3.18
Selva baja caducifolia	0.03
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	2.32
Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia	3.24
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	12.11
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subperennifolia	1.57
Total	31.06

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2015.

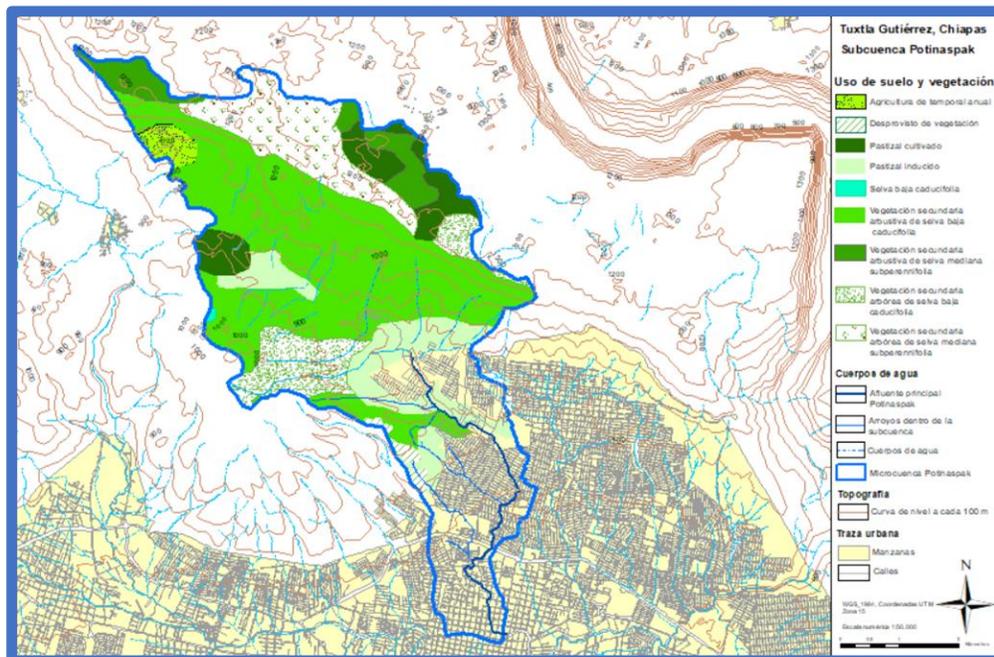
Para utilizar el método de NC en este proyecto, es necesario contar con los porcentajes de las coberturas de uso de suelo y vegetación de la microcuenca Potinaspak, las cuales fueron recuperadas mediante el análisis espacial en el programa Arc-Gis10, que nos permitió hacer un recorte de la base general a nivel estatal, quedándonos únicamente con el uso de suelo y vegetación de la zona de estudio.

Así pues, se obtuvieron los porcentajes de las coberturas antes mencionadas, para implementar el método del número de curva, observándose que en la parte alta aún predomina la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia con 12.11 km² y los asentamientos humanos ocupan un área de 5.91 km².

El 62% corresponde a vegetación secundaria tanto arbórea como arbustiva, 19% asentamientos humanos, pastizal cultivado 16.5%, agricultura de temporal anual 1.6%, desprovisto de vegetación 0.8% y selva baja caducifolia 0.1% (Figura 79).

Cabe señalar que para una mejor comprensión del tema también se incorporaron en el mapa los cuerpos de agua, las curvas de nivel y la traza urbana.

Figura 79. Uso de suelo y vegetación en la microcuenca Potinaspak.



Fuente: Elaboración propia con coberturas de usos de suelo y vegetación, INEGI, 2015

Una vez teniendo la clasificación que se obtuvo directamente de la base de datos de INEGI, 2015, se reclasifican las coberturas para fines prácticos en las siguientes categorías: selva baja caducifolia y vegetación arbórea y arbustiva como arbolado, agricultura de temporal anual, pastizal cultivado y pastizal inducido como agricultura. Desprovisto de vegetación como suelo desnudo y asentamientos humanos como tipo residencial (Tabla 14).

Tabla 14. Tipos de coberturas en la microcuenca Potinaspak.

Tipo de cobertura	Área (km ²)	Porcentaje
Arbolado	19.27	62
Agricultura	5.62	18
Suelo desnudo	0.26	1
Residencial	5.91	19
Total	31.06	100

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2015 y tipo de cobertura tomada de Silva, 2020

5.3. Cálculo del Número de Curva Ponderado

Retomando los datos de número de curva (CN) de Silva, 2020 (Tabla 15), presentamos CN ponderado por tipo de cobertura en la microcuenca Potinaspak (Tabla 16), en la cual se puede observar que el 62% es de tipo arbolado, 19% residencial, 18% agricultura y 1% suelo desnudo.

Tabla 15. Valores ponderados del número de curva (CN) por tipo de cobertura (1986 y 2014).

Cover type	CN	Coverage A:1986	Weighted CN	Coverage B:2014	Weighted CN
1 Trees	73	10%	7	12%	9
Agricultural	82	67%	55	35%	29
Bare ground	91	1%	1	3%	3
Residential	98	23%	22	50%	49
CN aggregate of the study area			85		89

Fuente: Basado en Dal-Ré, 2003 y tomado de Silva, 2020.

Tabla 16. Número de curva ponderado por tipo de cobertura.

Tipo de cobertura	Área (km ²)	Porcentaje	CN	CN Ponderado
Arbolado	19.27	62	73	45
Agricultura	5.62	18	82	15
Suelo desnudo	0.26	1	91	1
Residencial	5.91	19	98	19
Total	31.06	100		80

Características de la cobertura observada en la zona

- 1) Mezcla de pastos y árboles (50/50); Suelo B, condición pobre.
- 2) Cultivos en hileras, SR+CR; Suelo C, buenas condiciones.
- 3) Áreas urbanas en desarrollo; Suelo C.
- 4) Superficies impermeables; calles asfaltadas y alcantarillas.

Fuente: Elaboración propia con CN tomados de Silva, 2020.

(Rawls et al., 1993) mencionaron que la CN refleja las condiciones de infiltración del suelo, las prácticas de manejo de los terrenos agrícolas, la condición antecedente de la lluvia y la cobertura del suelo, que relacionan la infiltración y el Escurrimiento superficial (ES). El valor de la CN varía de 0 a 100, CN es igual a 100 para superficies impermeables y superficies de agua, y en superficies naturales es menor de 100 (Chow et al., 1994); por lo que, con valores cercanos a 100 se tendrá el máximo escurrimiento.

5.4. Cálculo del Valor de Escurrimiento Directa

El caudal se calculó considerando el número de curva ponderado CN igual a 80 (Tabla 16) y las precipitaciones máximas históricas de 141 mm (ICIAM, 2020) y 108.5 mm tomado de Silva, 2020 (Tabla 17).

Tabla 17. Precipitación máxima anual en 24 h (datos de la estación hidrometeorológica 7202) Tuxtla Gutiérrez, Chiapas para el período 1988-2016, CICESE, 2017.

Año	P(máx.)	Año	P(máx.)	Año	P(máx.)	Año	P(máx.)
1988	66.3	1996	71.5	2003	85.3	2010	104.7
1989	87.2	1997	48.7	2004	92.3	2011	89.7
1990	63.2	1998	61.3	2005	50.0	2012	80.0
1991	81.5	1999	54.1	2006	63.0	2013	63.1
1992	39.8	2000	52.5	2007	78.0	2014	76.9
1993	82.0	2001	52.3	2008	71.1	2015	95.0
1994	72.0	2002	77.9	2009	58.0	2016	108.5
1995	77.7						

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de Silva, 2020.

Utilizando las siguientes ecuaciones se obtuvieron los valores de la retención máxima potencial y el escurrimiento medio por evento presentados en la Tabla 18.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde:

CN, Curva numérica

Q, Escurrimiento medio por evento (mm)

P, Precipitación efectiva por evento (mm)

S, Retención máxima potencial (mm)

A, Área de la zona de estudio

Tabla 18. Valor de escorrentía directa.

Valor de escorrentía directa, obtenidos a partir de la precipitación máxima histórica 141 mm y por el método del CN	
CN ponderado	80.00
S (mm)	63.50
Q1 (mm)	85.82
Q2 (mm)	57.61
Q1 (m ³)	2,665,649.31
Q2 (m ³)	1,789,425.19
A (m ²)	31,059,774.90

Fuente: Elaboración propia con CN tomados de Silva, 2020.

Por lo tanto, los escurrimientos medios por evento (Q1 y Q2) obtenidos para una precipitación máxima histórica de 141 mm es igual a 2,665,649.31 m³ y para 108.5 mm es igual a 1,789,425.19 m³.

Estos datos serán tomados en cuenta en el análisis comparativo del valor de la escorrentía directa y la capacidad de almacenamiento de agua de lluvia de los parques inundables y la captación en las viviendas de 7 colonias de la microcuenca Potinaspak.

6. Discusiones Generales

Las captaciones estimadas en los parques inundables son las siguientes:

- Parque El Carmen 31,317,880 litros
- Parque San Juan Seminario 175,145,000 litros
- Parque La Cascada 4,282,000 litros

El total de agua de lluvia que se podría captar en los 3 parques inundables es de 210,744,880 litros.

Aunado a la propuesta de los parques inundables se propone también la captación pluvial en las siguientes 7 colonias de la microcuenca Potinaspak: Fraccionamiento Orquídeas, las Colonias Lindavista Shanká, La Condesa, Potinaspak, Albores Guillén, Pedregal San Antonio y 12 de Noviembre.

Según el análisis realizado con la calculadora de recolección de agua de lluvia, la captación máxima de agua en 1/24 horas en las 7 colonias antes mencionadas es de 90,589,821 litros sin considerar pérdidas, sin embargo; en la realidad esto no es posible, debido a que la mayor parte de agua de lluvia escurre y en menor cantidad se infiltra y se evapora.

Es por esto por lo que se hace la siguiente consideración: en el caso en que existiera una cisterna de 3,000 litros en cada una de las 5,395 viviendas de las 7 colonias, entonces se tendría una captación pluvial por evento más cercana a la realidad de 16,185,000 litros, siendo esta una cantidad importante y que podría replicarse en las 45 colonias de la microcuenca para reducir el riesgo por inundación.

Como la microcuenca abarca 45 colonias, se hizo una estimación directa para fines prácticos, considerando 16,185,000 litros de captación en 7 colonias, un aproximado de captación por colonia de 2,312,143 litros, el resultado para 45 colonias nos dan 104,046,435 litros.

El escurrimiento medio por evento o valor de escorrentía directa (Q1 y Q2) obtenidos para una precipitación máxima histórica de 141 mm es igual a 2,665,649,310 litros y para 108.5 mm es igual a 1,789,425,190 litros.

Ahora bien, el total de agua de lluvia que se podría captar en los 3 parques inundables es 210,744,880 litros + la captación pluvial en 24 horas estimada en las 45 colonias es de 104,046,435 litros, lo que nos da un total de 314,791,315 litros.

Se compara el escurrimiento de agua de lluvia en la microcuenca Potinaspak y la captación esperada tenemos los siguientes valores:

- 314,791,315 litros (lagunas de captación de los 3 parques propuestos y recolección estimada en 45 colonias).
- 1,789,425,190 litros (escurrimiento medio por evento con la precipitación máxima en 2016 de 108.5 mm tomado de Silva, 2020).

Como se observa solamente el 18 % del escurrimiento medio por evento es la cantidad de agua de lluvia que puede ser captada en los parques y en las viviendas, los cuales no son capaces de retener tal magnitud. Sin embargo, esta cantidad no es insignificante, ya que esta captación podría disminuir la embestida de las lluvias extremas y lograr que estas sean menos estridentes.

7. Conclusiones

En este proyecto se propuso la metodología de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) partiendo del principio de infraestructura verde, cuyas propuestas de intervención son 3 parques inundables, denominados en este estudio como parque El Carmen, parque San Juan Seminario y parque La Cascada, propuestas en áreas destinadas para Bioparque, Conservación y Áreas verdes en la Carta urbana de Tuxtla Gutiérrez 2015-2040, por lo que no existe ningún inconveniente en ubicarlos en estas zonas.

Se recomiendan los parques inundables por sus beneficios como elementos de infraestructura verde, además se propone conservar y proteger las áreas naturales, como son los cuerpos de agua y zonas verdes existentes en la microcuenca Potinaspak, que propicien la recarga del acuífero, así como reforestar los parques con árboles de la región como son: Cuchunuc, Tulipán africano, Flor de mayo, Primavera y Brasil.

Este tipo de estrategias son un buen ejemplo de drenaje sostenible para implementar que, sumadas a las iniciativas como propuestas de zonas de recarga en la parte alta por parte de las dependencias municipales, calles con nuevas tecnologías que permitan cierta infiltración y alcantarillas para desalojar en menos tiempo las aguas pluviales, se podrían mitigar y prevenir las inundaciones.

Una de las ventajas en la microcuenca Potinaspak es que se cuenta con abundante vegetación en la parte alta, lo que permite retener parte del agua de lluvia, disminuir la velocidad del escurrimiento superficial, además de retardar el tiempo de concentración que es de 1.46 horas en la microcuenca Potinaspak.

Los parques inundables tienen un papel importante en el desarrollo de las ciudades, ya que funcionan como pulmones generadores de oxígeno, para recreación y deporte, eventos culturales, conservación ambiental, hábitat para las aves, peces y ardillas, además de disminuir el efecto isla de calor urbana y regular de forma natural la mitigación de los riesgos por inundación.

Es de importancia concientizar a la ciudadanía, autoridades municipales y universidades como agentes de cambios, sobre el uso racional del agua potable; así como el saneamiento y la reutilización del agua de lluvia, mediante metodologías como las aquí planteadas, que contemplan la aplicación de infraestructuras verdes.

Así también se deben emprender estrategias de apropiación y socialización de las acciones planteadas en el proyecto. Es importante involucrar a los beneficiarios, animarlos a que participen en conjunto con las autoridades municipales y estatales, en tareas de implementación, mantenimiento y conservación de obras de beneficio comunitario de carácter ambiental.

Referencias

Aguaygis. (18 de agosto de 2014). Tiempo de concentración de la cuenca. <https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/>

Aguaygis. (9 de enero de 2017). Método del Número de Curva del SCS. <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>

Canal de Aguas de Alicante y el Ayuntamiento de Alicante, España, (21 de octubre de 2015). Proyecto de urbanización del parque urbano inundable La Marjal, Alicante, España. (Archivo de video). <https://www.youtube.com/watch?v=5e6QN3e7xHw>

Canal de Joaquín Cuello. (25 de noviembre de 2015). Parque Saavedra, Buenos Aires. Una solución a las inundaciones. (Archivo de video). https://www.youtube.com/watch?v=Si4r-vgPN_c

Canal del Ministerio de Obras Públicas de Chile. (26 de enero de 2018). Entrega de la primera etapa del Parque Inundable Víctor Jara. (Archivo de video). <https://www.youtube.com/watch?v=HGAXHy-05tl>

Canal El Confidencial. (16 de diciembre de 2018). Proyecto de ciudades esponjas planteadas por investigadores chinos. (Archivo de video). <https://www.youtube.com/watch?v=iv7zNwHAbmU>

Canal Primer Plano Magazine. (25 de mayo de 2022). Comen flores venenosas en Tuxtla Gutiérrez: Conoce la “flor de Cuchunuc”. (Archivo de video). https://www.google.com.mx/search?q=cuchunuc&sxsrf=APwXEdd_vt5-en37RsTB7kWSD4CDBBS4eg:1681453418453&source=Inms&tbm=vid&sa=X&ved=2ahUKEwilgNqN3qj-AhUokWoFHZE8DLEQ_AUoA3oECAIQBQ&biw=1229&bih=577&dpr=1.56#fpstate=ive&vld=cid:8fbe24c8,vid:lravo_WLxNU

Castro, J. (13 de mayo de 2019). El origen de las inundaciones en Tuxtla Gutiérrez. Chiapas Paralelo. <https://www.chiapasparalelo.com/opinion/invitados/2019/05/el-origen-de-las-inundaciones-en-tuxtla-gutierrez/>

CENAPRED, 2004, Serie fascículos Inundaciones. (Archivo PDF). <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>

CENAPRED. 2016. Inundaciones: Conceptos básicos y metodologías para la elaboración de mapas de riesgos. Coordinación Nacional de Protección Civil.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2016, Sistema de alerta temprana de la Coordinación de Protección Civil, Sistema Nacional de Protección Civil.

Ciudad Juárez 2016, Guía de diseño para la infraestructura verde, Plan de Desarrollo Urbano Sostenible. (Archivo PDF). https://www.imip.org.mx/imip/files/sites/pdus2016/PDUS_2016/08_VIII_Guia%20III%20Infraestructura%20Verde.pdf

Climate data. (2021). Climograma de Chiapas. Datos históricos del tiempo en Tuxtla Gutiérrez. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/chiapas/tuxtla-gutierrez-3377/>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (s.f.), Traslado de avenidas, Plan de Emergencia de Inundación corrientes problemáticas, Río Sabinal del estado de Chiapas, Dirección General del Organismo de Cuenca Frontera Sur. (Archivo PDF). <https://proteccioncivil.chiapas.gob.mx/documentos/DOC02131109.pdf>

CONAGUA (2009). Plan de gestión y manejo integral de la cuenca del Río Sabinal, (Archivo PDF) https://remexcu.org/documentos/conagua/bcc/pg/ctc/2011_PG_Sabinal.pdf

CONAGUA (2018). Estadísticas del Agua en México. (Archivo PDF). https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

Estanques y peces. (2002). Volumen de las lagunas de captación. http://www.estanquesypeces.com/estanques/volumen_estanque.htm

Francisco–Nicolás N., Turrent–Fernández A., Flores–López H., Martínez–Menes M. y Enríquez–Quiroz J., Terra Latinoamericana Vol. 28 No. 1 Chapingo. (enero-marzo 2010). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS–CN en el trópico subhúmedo de México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000100008

Gobierno del Estado de Chiapas y H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (2015). Carta Urbana 2015-2040.

González A. (12 de febrero de 2023). Árbol de Primavera. Pronto concluirá espectáculo amarillo. Diario de Chiapas. <https://diariodechiapas.com/portada/pronto-concluira-espectaculo-amarillo/>

Guichard D., Gordillo F., Cruz M., Aguilar M., Muciño J., (s.f.). Diseño del dren pluvial de la cuenca centro-sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Facultad de Ingeniería. (Archivo PDF). <http://promep.sep.gob.mx/archivospdf/INFORMES/Producto2175475.PDF>

H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez (2022). Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024. (Archivo PDF). <https://tuxtla.gob.mx/pg/muni/archivos/Plan-Municipal-de-Desarrollo-2021-2024.pdf>

INEGI, 1988, Carta hidrológica de aguas subterráneas E15-11 Tuxtla Gutiérrez.

INEGI, 2010 y 2015, Inventario Nacional de Vivienda.

Ingeniería civil Tutoriales al día. 2023. Todo lo que necesitas saber sobre el Coeficiente de Escorrentía. <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-coeficiente-de-escorrentia/>

Instituto Ciudadano de Planeación Municipal (ICIAM) de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (2020). Estudio de la microcuenca hidrográfica urbana No. 7 - Potinaspak.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (1 de agosto de 2019). ¿Qué es una cuenca? <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>

Instituto Municipal de Planeación Urbana y del Espacio Público de Hermosillo (IMPLAN) (2019). Manual de Lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos. (Archivo PDF). http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_IV3.pdf

Jiménez, U. (6 de julio de 2021). Calles en mal estado en la colonia Potinaspak. Facebook. 13noticiaschiapas.

https://m.facebook.com/watch/?v=201017501938123&paipv=0&eav=AfaKOjyvWU8g36iQKcqlMscyNR796Sr1l33Uls866WWA6CU5V5n8Ha4A1ayko9aohqE&_rdr

Lasprilla C., Riabchynskiy M., Birhanu R. y Schaldach R. (s.f.), Calculadora de Recolección de Agua de Lluvia, bajo una licencia de Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://www.ruvival.de/es/calculadora-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>

López, I. (14 de septiembre de 2022). Aumenta el riesgo de inundación en Tuxtla por falta de alcantarillas. El Herald. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/aumenta-el-riesgo-de-inundacion-en-tuxtla-por-falta-de-alcantarillas-8888456.html>

Martínez V., Dal-Ré R. (2003). Cuenca de recepción: información previa. ISBN 84-8476-144-4.

Maza, D. (4 de junio de 2022). Calle de colonia Potinaspak destruida tras huracán Agatha en Tuxtla. El Herald. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/calle-de-colonia-potinaspak-destruida-tras-huracan-agatha-en-tuxtla-8385479.html>

MXCity. 2019. La Flor de Mayo, cacaloxóchitl, flor del cuervo o sak-nikté es una flor preciosa. <https://mxcity.mx/2019/05/flor-de-mayo>

Ordóñez-Ruiz J., Auvinet-Guichard G. % Juárez-Camarena M. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVI (No. 3), julio-septiembre 2015: 453-470 ISSN 1405-7743 FI-UNAM (artículo arbitrado), Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Rodríguez J., Alcocer V. Albornoz P., Llaguno O., Maldonado J., 2014, Problemática de inundaciones en zonas urbanas y propuestas de solución desde un enfoque matemático. (Archivo PDF). <https://www.imta.gob.mx/images/pdf/articulos/MAPAS-DE-RIESGO-EN-ZONAS-URBANAS.pdf>

Sánchez, H. (22 de julio de 2020). Desbordamiento del arroyo Potinaspak. Facebook. El Herald. <https://www.facebook.com/watch/?v=285614472773988>

Sánchez, H. (23 de julio de 2020). Fuerte lluvia causa estragos en Tuxtla Gutiérrez. Diario del sur. <https://www.diariodelsur.com.mx/local/fuerte-lluvia-causa-estragos-en-tuxtla-gutierrez-proteccion-civil-afectaciones-5530442.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y (CONAGUA), 2011, Manual para el control de inundaciones. (Archivo PDF). <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda (SMAyV). (2009). Memoria Técnica del Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca del Río Sabinal. (Archivo PDF). https://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/ord_territorial/Sabinal/Resumen.pdf

Secretaría de Protección Civil del Gobierno de Chiapas. (s.f.). Plan Maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable del Río "El Sabinal", Chiapas. (Archivo PDF). <https://www.sop.chiapas.gob.mx/DESCARGAS/PlanMaestroRioElSabinalChiapas.pdf>

Secretaría de Protección Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015, Atlas de riesgos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Secretaría General de Gobierno del Estado de Chiapas, Periódico oficial No. 233 de fecha 30 de noviembre de 2011. Publicaciones Municipales: Pub. No. 0079-C-2011. Programa de Ordenamiento de la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. (2010-2030). (Archivo PDF). <https://tuxtla.gob.mx/pg/muni/archivos/transparencia-fiscal/1-marco-regulatorio/6-2-programa-ordenamiento-zona-metrop-tuxtla.pdf>

SEDATU / SEMARNAT / GIZ. (8 de marzo de 2019). Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de ruta. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/infraestructura-verde-como-estrategia-para-la-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico-en-ciudades-mexicanas-hoja-de-ruta>

Silva M., García-Abril A. & Hernando A. (2015). Crecimiento de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Revista Quehacer Científico en Chiapas. (Archivo PDF). <https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/2015-jul-dic/CrecimientodelamanchaurbanaenlaZonaMetropolitana.pdf>

Silva M., Hernando A, García-Abril A, Valbuena R, Velázquez Saornil J & Manzanera JA. (2020) Simulation of overflow thresholds in urban basins: Case study in Tuxtla Gutiérrez, Mexico. River Res Applic. 2020;36:1307-1320. <https://doi.org/10.1002/rra.3642>

Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. (s.f.). Proyecto: Recuperación de condiciones hidrológicas y reducción de caudales pico en cuencas urbanas consolidadas mediante alternativas sostenibles de almacenamiento disperso adaptadas a predios existentes. <https://sites.google.com/site/dreuninorte/home>

Zhica J., 2020, Trabajo experimental: Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Cantón Gualaceo, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18364>

Colaboración especial:

Dr. Moisés Silva Cervantes, Profesor del Centro de Estudios para el Desarrollo Municipal y Políticas Públicas (CEDES) de la Unach, Coordinador del proyecto de servicio social “Crecimiento urbano y riesgos hidrometeorológicos en Tuxtla Gutiérrez, 2021”.

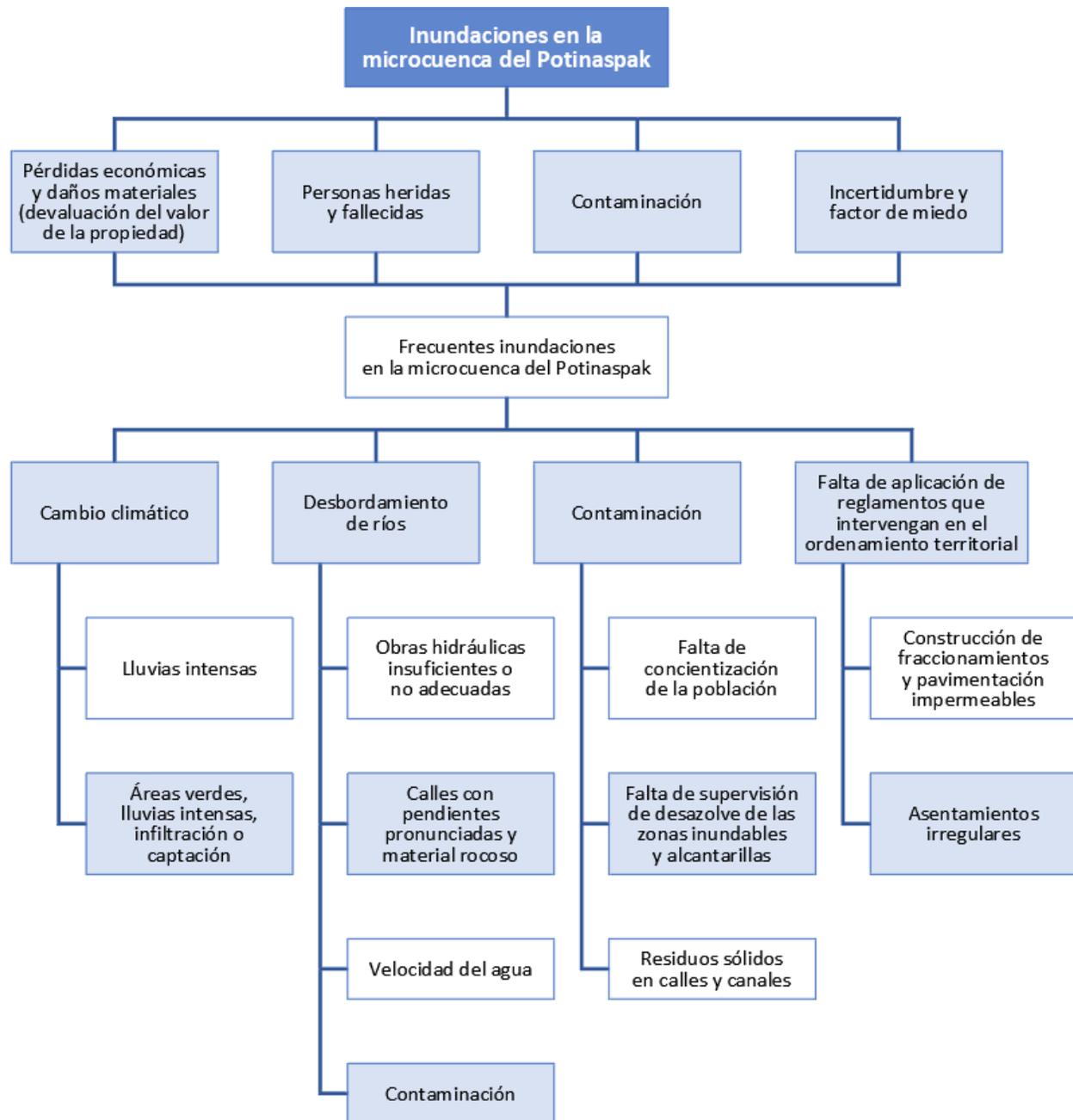
Ing. Roberto Manuel Rosales Maldonado, apoyo profesional con tomas aéreas de la zona de estudio con dron DJI Mini 2 de 249 gramos.

Alumnos de servicio social del proyecto “Crecimiento urbano y riesgos hidrometeorológicos en Tuxtla Gutiérrez, 2021”: Marco Antonio Girón López, Eduardo Johan López Espinosa, Luis Daniel Velazco Alvarado, Julia Marena Aguilar Molina, Nayeli Dalila Pérez Guillén y Edgar Adolfo Girón Reyes, estudiantes de la Licenciatura en Arquitectura de la Unach.

Apéndice A

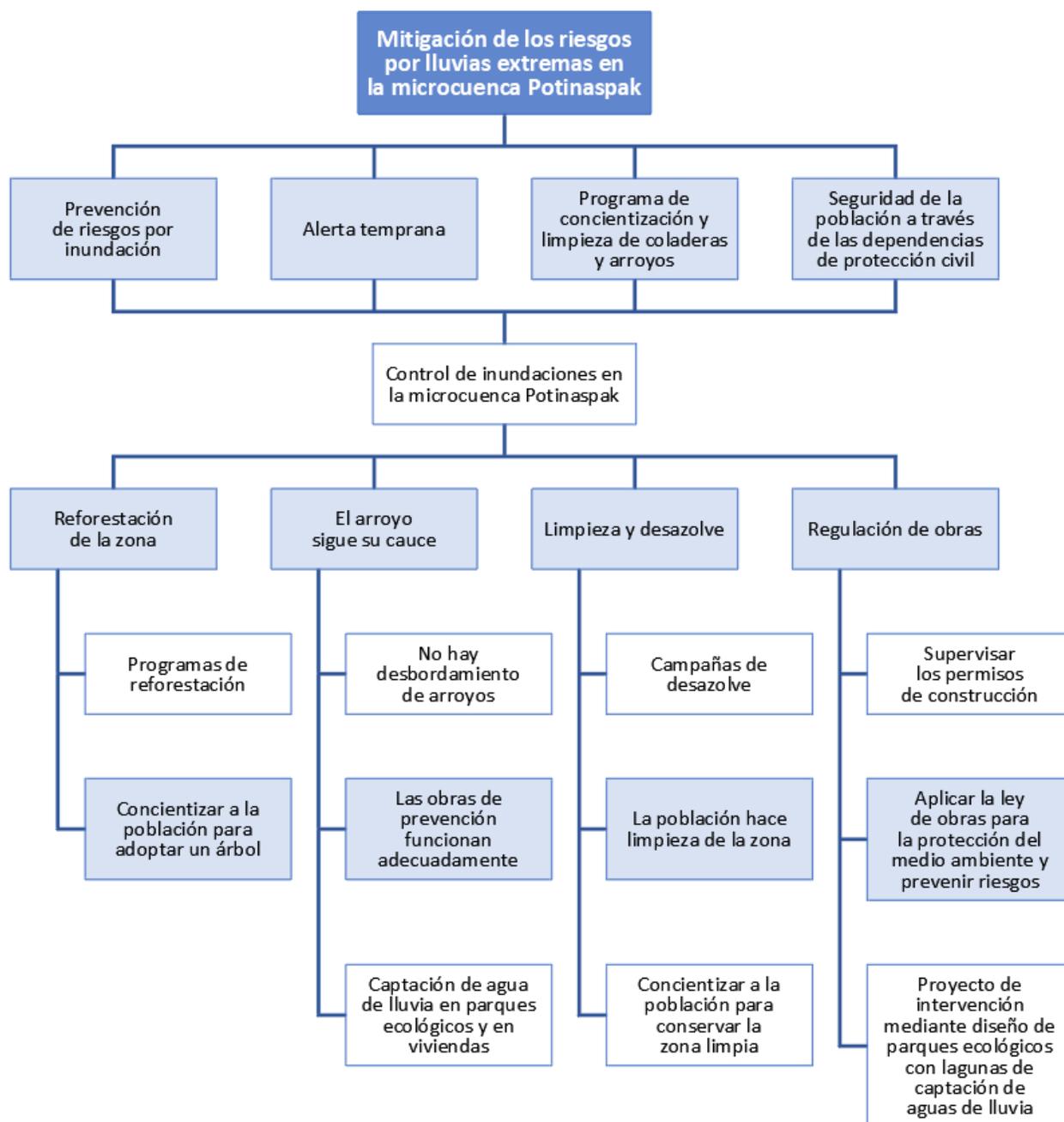
Árbol de problemas

En el siguiente esquema presentamos el problema principal que se aborda en este proyecto de tesis: las “Frecuentes inundaciones en la microcuenca Potinaspak”, mediante el árbol de problemas, identificando sus causas y efectos.



Árbol de objetivos

La situación deseada mediante estrategias, programas o proyectos, los cuales se construyen con base en el árbol de problemas, dan origen al árbol de objetivos, del cual se obtienen las posibles estrategias y acciones que nos ayudarán a desarrollar y concretar el proyecto de intervención.



Actores involucrados en el proyecto de intervención

En el proyecto de intervención se recomienda considerar la participación de grupos de población vulnerables, sociales y de salud, dependencias de protección civil, dependencias municipales, estatales y federales que realizan estudios relacionados con el tema de investigación.

Matriz de actores involucrados.

Grupos	Expectativa
Habitantes de las zonas vulnerables del Potinaspak	Ser atendida de forma oportuna ante eventos hidrometeorológicos.
Secretaría de Protección Civil	Brindar atención oportuna de manera preventiva antes riesgos hidrometeorológicos.
Instituto Ciudadano de Planeación Municipal	Asesora al Gobierno municipal de Tuxtla Gutiérrez sobre las posibilidades estratégicas para mitigar riesgos hidrometeorológicos en la zona.
Comisión Nacional del Agua	Implementar estrategias a nivel nacional que permitan dar soluciones integrales a riesgos hidrometeorológicos en la zona.
Universidad Autónoma de Chiapas	Documentar sobre la problemática de riesgos hidrometeorológicos en la zona y hacer propuestas de solución aplicando los conocimientos de ingeniería, arquitectura y metodología de drenaje sostenible.
Dirección de Tenencia de la Tierra	Regularizar la tenencia de la tierra en donde existan asentamientos humanos irregulares, incorporar tierras o predios para propiciar el desarrollo urbano ordenado.
Secretaría de Salud Municipal	Prevenir enfermedades ante los fenómenos hidrometeorológicos.
Dirección de Imagen Urbana y Áreas Verdes Municipal	Diseño de imagen urbana en la zona de estudio.
Secretaría de Medio Ambiente y Movilidad Urbana Municipal	Conservación del medio ambiente.
Dirección de Proyectos Climáticos y Movilidad Urbana Municipal	Realizar proyectos sobre el cambio climático y el efecto de las inundaciones en el municipio.
Secretaría de Desarrollo Urbano Municipal	Estudios de Desarrollo Urbano en Tuxtla Gutiérrez.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La participación de estos actores es necesaria para plantear estrategias de prevención y mitigación ante los fenómenos hidrometeorológicos, en particular cuando se dan las grandes precipitaciones que provocan avenidas máximas.

Anexo A

Clasificación Hidrológica de los tipos de suelo.

Clave de clasificación FAO	Suelos	Tipo Hidrológico de suelo	Permeabilidad	Propiedades
T Q J O U	Andosoles Arenosoles Fluvisoles Histosoles Ranker	A	Muy alta	Áreas con poco limo y arcilla (escurrimiento mínimo)
X, Y I, E Z D F R	Calcisoles (antes Xerosol X y Yermosol Y) Lepsoles (antes Litosoles I y Rendizinas E) Solonchaks Podzoles Ferralsoles Regosoles	B	Buena	Arenas finas y limos
H K N C	Feozems Kastanozems Nitosoles Chernozems	C	Media	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
- A B G L V W S D - -	Alisoles Acrisoles Cambisoles Gleysoles Luvisoles Vertisoles Planosoles Solonetz Podzoluvisoles Pintosoles Lixisoles	D	Baja	Arcilla en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

Fuente: Elaboración propia recuperado de Guichard D. et. al., (s.f.).

Valores del Número de Curva según la cobertura del suelo.

Uso de suelo y vegetación (INEGI)	Grupo hidrológico			
	A	B	C	D
Agricultura (de humedad, riego y temporal)				
Condición hidrológica mala	72	81	88	91
Condición hidrológica regular	67	76	83	86
Condición hidrológica buena	62	71	78	81
Área sin vegetación aparente	77	86	91	94
Asentamiento urbano	82	88	91	93
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
Residencial 50% o más área impermeable	77	85	90	92
Residencial 50% o menos área impermeable	61	75	83	87
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras (pavimentados con cunetas y alcantarillas)	98	98	98	98
Calles y carreteras de Grava	76	85	89	91
Calles y carreteras de Tierra	72	82	87	89
Bosque (cultivado, de encino, de encino-pino, de oyamel, de pino, de táscate, mesófilo de montaña)				
Condición hidrológica mala	45	66	77	83
Condición hidrológica regular	36	60	73	79
Condición hidrológica buena	25	55	70	77
Cardonal	54	71	80	89
Chaparral (arbustos)	20	48	65	73
Cuerpo de agua	100	100	100	100
Erosión	68	79	86	89
Manglar	100	100	100	100
Matorral (con izotes, con rosetófilos acaules, crasicauale, desértico micrófilo, desértico rosetófilo, espinoso, inerme, subinerme, subtropical)				
Condición hidrológica mala	48	67	77	83
Condición hidrológica regular	34	58	71	78
Condición hidrológica buena	20	48	65	73
Mezquital	68	79	86	92
Nopalera	39	61	74	84
Palmar	45	66	77	83
Pastizal (cultivado, halófilo, inducido, natural, natural-huizachal)				
Condición hidrológica mala	68	79	86	89
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
Plantación forestal				
Condición hidrológica mala	55	73	82	86
Condición hidrológica regular	44	65	76	82
Condición hidrológica buena	32	58	72	79
Pradera de alta montaña	30	58	71	78
Sabana	45	66	77	83
Selva (baja caducifolia, subcaducifolia, baja espinosa, mediana)	45	66	77	83
Tular	68	79	86	92
Vegetación halófila	68	79	100	100
Vegetación secundaria	68	79	86	89

Fuente: Elaboración propia recuperado de Guichard D. et. al., (s.f.).

Anexo B

Glosario de Términos

Avenida. Es una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad” (OMM/UNESCO, 1974). Estos incrementos y disminuciones representan el comportamiento del escurrimiento en un río.

Cauce. Un cauce es el canal de drenaje natural de los escurrimientos perennes o intermitentes de una cuenca. El comportamiento de un cauce o sistema de ríos obedece a un proceso físico de escurrimientos provenientes de lluvias o del drenaje subterráneo de un acuífero hacia un cauce.

Cuenca. Es un área de la superficie terrestre donde las gotas de lluvia precipitadas dentro de ella tenderán a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Sus unidades son de superficie (km²).

Esclusas. Es una obra hidráulica que permite vencer desniveles concentrados en canales navegables, elevando o descendiendo los navíos que se encuentran en ella. Estos compartimentos pueden formar parte de las estructuras complementarias de una presa, cuando esta se construye sobre ríos navegables.

Gasto. Es la cantidad de agua que escurre por un río en un determinado lugar y en un cierto tiempo, también se llama “caudal”, sus unidades son volumen entre tiempo (m³/s). El lugar donde se mide el gasto es en una estación hidrométrica que consiste en un punto de control (sección regular) dentro del río.

Intensidad de lluvia. Es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo, sus unidades son en milímetros por hora (mm /h). Se mide con un pluviógrafo.

Inundación. Es un evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o a la falla de alguna obra de infraestructura hidráulica provoca un incremento de la superficie libre del agua en los ríos, lagos, lagunas o en el mar mismo, generando invasión o penetración del agua en sitios donde usualmente no la hay, provocando, generalmente, daños a la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

Inundaciones fluviales. Se presentan por el desbordamiento de un río, el cual es incapaz de conducir el agua en exceso producto de una lluvia. El tiempo que dura la inundación dependerá de la velocidad del flujo dentro del río.

Inundaciones pluviales. Se generan cuando el agua de una lluvia local intensa al precipitarse sobre una superficie plana o cóncava es incapaz de desplazarse por sí misma, por tanto, permanece estancada por horas o días hasta que por infiltración y/o evaporación desaparece el cuerpo de agua.

Inundaciones costeras. Se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que éste penetre tierra adentro, en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno. La marea de tormenta es generada por los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros.

Inundaciones por falla de una obra. Se presentan cuando los sistemas de alcantarillado son insuficientes para desalojar el agua de lluvia, o por alguna falla, nulo mantenimiento, o mal diseño de la obra.

Inundaciones súbitas. Son las más peligrosas ya que se presentan en cuestión de minutos y llegan a causar pérdidas de vidas cuando toman desprevenida a la población. Debido a su fuerza de arrastre llegan a

presentarse con flujos de escombros. Son típicas en cuencas de poca área y gran pendiente (p.ej. en la vertiente del océano Pacífico, entre otras).

Inundaciones lentas. Son aquellas de gran área y poca pendiente, por sus características normalmente no causan muertes, aunque las pérdidas económicas pueden ser grandes.

Lluvia. Forma parte del ciclo hidrológico y se presenta al precipitarse las gotas de agua que se condensan en la atmósfera. A ello se suman efectos orográficos y fenómenos meteorológicos convectivos que favorecen la ocurrencia de ellas. Su peligrosidad radica en que son variables en el espacio y el tiempo.

Lámina de precipitación. Es la columna de agua precipitada y registrada en un lugar específico durante una tormenta o en un lapso de 24 horas. Esta columna o altura de lluvia se mide con un pluviómetro y sus unidades están en milímetros (mm).

Lluvia convectiva o de convección. Se trata de precipitaciones producidas por una disminución de presión local, que se genera por la subida de aire tanto cálido como húmedo, y que se crea como si fueran nubes en forma vertical, esta clase de lluvia es abundante.

Lluvia orográfica. Es aquella que se forma por el ascenso de los vapores de agua cerca de las montañas, cerros y macizos montañosos, necesita de aire frío para poder llegar a una altura específica para condensarse.

Obras estructurales. Son aquellas obras hidráulicas que ayudan a evitar, lo menor posible, los efectos negativos de las inundaciones. Entre ellas están las presas de regulación, sistemas de drenaje, encauzamiento de ríos, bordos de protección, lagunas de regulación, rectificación de arroyos, bordos perimetrales, etc.

Obras no estructurales. Se basan en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Entre ellas están; elaboración de mapas de riesgo, reglamentar el uso del suelo, reordenamiento territorial, planes de emergencia, simulacros, etc.

Período de retorno. El período de retorno T_r , expresado en años, se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o excedido. Por ejemplo, si se diseñara una obra para un gasto de 700 m³/s que tiene asignado un período de retorno de 10 años, esto significaría que el tiempo que transcurre para que volviera a presentarse un gasto mayor o igual a él, puede ser 8 o 12 o 13, o bien 7 años, nótese que el promedio de ellos es precisamente 10 años.

Riesgo. Es la probabilidad de que una cierta magnitud de daño ocurra bajo la presencia de un peligro (o amenaza) de cierta magnitud, dada una cierta vulnerabilidad y exposición de personas, infraestructura, bienes materiales o hasta actividades humanas a dicho peligro o amenaza.

Tránsito de avenidas. El tránsito de avenidas según se explica en el Manual para el Control de Inundaciones publicada por la CONAGUA 2011, es la metodología que permite integrar técnicas hidrológicas para analizar la evolución en tiempo, el traslado y el efecto de almacenamiento de una onda de agua de una avenida ya sea en un cauce natural o en un vaso de almacenamiento.

Vulnerabilidad. Es una medida del grado de daño que puede ocurrir a una cierta persona, edificación, obra, bien mueble o inmueble o actividad humana para diversas magnitudes del peligro.