



Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Facultad de Geografía

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática

Trabajo terminal de grado:

**Análisis Forense de Inundaciones como Herramienta de Gestión
del Riesgo Local de Desastre en Tula de Allende,
Estado de Hidalgo, México.**

Presenta:

Lic. GARH. Oscar Rafael Yaxi Corona

Director:

Dr. José Emilio Baró Suárez

Tutores adjuntos:

Dr. Martín Pánfilo Soto Romero

Dr. Carlos Díaz Delgado

Diciembre 2025



RESUMEN

Las inundaciones son un proceso socionatural que cada vez afectan a más población debido al aumento de su frecuencia y magnitud, así mismo, aunando los eventos hidrometeorológicos extremos con el problema de drenaje profundo de la Ciudad de México, han provocado que se desbordará el río Tula el 6 y 7 de septiembre de 2021, provocando daños y pérdidas importantes. Por lo que en esta investigación se aplicará la investigación forense de desastres, así como el empleo de metodologías enfocadas en el análisis de variables físicas, socioeconómicas, para visualizar mapas de peligro, vulnerabilidad y exposición, esenciales para determinar el riesgo, además de recopilar información, política, social, ambiental e histórica, con el fin de construir un escenario de desastres a través del mapa de riesgo por inundaciones que serán de utilidad para la aplicación de planes de emergencia y así identificar los factores que generan inundaciones con la intención de proponer medidas de gestión del riesgo local de desastre en Tula de Allende.

ABSTRACT

Floods are a socio-natural process that increasingly affects a larger population due to their growing frequency and magnitude. Furthermore, the combination of extreme hydrometeorological events with Mexico City's extensive drainage system led to the Tula River overflowing its banks on September 6th and 7th, 2021, causing significant damage and losses. Therefore, this study applies disaster forensics, employing methodologies focused on analyzing physical and socioeconomic variables to visualize hazard, vulnerability, and exposure maps. These maps are essential for determining risk. Additionally, political, social, environmental, and historical information is gathered to construct a disaster scenario using a flood risk map. This map will be useful for implementing emergency plans and identifying the factors that contribute to such incidents, ultimately leading to the proposal of local disaster risk management measures for Tula de Allende



Contenido

Capítulo 1. Introducción	11
1.1. Antecedentes	12
1.1.2. Casos de estudio nacional	12
1.1.2.1. Análisis de la Hidrología Forense de la Presa El Carmen, El Marques, Querétaro	12
1.1.2.2. Revisión hidráulica e hidrológica de la lluvia del 22 de octubre de 2018 en Morelia empleando análisis forense	12
1.1.3. Casos de estudio internacional	13
1.1.3.1. Investigación forense de datos para apoyar la planificación espacial	13
1.1.3.2. Hidrología forense: Reconstrucción completa de una inundación extrema en una zona con escasez de datos	14
1.2. Planteamiento del problema	16
1.2.1. Objetivo General.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos	17
1.2.3. Justificación	18
1.2.3.1 Beneficio Social.....	19
1.2.3.2. Beneficio Económico	19
1.2.3.3. Beneficio Académico.....	20
1.2.3.4. Beneficio Socioeconómico	20
1.2.4. Hipótesis	20
Capítulo 2. Marco Conceptual.....	21
2.1. Gestión del Riesgo.....	21
2.1.1. Riesgo de inundaciones	21
2.1.2 Peligro.....	22
2.1.3. Vulnerabilidad	22
2.1.4. Exposición	22
2.1.5. Inundación	22
2.1.6. Hidrología.....	23
Capítulo 3. Marco Teórico	24



3.1. Gestión del riesgo de desastres	24
3.2. Hidrología forense	24
3.2.1. Aplicación de la hidrología forense en inundaciones	24
3.2.2. Methodological Guide to Forensic Hydrology	26
3.2.3. Análisis Forense de inundaciones: una guía metodológica	26
Capítulo 4. Caracterización de la zona de estudio	28
4.1. Localización	28
4.2. Hipsometría	29
4.3. Clima	31
4.4. Precipitación	33
4.5. Hidrografía	34
4.5.1. Regiones Hidrológicas de México	34
4.5.2. Región Hidrológica Pánuco RH26	35
4.5.3. Cuenca Río Moctezuma RH26D	36
4.5.4. Subcuenca Río Tula RH26Dj	36
4.5.5. Afluentes del Río Tula	37
4.5.5.1. Río Salado	37
4.5.5.2. Río el Salto	37
4.5.5.3. Río Rosas	37
4.5.5.4. Río Tepeji	38
4.5.5.5. Presa Taxhimay	38
4.5.5.6. Presa Requena	38
4.5.5.7. Río Jilotepec (Coscomate o Tlautla)	39
4.5.5.8. Arroyo la Colmena (arroyo Chideje)	39
4.5.5.9. Túnel Emisor Central y Túnel Emisor Oriental	40
4.5.5.10. PTAR Atotonilco	41
Capítulo 5. Metodología del análisis forense por inundaciones	42
5.1. Análisis Forense de Desastres	42
5.1.1. Relevancia de las investigaciones FORIN	42
5.1.2. Características del FORIN	43
5.1.3. Objetivos del FORIN	44



5.1.4. Construcción social del riesgo.....	45
5.2. Etapas de análisis para esta investigación forense de inundaciones.....	46
5.2.1. Recopilación e integración de información documental	46
5.2.1.1. Recopilación de información histórica	46
5.2.1.1.1. Inundaciones en la Nueva España y origen de El Gran Canal de Desagüe	46
5.2.1.1.2. Tajo de Nochistongo	47
5.2.1.1.3. Túnel de Tequixquiac	49
5.2.1.1.4. Sistema General del Drenaje Profundo de la Ciudad de México	49
5.2.1.1.5. Inundaciones Históricas en Tula de Allende	50
5.2.2.1. Recopilación de Información geográfica.....	53
5.2.2.1.1. Zonas de inundación identificadas por Protección Civil de Tula de Allende	53
5.2.2.1.2. Prácticas de campo	54
5.2.2.1.3. Censo sobre los afectados por la inundación realizada por la organización Tzu Chi.....	54
5.2.3.1. Recopilación de información del estado y capacidad hidráulica.....	54
5.2.3.1.1. Desbordamiento del Río Tula y relación con el sistema de drenaje de la ZMVM.....	54
5.2.3.1.1.1. Sistema de drenaje de la ZMVM.....	54
5.2.3.1.1.2. Inundación de septiembre de 2021 en Tula de Allende	56
5.2.3.2. Análisis de las inundaciones en Tula con base en la infraestructura hidráulica de presas	58
5.2.3.3. Plan Hídrico Regional 2021 – 2024: Plan Hídrico para Tula de Allende	59
5.2.3.4. Revestimiento y ampliación de la sección hidráulica del Río Tula	60
5.2.4.1. Recopilación de información de campo	62
5.2.4.1.1. Enfermedades relacionadas con la inundación de aguas negras.....	62
5.2.5.1. Recopilación de información hemerográfica y periodística	62
5.2.5.1.1. Opacidad del gobierno respecto al origen de las inundaciones	62
5.2.5.1.2. Declaraciones y CONAGUA.....	64
5.2.5.1.3. Reportes de actividades del CENAPRED	64
5.2.5.1.4. Apoyo a damnificados	65



5.2.6.1. Recopilación de información social	65
5.2.6.1.1. Movimientos sociales generados tras las inundaciones.....	65
5.2.6.1.2. La gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021	65
5.2.7.1. Enfoques aplicados en el presente análisis forense por inundaciones	67
5.2.7.1.1. Análisis longitudinal retrospectivo (ALR)	67
5.2.7.1.2. La construcción del escenario de desastre FORIN (CED)	67
5.2.7.1.3. Modelo lógico general de la investigación	67
5.3. Análisis del peligro	69
5.3.1. Materiales	69
5.3.2. Identificación de procesos	69
5.3.2.1. Dinámica de las inundaciones en Tula	69
5.3.3. Identificación de variables.....	70
5.3.4. Modelo lógico del peligro.....	71
5.3.5. Metodología y procesos.....	72
5.3.1. Búsqueda de información hidrométrica.....	72
5.3.1.1. Obtención de datos in situ	73
5.3.1.1.1. Marcas de nivel máximo del agua	73
5.3.1.1.2. Nivelación Topográfica	74
5.3.1.1.3. Método de traslado de niveles y medición	74
5.3.1.1.4. Límites de la inundación (nivel 0).....	77
5.3.1.2. Tratamiento y calidad de la información	79
5.3.1.3. Interpolación.....	79
5.3.1.4. Kriging.....	80
5.3.1.5. Reclasificación de la profundidad	80
5.3.1.6. Unión espacial (Spatial join)	81
5.4. Análisis de la vulnerabilidad.....	82
5.4.a Recursos.....	82
5.4.2.2. Unidad espacial (Manzana urbana)	82
5.4.2.3. Empleo del polígono de la zona de inundación.....	82
5.4.1. Identificación de procesos	83
5.4.1.2. Vulnerabilidad	83



5.4.2. Identificación de variables.....	84
5.4.2.1. Variables de la vulnerabilidad de la población	84
5.4.2.2. Variables de la vulnerabilidad de las viviendas	85
5.4.2.3. Variables de la vulnerabilidad económica	86
5.4.2.3. Variables del Índice de Vulnerabilidad Global	87
5.4.3. Modelo lógico de la vulnerabilidad global	87
5.4.4. Metodología y procesos.....	87
5.4.4.1. Cálculo de la vulnerabilidad de la población.....	88
5.4.4.1.1. Fórmula para el Indicador de la Vulnerabilidad de la Población.....	88
5.4.4.2. Cálculo de la vulnerabilidad de la vivienda.....	90
5.4.4.2.1. Fórmula para el Indicador de Vulnerabilidad de Viviendas	90
5.4.4.3. Cálculo de la vulnerabilidad económica.....	91
5.4.4.4. Cálculo de la vulnerabilidad global	91
5.5. Análisis de la exposición	93
5.5.a. Insumos	93
5.5.1. Identificación de procesos	93
5.5.2. Identificación de variables.....	93
5.5.3. Modelo lógico de la exposición.....	94
5.5.4. Metodología y Procesos	94
5.5.4.1. Digitalización de elementos expuestos.....	95
5.5.4.2. Reclasificación de la altimetría.....	96
5.5.1.6. Unión espacial (Spatial join)	97
5.6. Análisis del Riesgo	98
5.6.1. Identificación de procesos	98
5.6.2. Identificación de variables.....	99
5.6.3. Modelo lógico del riesgo	99
5.6.4. Metodología y procesos.....	99
5.6.4.1. Fórmula para el cálculo del riesgo.....	99
5.6.4.1. Estructuración de datos ráster.....	100
5.6.4.1. Álgebra de mapas	100
5.6.1.6. Unión espacial (Spatial join)	102



Capítulo 6. Análisis e interpretación de resultados	103
6.1. Resultados del análisis espacial del peligro.....	103
6.1.1. Resultados del análisis espacial de la profundidad de la inundación	103
6.1.1.1. Mapa de la profundidad de inundación	104
6.1.1.2. Mapa de la profundidad de inundación clasificada por Natural Breaks....	105
6.1.1.3. Mapa del grado de peligro por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas	106
6.1.1.3.1. Población y vivienda afectada por el peligro.....	108
6.1.1.3.2. Área urbana de Tula comparada con la zona de inundación	108
6.2. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad	110
6.2.1. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad de la población.....	110
6.2.1.1. Mapa de la vulnerabilidad de la población.....	110
6.2.2. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad de la vivienda.....	112
6.2.2.1. Mapa de la vulnerabilidad de la vivienda.....	112
6.2.3. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad económica.....	114
6.2.3.1. Mapa de la vulnerabilidad Económica	114
6.2.4. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad global	117
6.2.4.1. Mapa de la vulnerabilidad global	117
6.2.4.1. Mapa del grado de vulnerabilidad global por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas	118
6.2.4.1.1. Población y vivienda vulnerable	120
6.3. Resultados del análisis espacial de la exposición.....	121
6.3.1. Mapa de exposición ante la inundación.....	121
6.3.1.1. Infraestructura expuesta en Tula de Allende en la zona de inundación.....	122
6.3.1.1.1. Mapa de exposición y elementos expuestos	123
6.3.1.1.2. Elementos expuestos por sectores	124
6.3.2. Mapa del grado de exposición por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas	128
6.3.2.1. Población y vivienda expuesta	129
6.3.3. Mapa de zonas libres ante inundaciones bajo las condiciones del evento del 2021.	130
6.4. Resultados del análisis espacial del riesgo ante inundaciones	131



6.4.1. Mapa de Riesgo por Inundación en Tula de Allende.....	131
6.4.2. Mapa del grado de riesgo por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas	133
6.4.2.1. Población y vivienda afectada ante el Riesgo de inundaciones.....	134
6.5. Resultados del análisis forense de inundaciones	135
6.5.1. Recopilación de información histórica	135
6.5.2. Recopilación de Información geográfica.....	135
6.5.3. Recopilación de información de campo	136
6.5.3.1. Enfermedades relacionadas con la inundación de aguas negras.....	136
6.5.3.2. Tiempo en que bajo el nivel de la inundación	137
6.4.1. Causas de las inundaciones en Tula de Allende	137
6.4.1.1. Causas de origen político en la gestión de aguas residuales y pluviales ...	137
6.4.1.2. Causas Históricas y relación con el Drenaje Profundo de la Ciudad de México	138
6.4.1.2. Crecimiento poblacional y poca eficiencia en el ordenamiento territorial y empleo de atlas de riesgo.....	138
Capítulo 7. Medidas de Gestión del Riesgo ante Inundaciones	140
7.1. Medidas recomendadas para gestionar el riesgo ante inundaciones en Tula de Allende	140
7.1.1. Medida 1: Gestión de aguas residuales y pluviales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....	140
7.1.2. Medida 2: Sistema de Alerta Temprana.....	141
7.1.3. Medida 3: Campaña permanente de limpieza de residuos sólidos y desazolve del río.....	143
7.2. Medidas implementadas por la CONAGUA.....	145
7.2.1. Ampliación y revestimiento del río Tula	145
Capítulo 8. Conclusiones y recomendaciones	148
8.1. Conclusiones.....	148
8.2. Recomendaciones	149
8.2. Reflexiones finales	150
9. Referencias Bibliográficas.....	152
10. Anexos	161



10.1. Tabla de la profundidad de inundación en Tula de Allende con coordenadas.....	161
---	-----

Índice de Figuras

Figura 1. Municipio de Tula de Allende, Estado de Hidalgo.	28
Figura 2. Hipsometría del municipio de Tula de Allende, Hidalgo, México.....	29
Figura 3. Hipsometría de la Localidad de Tula de Allende.	30
Figura 4. Mapa de los tipos de climas	32
Figura 5. Precipitación total anual en el municipio de Tula de Allende.....	33
Figura 6. Regiones Hidrológicas de México	35
Figura 7. Mapa de ubicación del Río Tula y los afluentes	39
Figura 8. Afluentes del río Tula.....	41
Figura 9. Las relaciones y procesos clave en la construcción social del riesgo	45
Figura 10. Ubicación del túnel o tajo de Nochistongo con lo que se desvían las aguas del río Cuautitlán, evitando que lleguen a Zumpango.	47
Figura 11. Sistema del sistema de drenaje de la cuenca de México, desde el Gran Canal de Desagüe, hasta el Drenaje Profundo, incluyendo los tres interceptores.....	50
Figura 12. Revestimiento del Río Tula.....	60
Figura 13. La Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021.....	66
Figura 14. Modelo lógico de la metodología de la presente investigación	68
Figura 15. Ciudad de Tula asentada junto al Río homónimo y los portales de salida de drenaje profundo de la Ciudad de México.....	70
Figura 16. Modelo lógico para la elaboración del mapa del peligro	71
Figura 17. Marca de la humedad del nivel del agua máximo y estable de la inundación	73
Figura 18. Técnica de traslado de niveles con nivel óptico de topografía.....	76
Figura 19. Uso del nivel óptico topográfico	78
Figura 20. Modelo Lógico para el Cálculo del Mapa de la Vulnerabilidad Global.....	87
Figura 21. Diagrama metodológico de la exposición.	94
Figura 22. Mapa de viviendas e instalaciones próximas al río.....	95
Figura 23. Factores constructores del riesgo	98



Figura 24. Se presenta el diagrama metodológico para el cálculo del mapa de riesgos.....	99
Figura 25. Resultado de la multiplicación de dos ráster.....	101
Figura 26. Mapa de la profundidad de la inundación de 2021 en Tula de Allende	104
Figura 27. Mapa de la profundidad de la inundación de 2021	105
Figura 28. Mapa del grado de peligro por manzana ante la inundación.....	107
Figura 29. Mapa de la zona de inundación y de la zona urbana de Tula de Allende.....	109
Figura 30. Mapa de la vulnerabilidad de la población	110
Figura 31. Mapa de la vulnerabilidad de las viviendas en Tula de Allende	112
Figura 32. Las manzanas centrales muestran mayor vulnerabilidad económica.....	114
Figura 33. Mercado Municipal de Tula de Allende Felipe Carbajal Arcia.....	116
Figura 34. Mapa de vulnerabilidad global.....	117
Figura 35. Mapa del grado de vulnerabilidad por manzana ante la inundación.....	119
Figura 36. Mapa de exposición ante la inundación de 2021 en Tula de Allende	121
Figura 37. Mapa de los elementos expuestos	122
Figura 38. Mapa de exposición en función de la altimetría y elementos expuestos	123
Figura 39. Mapa del grado de exposición por manzana ante la inundación.....	128
Figura 40. Mapa de las zonas altas y seguras en función de la altimetría ante las condiciones de inundación de 2021	130
Figura 41. Mapa de Riesgo por Inundación en Tula de Allende	131
Figura 42. Mapa del grado de riesgo por inundación por manzana	133
Figura 43. Mapa de los afectados por manzana por la inundación de 2021	135
Figura 44. Regleta de medición establecida por la CONAGUA.....	141
Figura 45. Componentes de un sistema de alerta temprana	143
Figura 46. Revestimiento en el río Tula	145
Figura 47. Marcas de humedad del nivel del agua a y b	169
Figura 49. Foto con el equipo de inundaciones en el Centro de Tula de Allende	170



Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de los métodos y resultados de investigaciones forenses de inundaciones	14
Tabla 2. Tipos de climas en Tula de Allende	31
Tabla 3. Inundaciones históricas en Tula de Allende.....	51
Tabla 4. Profundidades del agua de inundación	78
Tabla 5. Valores de la profundidad reclasificados (Natural Breaks)	81
Tabla 6. Cotas reclasificadas en función de los elementos expuestos	96
Tabla 7. Grados de Riesgo una vez reclasificada la capa resultante de la multiplicación..	101
Tabla 8. Grado de peligrosidad y el porcentaje de área en la zona de inundación	106
Tabla 9. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de peligro.....	108
Tabla 10. Grado de vulnerabilidad de la población y el porcentaje de área	111
Tabla 11. Grado de vulnerabilidad de las viviendas y el porcentaje de área	113
Tabla 12. Grado de vulnerabilidad económica y el porcentaje de área	115
Tabla 13. Grado de vulnerabilidad global y el porcentaje de área	118
Tabla 14. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de vulnerabilidad global	120
Tabla 15. Grado de exposición y el porcentaje de área.	124
Tabla 16. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura gubernamental	125
Tabla 17. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura crítica	125
Tabla 18. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura de movilidad	126
Tabla 19. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura de salud.....	126
Tabla 20. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura económica.....	127
Tabla 21. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura educativa.....	127
Tabla 22. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de exposición.....	129
Tabla 23. Grado de Riesgo y el porcentaje de área	132
Tabla 24. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de riesgo	134
Tabla 25. Coordenadas y profundidades de inundación de Tula de Allende.....	161



Capítulo 1. Introducción

Las inundaciones son un proceso socionatural, esta concepción nos explica que en él están involucrados complejos factores de índole físico y social, al materializarse en el medio toma gran importancia lo que el peligro en cuestión es capaz de expresar en magnitudes significantes para causar daños o pérdidas, además es esencial que una vez que el evento se presente, los elementos expuestos y vulnerables tengan las suficientes herramientas para combatir, mitigar, adaptarse y superar el peligro.

Es esencial destacar que las inundaciones son relevantes por su naturaleza y construcción social, por lo que se plantea el siguiente escenario donde la sociedad no existe: si un río presenta un caudal “excedente” tendera a subir el nivel del agua y a expandir sus límites de sus márgenes. Estas nuevas zonas de flujo de agua no significaran zonas de riesgo, debido a que las partes vulnerables son ausentes en este contexto. Por lo que se puntualiza que estas “nuevas zonas de flujo de agua” son una *expansión espacial y temporal de los márgenes del río*, y solo se materializan debido a un caudal máximo e hipotético para circunstancias particulares.

En un caso contrario donde la sociedad existe y este expuesta a un caudal excedente por diferentes causas, provocando que se hayan superado las dimensiones máximas permitidas por un río en cuestión, y de origen al crecimiento del nivel del agua, provocando la expansión de sus límites, en lugares donde comunmente no debería existir esa “invasión del nivel del agua”, provocando una inundación y zonas de riesgo.

Para esta investigación se aborda el Caso de Tula de Allende, una ciudad en el municipio homónimo, que fue inundada el 6 y 7 de septiembre de 2021, debido principalmente por el desfogue de las aguas fluviales y pluviales provenientes de la Ciudad de México, decisiones originadas y comandadas por la CONAGUA y el SACMEX.

Por consiguiente, esta investigación tiene como objeto el análisis forense de la inundación con el fin de aportar una investigación única dirigida a la atención de catástrofes o problemáticas hidrológicas y ambientales.



1.1. Antecedentes

1.1.2. Casos de estudio nacional

Los casos de estudio nacionales muestran un conjunto de técnicas basadas en el análisis de la metodología de la hidrología forense, las presentes empleadas varían respecto a procesos, variables y uso de software, enfocados en la hidrología, modelación y sistemas de información geográfica.

1.1.2.1. Análisis de la Hidrología Forense de la Presa El Carmen, El Marques, Querétaro

De acuerdo con Chávez (2022), su metodología permitió “la evaluación integral de una Presa y con ellos, poder predecir el riesgo de daño a la infraestructura de la Presa y mejor aún utilizarlo como un mecanismo preventivo y evitar una emergencia o desastre a la población”.

Para evitar riesgos de manera preventiva Chávez (2022) menciona que se afrontan mediante:

- ❖ Análisis y alerta de efectos del Niño en diferentes periodos.
- ❖ Análisis y alerta de los parámetros de precipitaciones en las estaciones climatológicas.
- ❖ La palabra probabilidad en la mayoría de los capítulos expuestos es uno de los factores más importantes que se debe de dar continuidad, retroalimentación y ser la base fundamental para la toma de decisiones acorde a periodos de retorno.
- ❖ Determinación de los eventos de Periodos de Retorno a diferentes años.

1.1.2.2. Revisión hidráulica e hidrológica de la lluvia del 22 de octubre de 2018 en Morelia empleando análisis forense

Como señalan los autores en este estudio se abordó “la modelación hidrológica de la zona afectada, identificando y representando el comportamiento del flujo durante y después de la tormenta, complementándose con el estudio del contexto socioeconómico mediante un análisis forense, definiéndose las afectaciones demográficas y poblacionales. El análisis simultáneo de ambos enfoques mostró el periodo de retorno de la tormenta, acorde con el



régimen pluviométrico de la zona de estudio, permitiendo establecer recomendaciones para mejorar la resiliencia en la capital michoacana” (García y Molina, 2024).

De acuerdo con García y Molina (2024), exponen que: “El análisis forense realizado en sus etapas de recopilación de eventos históricos y en la revisión de los programas de desarrollo, muestran que, en efecto, el crecimiento de la población en zonas propensas a inundarse ha provocado que la problemática al día de hoy se siga conservando y, con el crecimiento de la ciudad en regiones igualmente vulnerables puede verse un empeoramiento de la situación”.

1.1.3. Casos de estudio internacional

1.1.3.1. Investigación forense de datos para apoyar la planificación espacial

De acuerdo con Mendoza (2019), “Esta tesis explora el uso de la investigación forense de desastres para apoyar el desarrollo de planes espaciales en zonas propensas a inundaciones, con el fin de prevenir y reducir el riesgo de inundaciones” (p. 2).

Además, Mendoza (2019), expone que a través del empleo de la investigación forense pudo determinar y:

(i) comprender las causas del desastre y sus daños, e (ii) identificar el papel de la planificación espacial en la configuración del riesgo de desastres (es decir, si la planificación espacial es un factor de riesgo relevante o si ha contribuido a la prevención o reducción del riesgo). Este método se aplicó en el análisis de dos estudios de caso: las inundaciones de 2002 y 2013 en la ciudad de Grimma, en Sajonia (Alemania), y la inundación de 2012 en la región de Umbría (Italia), en Ponticelli, en Città della Pieve y Orvieto Scalo y Ciconia, en Orvieto. (p.2).

La importancia de la generación de resultados según Mendoza (2019) destacan en:

El vínculo entre la investigación forense de desastres y una nueva taxonomía de medidas de gestión del riesgo de inundaciones que apoya la selección de acciones para integrar eficazmente la prevención y la reducción del riesgo de inundaciones en la planificación espacial a diferentes niveles, aplicable a diferentes contextos (p.2)



1.1.3.2. Hidrología forense: Reconstrucción completa de una inundación extrema en una zona con escasez de datos

En este estudio se analizan las inundaciones en la región de Tesalia (Grecia) el 18 de septiembre de 2020, debido al huracán IANOS de acuerdo con Tegos et al. (2022). Así mismo Tegos et al. (2022) explican que:

El objetivo de este estudio fue realizar una investigación forense sobre la reconstrucción de la inundación en las cercanías de la ciudad de Karditsa. se combinó un modelo hidrográfico unitario de precipitación-escorrentía (CN) con un modelo hidrodinámico basado en ecuaciones 2D de aguas someras, mediante la combinación del software hidrológico HEC-HMS con el software hidrodinámico HEC-RAS. (p. 1)

Finalmente, compararon sus resultados con las imágenes de teledetección proporcionadas por los satélites SENTINEL, junto con los videos georreferenciados publicados en redes sociales. (p. 1)

En la siguiente tabla 1 se resumen los métodos de las investigaciones y sus resultados y hallazgos más sobresalientes que encontraron con el análisis forense:

Tabla 1. Comparación de los métodos y resultados de investigaciones forenses de inundaciones

Investigación	Métodos	Resultados
Análisis de la Hidrología Forense de la Presa El Carmen, El Marques, Querétaro. (Chávez 2022)	Planimetría forense. El Análisis de precipitaciones pluviales.	Los resultados de Chávez (2022), muestran: “ La cantidad de agua derivado al fenómeno del niño en 1925, y la gran cantidad de precipitaciones que se dieron en ese año. Escurrimientos de precipitaciones de la zona altas, derivada a la poca permeabilidad del suelo. Construcción de los Vertedores: el espacio de vertido es demasiado estrecho en sus medidas evitando el flujo de salida híbrida”.
Revisión hidráulica e hidrológica de la lluvia del 22 de octubre de 2018 en	Modelación hidrológica para representar el comportamiento del flujo	En cuando a la modelación hidrológica, la misma mostró que para una intensidad equivalente a la precipitación acaecida en este estudio, las avenidas más importantes de la zona y, a su vez, de la misma ciudad en algunos puntos conflictivos se presentaron tirantes que oscilaron desde los 10 hasta los 40 cm,



Morelia empleando análisis forense. (Ochoa y Molina, 2024)	Estudio socioeconómico para determinar afectaciones en la población.	pudiendo variar el resultado con el comportamiento real dados los coeficientes de uso de suelo y la situación de la red de drenaje. se logró establecer que la infraestructura civil de la zona afectada carece de capacidad ante eventos. La red de drenaje, a diferencia de la presencia del Río Chiquito, sí resultó ser un problema durante el paso del huracán Willa puesto que en el análisis forense se recoge que, efectivamente, el mismo se mostró en su máxima capacidad y permitió que el agua precipitada y proveniente de las zonas altas de la microcuenca quedara estancada en algunas partes de la zona de estudio, en particular en las correspondientes a una topografía uniforme.
Forensic Investigation of Post-Flood Damage Data to Support Spatial Planning. (Mendoza, 2019).	Recopilación de datos sobre daños posteriores a inundaciones para investigación forense	El análisis de los daños a los edificios en las inundaciones de 2002 y 2013 muestra que, como era de esperar, estos se debieron a la intensidad del peligro (profundidad del agua), el tiempo de alerta, las medidas adoptadas durante la respuesta y las medidas de prevención. Los daños económicos a los edificios en 2002 fueron, de media, un 25 % superiores a los de 2013, en consonancia con la importante diferencia entre la profundidad del agua en ambos eventos. El tiempo de alerta, el tiempo dedicado a medidas de emergencia y el porcentaje de hogares que tomaron medidas tanto de emergencia como de prevención también fueron mayores en 2013. En cuanto a los daños a los bienes inmuebles de las viviendas, la profundidad del agua tuvo un papel menos importante. El análisis de diferentes hipótesis indica que la duración de la inundación podría ser el parámetro más determinante en los daños a los bienes inmuebles en las inundaciones de Grima.
Hidrología forense: Reconstrucción completa de una inundación extrema en una zona con escasez de datos.	Modelación numérica. Simulación de la inundación y variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones	En definitiva, no existen doctrinas para reconstruir una inundación: deben evaluarse y utilizarse todos los productos de lluvia disponibles. Al final, las observaciones terrestres son la única “realidad”, en comparación con los datos indirectos proporcionados por los productos satelitales y de radar. Es generalmente aceptado que los estudios de inundaciones adolecen de falta de datos. La mayoría de las cuencas no están aforadas, y en las cuencas aforadas, un evento extremo y violento,



(Tegos et al., 2022)		como una inundación, puede destruir el sistema de monitoreo. La hidrología forense proporciona un marco en el que se extraen datos indirectos de diversas fuentes, como observaciones humanas (datos de colaboración colectiva). Los avances tecnológicos recientes, como los teléfonos celulares con buenas cámaras, el amplio acceso a internet y las plataformas de redes sociales, nos permiten obtener este tipo de datos para estudios de inundaciones con mayor facilidad. Una parte novedosa de nuestro estudio fue el uso de información pública distribuida en Facebook. Esta información parece ser un recurso valioso para validar eventos de inundación complejos en áreas con escasez de datos y registros aforados no disponibles. Esto ya ha sido documentado por varios estudios recientes [47,48] y se recomienda encarecidamente para estudios futuros similares.
-----------------------------	--	--

Nota: Elaboración propia.

Así mismo se puede apreciar que estos estudios representan la esencia del análisis forense de desastres, que se enfoca en descubrir las causas de raíz, reconstruir escenarios de peligro, vulnerabilidad y riesgo según sea el caso, y enfocarse en los factores generadores de riesgo y proponer acciones o medidas para mitigarlo.

1.2. Planteamiento del problema

El planeta experimenta cambios climáticos extremos, uno de estos procesos socio-naturales son las inundaciones, y conforme el tiempo avanza, estas se constituyen con mayor frecuencia y magnitud, además de que asumen esencial importancia por sus efectos en la economía, sociedad y desarrollo, ya que al ser perceptible el efecto de estas en las zonas urbanas, es necesario razonar, crear y aplicar soluciones para la prevención de estos procesos. Las investigaciones enfocadas en la hidrología forense son una herramienta empleada para conocer como han ocurrido los eventos destructivos para posteriormente implementar acciones para evitar su reproducción.



Debido a los eventos hidrometeorológicos que se presentan con mayor frecuencia y magnitud y sobre todo por los problemas latentes del drenaje profundo de la Ciudad de México es necesaria la aplicación del análisis forense de inundaciones para determinar el origen o la causa del evento y los agentes humanos que contribuyeron a incrementar los daños, los factores constructores del riesgo, con el fin de determinar y proponer medidas de gestión encaminadas a minimizar el riesgo local de desastre por inundaciones en Tula de Allende.

Reflexionando sobre la implementación de la hidrología forense es importante rescatar que al realizar la investigación documental y recopilar diversa información es esencial su aplicabilidad de este método para la explicación cronológica del desastre en sus diferentes etapas, es por eso por lo que se intentara responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles fueron los principales factores y actores sociales constructores del riesgo de la inundación?
2. ¿Cuáles son las zonas urbanas que representan la mayor profundidad de inundación y riesgo a inundación de Tula de Allende?
3. ¿Qué demuestra la investigación a través de la caracterización del peligro, vulnerabilidad, exposición y riesgo en el área de estudio?

1.2.1. Objetivo General

Analizar y recopilar información física, socioeconómica, histórica, política y ambiental, con el propósito de reconstruir el evento y determinar las causas, impactos y fallas asociadas con el evento de inundación del 2021, a fin de proponer medidas de gestión del riesgo local de desastre ante inundaciones en Tula de Allende, Estado de Hidalgo, México.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Recopilar la información geográfica, hidrográfica, hidrométrica, topográfica, política y socioeconómica para examinar los principales factores generadores del riesgo de inundaciones en Tula de Allende.



- ❖ Analizar la distribución de la inundación, así como su profundidad en toda la mancha de inundaciones para determinar las zonas de peligro.
- ❖ Analizar la información socioeconómica de las bases de datos de INEGI para determinar las zonas de vulnerabilidad.
- ❖ Analizar la topografía del terreno y la infraestructura expuesta de la zona de inundación, para clasificar la altimetría y para determinar las zonas de exposición.
- ❖ Integrar la información de las zonas de peligro, vulnerabilidad y exposición, con el fin de generar el mapa de riesgo por inundaciones.
- ❖ Reconstruir el escenario de inundaciones para determinar las zonas más afectadas por una inundación y determinar sus causas, con el fin de proponer medidas de gestión para minimizar el riesgo local de inundaciones mediante la información generada.

1.2.3. Justificación

Las inundaciones ocurridas por lluvias intensas han sido de los eventos más destructivos en México, son el segundo lugar de los desastres asociados a los fenómenos naturales que causan el mayor número de decesos (CENAPRED, 2019b).

De acuerdo con Bitrán, 2014, como se citó en López, (2019), por su ubicación y características geográficas México se encuentra expuesto constantemente a inundaciones provocadas por eventos hidrológicos extremos, los cuales generan grandes pérdidas económicas. Generalmente ocurre que muchas de estas inundaciones se ven agravadas por las condiciones de vulnerabilidad en que se encuentran diversas zonas urbanas y agrícolas. Tan sólo en la última década, el promedio anual de pérdidas económicas asociadas con inundaciones se estima en 21 mil 368 millones de pesos. De acuerdo con cifras del INEGI, cerca del 41% del territorio nacional y unos 31 millones de personas se encuentran en zonas de peligro ante eventos hidrometeorológicos.

De acuerdo con Bitrán, 2014, como se citó en López, (2019), por su ubicación y características geográficas México se encuentra expuesto constantemente a inundaciones provocadas por eventos hidrológicos extremos, los cuales generan grandes pérdidas económicas. Generalmente ocurre que muchas de estas inundaciones se ven agravadas por las condiciones de vulnerabilidad en que se encuentran diversas zonas urbanas y agrícolas.



Tan sólo en la última década, el promedio anual de pérdidas económicas asociadas con inundaciones se estima en 21 mil 368 millones de pesos. De acuerdo con cifras del INEGI, cerca del 41% del territorio nacional y unos 31 millones de personas se encuentran en zonas de peligro ante eventos hidrometeorológicos.

Como lo informa la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2021), en la madrugada del 07 de septiembre de 2021 los ríos Tula y Rosas se desbordaron provocando que el municipio se inundará por aguas negras, cobrando la vida de 17 pacientes en el Hospital General del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), más de 30 mil habitantes damnificados, pérdidas que sobrepasan los 100 mil millones de pesos y nueve municipios afectados.

1.2.3.1 Beneficio Social

La investigación sobre el análisis forense de inundaciones y la gestión del riesgo local de desastre tiene un impacto significativo en la comunidad debido a que estudios de esta índole benefician al conocimiento y descripción de las causas de los desastres y su génesis, así como la identificación de las principales zonas de peligro para la ejecución de planes de contingencia ante la eventualidad de un desastre socioambiental y económico con el fin de prevenir si es posible o mitigar los riesgos futuros.

1.2.3.2. Beneficio Económico

Desde una perspectiva económica, la gestión eficaz del riesgo de inundaciones puede generar importantes beneficios económicos. Reducir los daños a infraestructuras críticas, como carreteras, puentes y sistemas de agua potable y saneamiento, minimiza los costos de reparación y los tiempos de inactividad. Además, proteger las áreas residenciales y comerciales de las inundaciones ayuda a preservar el valor de las propiedades y promueve un entorno propicio para el desarrollo económico local sostenible. Así mismo la aplicación de estudios forenses ante inundaciones mejora la capacidad de respuesta ante posibles desastres, además se sigue propagando la inversión privada y pública al demostrar que se tiene un compromiso por el bienestar de la localidad, su seguridad y estabilidad económica.



1.2.3.3. Beneficio Académico

La investigación en el análisis forense de inundaciones contribuye al avance científico y técnico en el campo de la hidrología forense y en la gestión del riesgo por inundaciones. Los resultados obtenidos pueden informar y describir las causas por las que se ha presentado el desastre con el fin de que se corrijan ciertos errores que siguen incitando a un nuevo evento destructivo y minimizar el peligro.

1.2.3.4. Beneficio Socioeconómico

Los beneficios se traducen directamente en una mayor resiliencia y disminución de la vulnerabilidad económica ante desastres socionaturales, una reducción de costos asociados con las inundaciones y una mejora en la calidad de vida de los habitantes locales. Al prevenir pérdidas humanas y económicas significativas, se establece un entorno más estable que emite un crecimiento económico sostenible y su posterior desarrollo social. Esta capacidad de gestionar el riesgo de inundaciones tiene impactos positivos en la planeación urbana, atlas de riesgos y ordenamientos territoriales.

1.2.4. Hipótesis

La zonificación del riesgo por inundación en Tula de allende está determinada principalmente por la interacción del sistema de drenaje profundo de la ciudad de México, provocando insuficiencia de capacidad de conducción del río Tula, materializando el peligro a través de la profundidad de inundación por desbordamiento, la exposición de elementos a través de la altimetría del terreno y las vulnerabilidad global mediante las condiciones socio económicas de estos (población, viviendas y unidades económicas), siendo las causas documentales atribuibles al generación del riesgo.

La investigación forense de desastres puede apoyar identificar las causas fundamentales que generan riesgo de inundaciones, mediante la generación de escenarios de desastre y la investigación documental, para concientizar, cuantificar, prevenir y reducir el riesgo de inundaciones mediante medidas adecuadas al contexto de la zona de estudio.



Capítulo 2. Marco Conceptual

2.1. Gestión del Riesgo

De acuerdo con la Coordinación General de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos y Coordinación de Protección Civil y Bomberos de Toluca (2024), explican que la Gestión del Riesgo es: “El conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción, que involucra a los tres niveles de gobierno, así como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad. Involucra las etapas de: identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción”.

2.1.1. Riesgo de inundaciones

La gestión del riesgo ante inundaciones sigue tomando relevancia en diferentes niveles de gobierno debido a los impactos en la economía, infraestructura, medio ambiente, salud, por lo que su estudio y mitigación es ejecutada e incluida en planes de construcción en empresas privadas, en ordenamientos territoriales, atlas de riesgos, etc.

De acuerdo con la terminología de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (United Nations Office for Disaster Risk Reduction por sus siglas en inglés), UNISDR, (2009) expresan que “el riesgo es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas”.

La Confederación Hidrográfica del Cantábrico (2023), lo define como la “combinación de la probabilidad de que se produzca una inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a una inundación”.

Así mismo, en La Ley General de Protección Civil de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2012), se menciona que “el atlas nacional de riesgos es un sistema



integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables”.

Por lo tanto, es importante analizar estos factores que interactúan con el fin de comprender y explicar los hechos en el espacio geográfico.

2.1.2 Peligro

El peligro en este estudio será representado por la inundación, por lo tanto, este se define como la “probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado” (Congreso de la Unión, 2012).

2.1.3. Vulnerabilidad

Está definida como la “susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales” (Congreso de la Unión, 2012).

2.1.4. Exposición

De acuerdo con Pirani (2025) menciona que “la exposición al riesgo determina qué tan vulnerable es una empresa, proyecto o individuo ante posibles pérdidas o impactos negativos cuando un riesgo se materializa”.

2.1.5. Inundación

De acuerdo al glosario del Manual para el Control de Inundaciones (SEMARNAT/CONAGUA, 2011)⁵, la define como: “Es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ella, bien por desbordamientos de ríos, por subida de las mareas por encima del nivel habitual por avalanchas causadas por tsunamis”, es decir que hay zonas que están secas y tienden a ser invadidos por el agua más de lo habitual, que pueden detonarlo como factores sociales y naturales, el cual provocan grandes impactos negativos. (Protección Civil de Veracruz [PCV], 2023)



2.1.6. Hidrología

Esta ciencia de la tierra “estudia las propiedades físicas, químicas, mecánicas del agua, así como la distribución, circulación del agua en la superficie, la corteza y la atmósfera de la tierra. Estos estudios incluyen lluvia, escorrentía, humedad del suelo, evapotranspiración y balance de masa de glaciares” (Grupo HEH, 2021).



Capítulo 3. Marco Teórico

3.1. Gestión del riesgo de desastres

La gestión del riesgo por inundaciones involucra múltiples conceptos que deben entenderse individualmente y que al interactuar representan un reto para el desarrollo de las ciudades enfocándose en su sostenibilidad y la mitigación de impactos futuros.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2012), define la GRD como:

Procesos para diseñar, implementar y evaluar estrategias, políticas y medidas para mejorar la comprensión del riesgo de desastres, fomentar la reducción y transferencia del riesgo de desastres, y promover la mejora continua en las prácticas de preparación, respuesta y recuperación ante desastres, con el propósito explícito de aumentar la seguridad humana, el bienestar, la calidad de vida, la resiliencia y el desarrollo sostenible. (p. 5).

Por lo que nuestro fin es proponer medidas de gestión del riesgo de desastres una vez conociendo la construcción social del riesgo bajo un enfoque forense en inundaciones.

3.2. Hidrología forense

De acuerdo con Bonilla (2022), la hidrología forense “se basa en investigación científica para la reproducción de eventos hidrometeorológicos extremos pasados. El objetivo es de analizar sus causas, determinar responsabilidades y proponer acciones de prevención”. Así mismo en esta investigación se analizarán las causas, y se generarán escenarios de peligro, vulnerabilidad, exposición y riesgo, con el fin de que se determinen causas y proponer acciones de reducción del riesgo.

3.2.1. Aplicación de la hidrología forense en inundaciones

Según Bonilla, (2022) explica que este enfoque, tiene sus orígenes décadas anteriores y ha ido evolucionando hasta la actualidad y algunos eventos hidrometeorológicos se pueden estudiar bajo esta metodología forense.

Así mismo Bonilla (2022), explica lo siguiente:



En la literatura se comienza a acuñar este término entre los años setenta y ochenta, al observar la aplicabilidad del análisis forense en la ingeniería y en especial, en el campo del medio ambiente y de los recursos hídricos, iniciando en el estudio de la contaminación del agua subterránea.

Una inundación puede ser del tipo pluvial, fluvial o costera, según la causa que la genere. Para el primer tipo, esta se deriva de la precipitación a nivel local y de acuerdo con la capacidad del drenaje, el estancamiento puede durar desde minutos hasta varios días, y depende principalmente del tipo de suelo en la zona de inundación. Un evento del tipo fluvial se debe al desbordamiento de corrientes y a la acumulación del agua en la planicie. Mientras que una inundación costera inicia con el incremento de la marea y el ingreso del agua de mar tierra adentro, cubriendo grandes extensiones de terreno. Aunado a esto, por el tiempo en el que ocurren, pueden clasificarse como repentinas o lentas. Las inundaciones repentinas se deben a la respuesta rápida ante fuertes precipitaciones, por lo regular en las partes altas de la cuenca, y las lentas, se distinguen por desarrollarse durante largos periodos de tiempo en las planicies. Por otro lado, también se pueden presentar inundaciones debidas a la falla de infraestructura hidráulica o su operación, en donde el análisis forense podría determinar responsabilidades.

Es importante señalar que dentro las condiciones que pueden generar este fenómeno extremo, también se encuentran las modificaciones humanas del medio ambiente, como la alteración de las corrientes y planicies de inundación, y el cambio de uso de suelo, lo cual también estará relacionado con la vulnerabilidad de la zona ante daños por inundación y las correspondientes pérdidas económicas.

Para la aplicación de la hidrología forense a eventos de inundación, se requerirá contemplar, además de los principios hidrometeorológicos, hidrológicos e hidráulicos, aspectos sociales y políticos (Ramírez Orozco, 2015). Incluso es posible considerar aspectos económicos, utilizando técnicas de simulación de procesos hidrológicos e hidráulicos, y metodologías para la cuantificación de daños económicos. Los diagnósticos resultantes de este análisis pueden servir de herramienta técnica para el manejo de inundaciones, protección de ríos y planicies,



determinación de zonas inundables, diseño de medidas estructurales (obras de protección o control) y no estructurales (acciones de planeación, prevención, coordinación local o programas institucionales), incluso para el fortalecimiento del ordenamiento territorial.

3.2.2. Methodological Guide to Forensic Hydrology

Según Gutiérrez, (2022) señala que esta metodología se presenta como una “propuesta para la reconstrucción y explicación de hechos relacionados con la hidráulica y la hidrología. La Hidrología Forense incluye una doble idea: Un objetivo próximo o primario y una finalidad última o mediata. El objetivo primario o próximo es determinar la existencia de un incidente que se presume delito medioambiental o reconstruirlo. Alternativamente, es establecer o señalar la intervención de uno o varios sujetos en el incidente. Las revisiones independientes de casos no resueltos pueden ayudar a identificar pistas perdidas, potencial forense no identificado de las pruebas y otras cuestiones. Sin embargo, estas revisiones deben ser concluidas por personas cualificadas con el apoyo del organismo de investigación. Las recomendaciones prácticas tienen en cuenta las capacidades, los recursos y las limitaciones propias de cada organismo”.

Además, Gutiérrez (2022) expone que: “La conclusión debe responder a las preguntas asociadas a cada etapa de la investigación: Detección, localización, cronología, identificación y reconstrucción. Todas las conclusiones deben incluir la cuantificación de las incertidumbres. Si, por alguna razón, el hidrólogo forense adjunta condiciones que no garantizan la certeza de los resultados, es necesario solicitar datos secundarios y trabajar con una cantidad más extensa de evidencia material para profundizar, y sistematizar el estudio o al menos; mencionar la incertidumbre para llegar a una conclusión.

3.2.3. Análisis Forense de inundaciones: una guía metodológica

El sustento de la guía está basado principalmente en la integración de procesos hidrometeorológicos, hidrológicos e hidráulicos, incluyendo además el análisis de información tanto política como social de acuerdo con Ramírez y Herrera (2016). La



implementación de los todos los factores generadores de riesgo facilita la gestión ante el riesgo de inundaciones. (p.25)

La guía metodológica revela un conjunto de factores esenciales que interactúan y es necesario su análisis. Ramírez y Herrera (2016) lo resumen en los siguientes textos:

La ingeniería forense y, en particular, la hidrología forense, cuyo objetivo primordial es determinar la causa probable de un evento y las fuentes humanas que contribuyen a incrementar los daños, han sido poco explotadas en fenómenos de este tipo, desaprovechando así las ventajas que podrían proporcionar las investigaciones con dicho enfoque. Cualquier investigación de tipo forense tiene la finalidad predeterminada de establecer cómo ocurrió un hecho y, eventualmente, qué hacer para evitar su repetición.

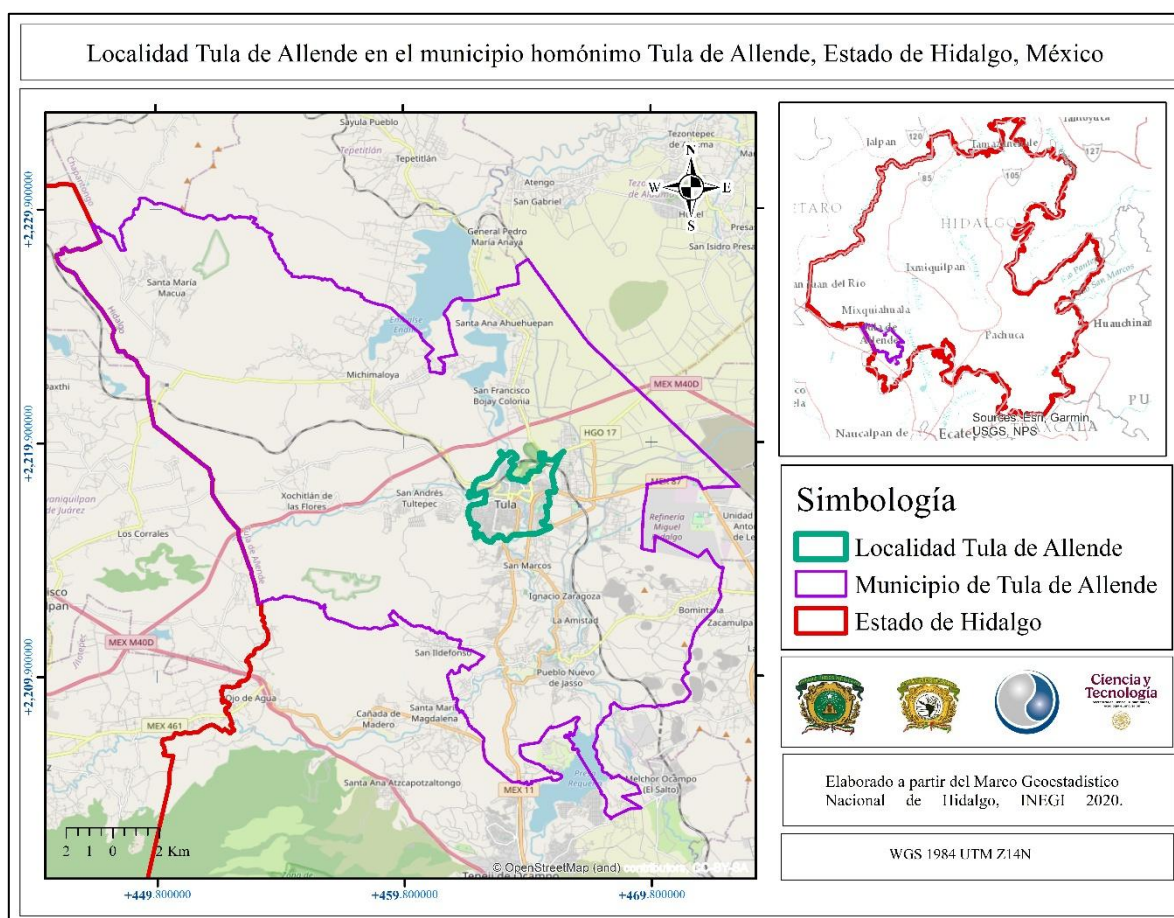
El objetivo de este documento es proporcionar una guía metodológica con base científica, que permita el análisis de inundaciones desde una perspectiva forense, unificando criterios de actuación y estableciendo pautas metodológicas para dicho análisis, lo que permite obtener resultados lo suficientemente objetivos como para planear estrategias de mitigación de sus efectos. En la guía se incluyen integralmente factores geográficos, hidrológicos e hidráulicos, sociales, políticos y económicos, y la forma de identificar cuáles intervinieron como los principales favorecedores o agravantes ante un evento de inundación. (p. 26)

Capítulo 4. Caracterización de la zona de estudio

4.1. Localización

Geográficamente el Municipio de Tula de Allende se ubica en la región del Valle del Mezquital. Se localiza entre los paralelos $20^{\circ} 03'09''$ latitud norte y $99^{\circ} 20'48''$ longitud oeste del meridiano de Greenwich, tomando como base la Catedral centro de Tula a una altitud de 2,020 metros sobre el nivel del mar (figura 1). Colinda al norte con Chapantongo, Tepetitlán y Tezontepec de Aldama, al sur con Tepeji de Ocampo, al este con Atotonilco de Tula, Atitalaquia y Tlaxcoapan, y al oeste con el Estado de México. (Secretaría de Planeación, Desarrollo Regional y Metropolitano, 2011)

Figura 1. Municipio de Tula de Allende, Estado de Hidalgo.



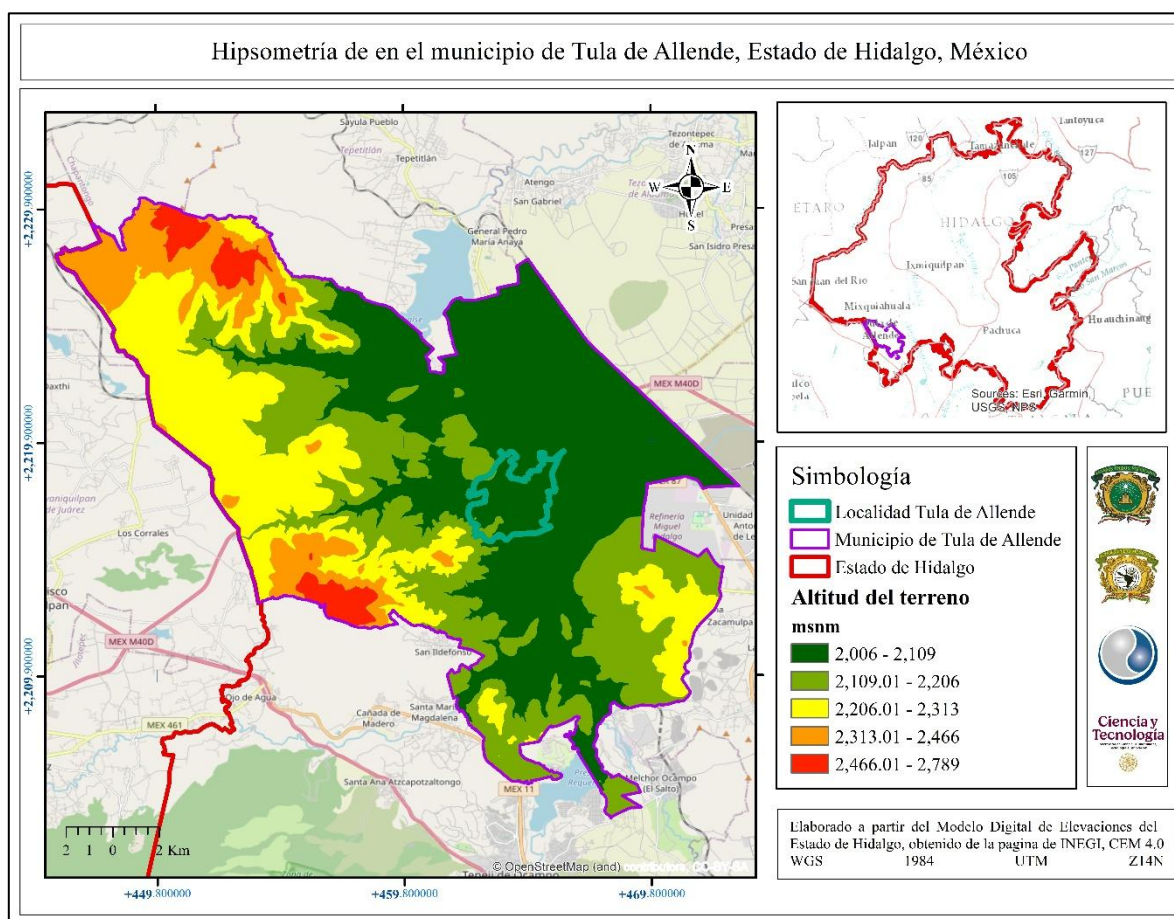
Nota: Elaboración propia.

La SPDRM (2011) expresa que “Tula cuenta con una superficie territorial de 335.86 Kms². Lo que representa el 1.61% de la superficie del Estado”.

4.2. Hipsometría

De acuerdo con la información descargada del portal de CONABIO y geoprocesada obtenemos la hipsometría (figura 2) para el municipio de Tula de Allende, se tiene una altitud máxima del terreno de 2789 msnm y la mínima de 2006 msnm.

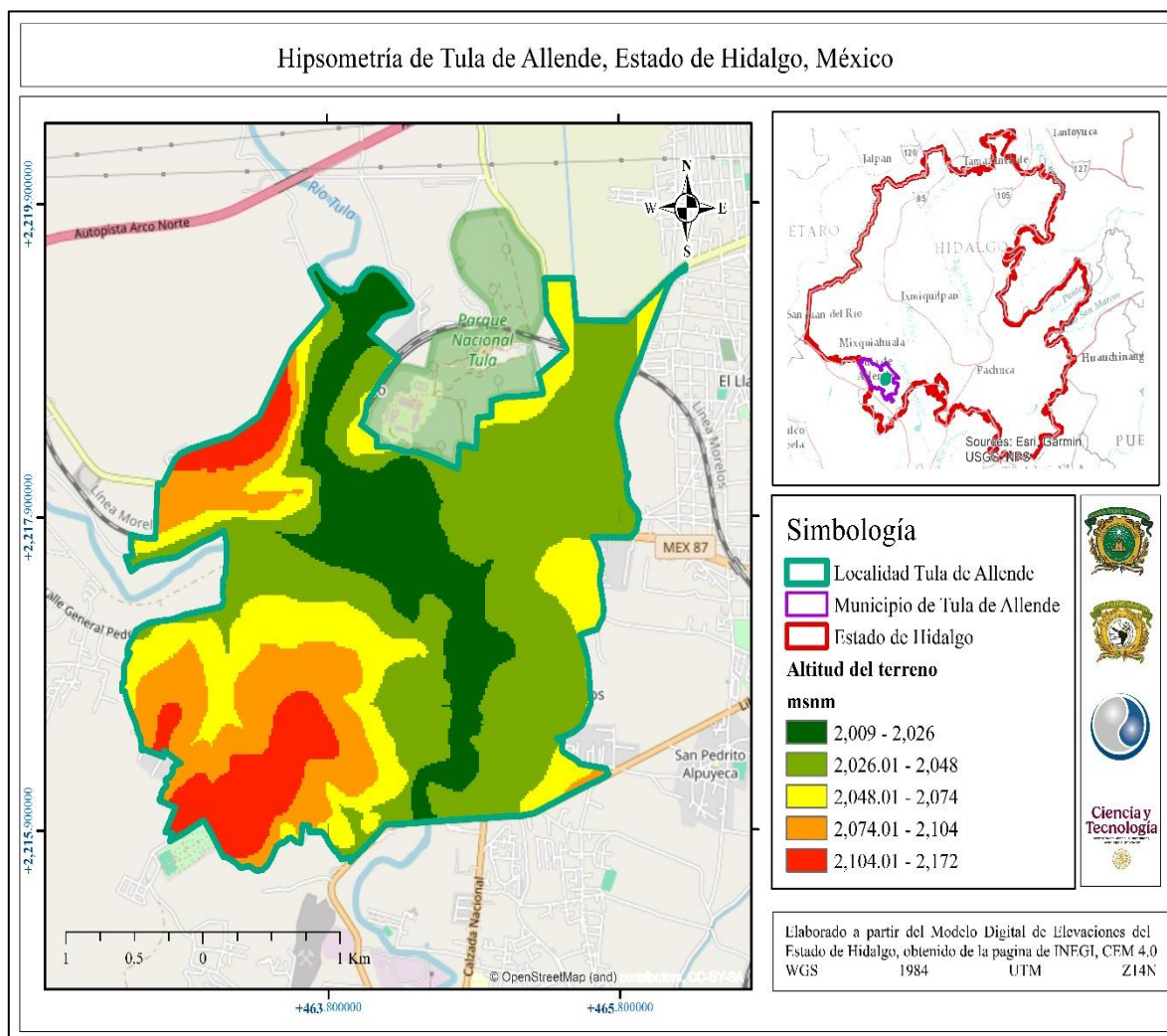
Figura 2. Hipsometría del municipio de Tula de Allende, Hidalgo, México.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo, debido a que en el estudio nos enfocamos en la localidad homónima, obtenemos que la hipsometría (figura 3) varía desde los 2009 msnm hasta los 2172 msnm.

Figura 3. Hipsometría de la Localidad de Tula de Allende.



Nota: Elaboración propia.



4.3. Clima

Para la zona de estudio se han identificado los tres tipos de climas (tabla 2) respecto a la clasificación de Köppen modificada por García en Tula de Allende.

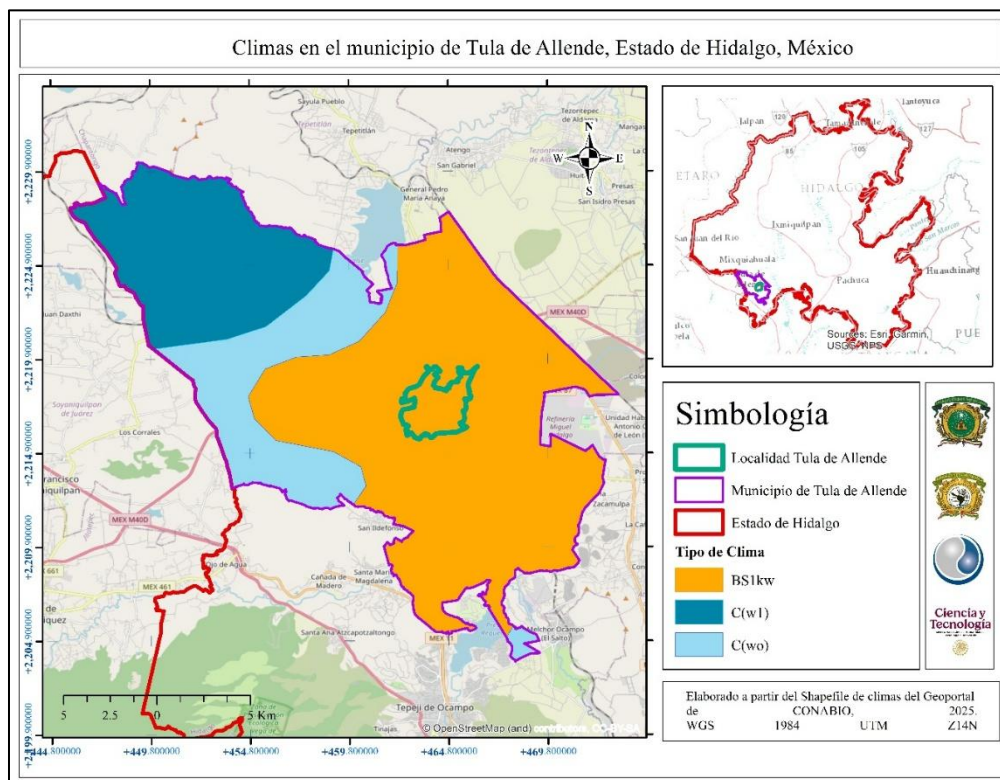
Tabla 2. Tipos de climas en Tula de Allende

Clave	Tipo de Clima	Descripción
BS1 (Estepario semiseco) Corresponde a los que tienen un cociente P/T mayor de 22.9	Semiseco templado	De acuerdo con García 1998, este clima esta caracterizado por ser: “semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C”.
C (Templado)	Templado subhúmedo	De acuerdo con García 1998, este clima esta caracterizado por ser: “Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C”.
C (Templado)	Templado subhúmedo	De acuerdo con García 1998, este clima esta caracterizado por ser: “Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C”.

Nota: Tipos de climas en la zona de estudio de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García, 1998. De Geoportal de CONABIO, 2025.

De acuerdo con la información geoprocesada el Geoportal de CONABIO, se obtuvieron los siguientes tipos de climas (figura 4) representados espacialmente, y se describe que es más extenso el semiseco templado (semiárido).

Figura 4. Mapa de los tipos de climas

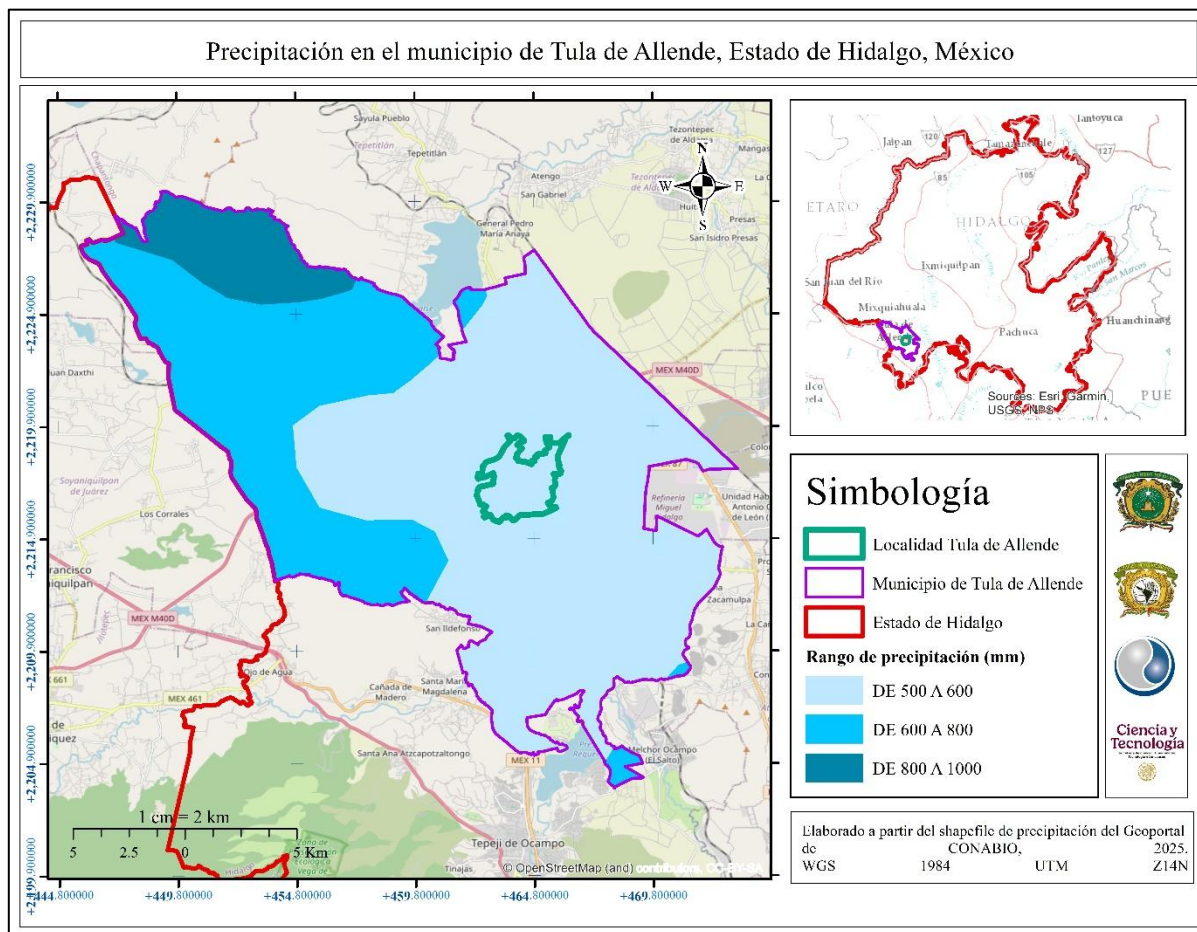


Nota: Mapa de los climas en la zona de estudio de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García, 1998. De Geoportal de CONABIO, 2025.

4.4. Precipitación

De acuerdo con la información proporcionada por el Geoportal de CONABIO, y geoprocesada para el municipio de Tula de Allende, se tiene una precipitación total anual mínima de 500 mm hasta los 1000mm (figura 5) en el noroeste de Tula.

Figura 5. Precipitación total anual en el municipio de Tula de Allende



Nota: Precipitación total mensual en Tula de Allende, siendo más extensa el área donde el rango de precipitación va de los 500 a 600. Elaboración propia con información del Geoportal de CONABIO, 2025.



4.5. Hidrografía

El contexto hidrográfico de la zona de estudio se explica de forma general hasta caracterizar su relación con el cuerpo superficial Río Tula.

4.5.1. Regiones Hidrológicas de México

En el territorio nacional se administran 37 regiones hidrológicas. De acuerdo con la información de la SEMARNAT (2015) expone que:

En México existen 37 regiones hidrográficas, en México se ubican 37 regiones hidrológicas definidas a partir de grandes parteaguas del país. En cada una de estas regiones hidrológicas está contenida, al menos una cuenca, y a su vez, no existe cuenca alguna que esté en más de una región hidrológica. La Región hidrológica de mayor extensión territorial es la Bravo-Conchos con 229 740 km² y la más pequeña, con apenas 5 225 km² es la Región del Río Huicicila. La región más lluviosa es la Región Costa de Chiapas con 2 347 mm de precipitación normal anual, en contraste con la Región de B.C. Centro Este que apenas recibe 101 mm.

Las Regiones hidrológicas están conformadas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas; en ellas se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos. Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas, por lo que sus límites son, en general, distintos a la división política por estados y municipios.

La zona de estudio se localiza (figura 6) en la RH26 Pánuco, compartiendo frontera al norte con la RH25 San Fernando Soto la Marina Y RH37 El salado, al este con la RH Norte de Veracruz, al oeste con la RH Lerma Santiago, finalmente al sur con la RH18 Balsas.

Figura 6. Regiones Hidrológicas de México



Nota: De Región hidrológicas de México, SEMARNAT, 2015.

4.5.2. Región Hidrológica Pánuco RH26

La localización, límites y extensión y características lo describe el INEGI (2024) a continuación:

La cuenca río Pánuco es de tipo exorreica cuya desembocadura es a través del río del mismo nombre hacia el Golfo de México. Se localiza al oriente de la República Mexicana y es parte de la Región Hidrológica 26 (RH26). Limita al norte con las cuencas: río Soto la Marina, Interior de Matuhuala, San Luis Potosí, La Lagunita y arroyo El Rayo del Puerto; al sur con la cuenca Ciudad de México y otras; al este con el Golfo de México y las cuencas: río Barberena, estero Cucharas, río Tuxpan, río Cazones y río Tecolutla; y al oeste con las cuencas: Lerma-Chapala y río Santiago.



Geográficamente se localiza entre las coordenadas extremas: 23°58' y 19°35' latitud norte, y 97°45' y 101°21' longitud oeste (gráfica A); su extensión aproximada es de 88 048 km² (equivalente a 4.5 % del territorio nacional) distribuida total y parcialmente entre 206 municipios (mapa A) de los estados de San Luis Potosí (30.12 %), Hidalgo (19.54 %), Tamaulipas (18.40 %), Veracruz (11.77 %), Querétaro (10.39 %), Guanajuato (6.00 %), Estado de México (3.17 %), Nuevo León (0.53 %), Puebla (0.08 %) y Michoacán (0.01 por ciento). (p. IX)

Para describir el ambiente hidrológico de sus principales cuencas y subcuencas de interés para la zona de estudio se seleccionaron las que están relacionadas al Río Tula

4.5.3. Cuenca Río Moctezuma RH26D

Así mismo, para la cuenca del Río Moctezuma sus características de acuerdo con el INEGI (2024) se exponen a continuación:

Es la cuenca más extensa con una superficie aproximada de 33 755.75 km² , que corresponde a 38.34 % del área. El cauce principal es el río con el mismo nombre; de acuerdo con la red hidrográfica escala 1:50 000 y al modelo de Horton-Strahler (1952), este alcanza magnitud de orden ocho (mapa 4.2); nace como río Prieto en las sierras de Querétaro, cerca de la sierra de Zimapán recibe al río Tula por el margen derecho de orden siete como uno de sus principales tributarios, proveniente de la sierra de Hidalgo; por el borde izquierdo alberga al río Santa Clara de orden siete descendiende de la sierra alta escarpada de Querétaro, posteriormente incluye otros tributarios de menor magnitud hasta desembocar por el margen derecho de río Pánuco. (p.55)

4.5.4. Subcuenca Río Tula RH26Dj

El estudio llevado a cabo por la CONAGUA, (2024b) determina que:

Originalmente nacía en los llanos de Tula, sin embargo, con la construcción de los sistemas de desagüe de la Ciudad de México y su zona metropolitana, recibe aportaciones de los ríos del Valle de México que alimentaban a los lagos de Texcoco, Chalco, Xochimilco, Zumpango y Xaltocan. (p. 4).



El río Tula es una corriente de agua que corre por el estado de Hidalgo en el centro de México, con una longitud aproximada de 130 km, se encuentra en la cuenca del río Moctezuma, en la subcuenca del río Tula, la cual tiene una superficie de 2,069.73 km² y una disponibilidad de 10.14 Mm³. Es importante destacar que las inundaciones tienen su principal causa en este último punto, debido a que el caudal proveniente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es dirigido hacia el Río Tula.

4.5.5. Afluentes del Río Tula

De la misma forma se muestran en la figura 7 del precedente estudio de la CONAGUA, (2024b) determina que los principales afluentes son:

4.5.5.1. Río Salado

El río Salado tiene su origen a partir de la confluencia de los túneles de Tequixquiac, hasta llegar al río Tula, con una longitud de 47 km. Se encuentra en la cuenca del río Moctezuma y en la subcuenca del río Salado, la cual tienen una superficie total aproximada de 661.73 km² y una disponibilidad de 2.335 Mm³. (p.4)

4.5.5.2. Río el Salto

El río el Salto tiene una longitud aproximada de 13.42 km hasta la PTAR Atotonilco, donde una parte de su flujo se va para el río Tula y otra para el Canal Salto-Tlamaco para riego. Se encuentra en la cuenca del río Moctezuma y en la subcuenca del río El Salto, la cual tiene una superficie total aproximada 856.98 km² y cuenta con una disponibilidad de 0.254 Mm³. (p.5)

4.5.5.3. Río Rosas

El río Rosas tiene una longitud aproximada de 25.03 km hasta el río Tula. Se encuentra en la cuenca del río Moctezuma y en la subcuenca del río Rosas, la cual tiene una superficie total aproximada de 296.51 km² y cuenta con una disponibilidad de 0.254 Mm³. (p.5)



4.5.5.4. Río Tepeji

El río Tepeji tiene una longitud aproximada de 28.50 km, tiene su origen en la salida de la presa Taxhimay, después sigue su recorrido y cruza la Ciudad de Tepeji del Río hasta llegar a la presa Requena, para finalmente desembocar en el río Tula. Se encuentra la subcuenca del río El Salto, la cual cuenta con una disponibilidad de 0.008 Mm³. (p.5)

4.5.5.5. Presa Taxhimay

La presa Taxhimay, se construyó en el año 1912, se encuentra en el Estado de México, el cauce principal de esta es el río San Jerónimo, que es afluente del río Tepeji, dicha presa se encuentra en el municipio Villa del Carbón y es operada por CONAGUA. Tiene una capacidad de almacenamiento al NAMO de 39.91 Mm³, esta presa es de vertedor libre, la capacidad máxima por vertedor es de 750 m³/s y la capacidad máxima de la obra de toma es de 14 m³/s. La cuenca de aportación de la presa tiene una superficie de 401 km² y tiene una disponibilidad de 0.008 Mm³. Su principal uso es riego agrícola y aguas abajo de la presa se ubica principalmente la localidad de Tepeji del Río, la capacidad del cauce aguas abajo actualmente es de 81 m³/s a población. (p.5)

4.5.5.6. Presa Requena

La presa Requena, se construyó en el año 1919, se encuentra en el estado de Hidalgo, es alimentada por el cauce del río Tepeji, a su salida confluye con el río Tula, dicha presa se encuentra en el municipio Tepeji del Río de Ocampo y es operada por CONAGUA. Tiene una capacidad de almacenamiento al NAMO de 51.57 Mm³, esta presa es de vertedor mixto, la capacidad máxima por vertedor controlado es de 335 m³/s y la capacidad máxima de la obra de toma es de 12 m³/s. La cuenca de aportación de la presa tiene una superficie de 456 km² y una disponibilidad de 0.008 Mm³. Su principal uso es riego agrícola y aguas abajo de la presa se ubica principalmente la localidad de Tula de Allende, la capacidad del cauce aguas abajo actualmente es de 240 m³/s. (p.6)

El río Jilotepec, también conocido como río Coscomate o río Tlautla, tiene una longitud aproximada de 46.06 km hasta el río Tula, el río con el nombre de Tlautla tiene su origen en la salida de la presa Danxhó, en el Estado de México. Se encuentra en la cuenca del río Moctezuma y en la subcuenca del río Tlautla, la cual tiene una superficie total aproximada de 507.62 km² y una disponibilidad de 0.254 Mm³. (p.6)

El arroyo al Colmena, también conocido como arroyo Chideje, tiene una longitud aproximada de 4.6 km y su principal afluente es el arroyo Grande. se encuentra en la cuenca del río Moctezuma y en la subcuenca del río Tlautla, con una disponibilidad de 0.254 Mm³. (p.6)

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

MAPA DE UBICACIÓN RÍO TULA Y AFLUENTES

Subdirección General Técnica
Gerencia de Calidad del Agua

SIMBOLOGÍA	
	Ríos principales
	Cuencas
	Embalses
	Límite estatal
	Túnel

Fuente de datos:
Gerencia de Calidad del Agua
Geobase de Datos Institucional del Agua

Coordenadas: WGS 84
DATUM WGS 1984

El mapa principal muestra el curso del río Tula desde su nacimiento en la Sierra Madre Oriental hasta su desembocadura en el Golfo de México. Se detallan sus principales afluentes como el río Rosas, río Moctezac (Coscomate), río Toluca, río Tlahualilo y río San Juan. También se indican presas importantes como Endrón, Riquena y Tahzimay. El mapa incluye una escala de 0 a 26 km y una brújula.

En la parte inferior derecha, un mapa de México resalta la ubicación del área estudiada en el estado de Hidalgo, cerca de la frontera con el Estado de México.

Es indispensable destacar que la inundación fue causada por el caudal originado en la Zona Metropolitana de la ciudad de México, y mal gestionado por la CONAGUA y el SACMEX



a través del drenaje profundo, por lo que a continuación se expone su relación con el Río Tula.

4.5.5.9. Túnel Emisor Central y Túnel Emisor Oriental

El problema de inundaciones en la ciudad de México dio lugar a la construcción de obras hidráulicas para redirigir el escurrimiento y minimizar sus inundaciones, sin embargo, como ya es conocido, se prefirió exponer a otras comunidades en el Valle del Mezquital debido a que el Río Tula recibe este flujo.

Con el trabajo de Dávila (2021) reafirma que: “analistas y periodistas han señalado que en el río Tula desemboca el drenaje profundo de la Ciudad de México, específicamente los túneles Emisor Central y Emisor Oriente (como se citó en Courty, 2021)

Sánchez, (2025) declaro respecto al evento de la inundación del 2021:

Lo que hizo que el río se desbordara fueron varios factores entre el desfogue combinado de la Presa Danxhó y la Presa Requena, el torrente adicional de al menos 220 metros cúbicos de aguas negras y pluviales provenientes del Valle de México.

Las aguas negras y pluviales se juntan en una serie de colectores a lo largo de la zona metropolitana. Todo esto debido no solo a los fenómenos naturales, sino a malas decisiones y estrategias derivó en la afectación de la zona del Tula, su gente y su el ecosistema.

De acuerdo con Hernández et al. (2021), afirma que:

La función más importante del TEC es conducir fuera de la ciudad el agua colectada del sistema de drenaje profundo. Su trayecto inicia en la delegación Gustavo A. Madero y finaliza en el río El Salto. El agua es bombeada en varios puntos del TEC debido a la actual diferencia de altitud entre la ZMCM y el Valle del Mezquital.

Las descargas se vierten al río El Salto, afluente del río Tula y almacenada en la presa Endhó que actúa como cuerpo de agua regulador y distribuidor del agua de riego (Abedrop-L. et al., 2012, como se citó en Hernández et al., 2021).

De acuerdo con la SEMARNAT (2007), el túnel Emisor Oriente se terminará en cuatro años y podrá conducir en promedio 150 metros cúbicos por segundo.

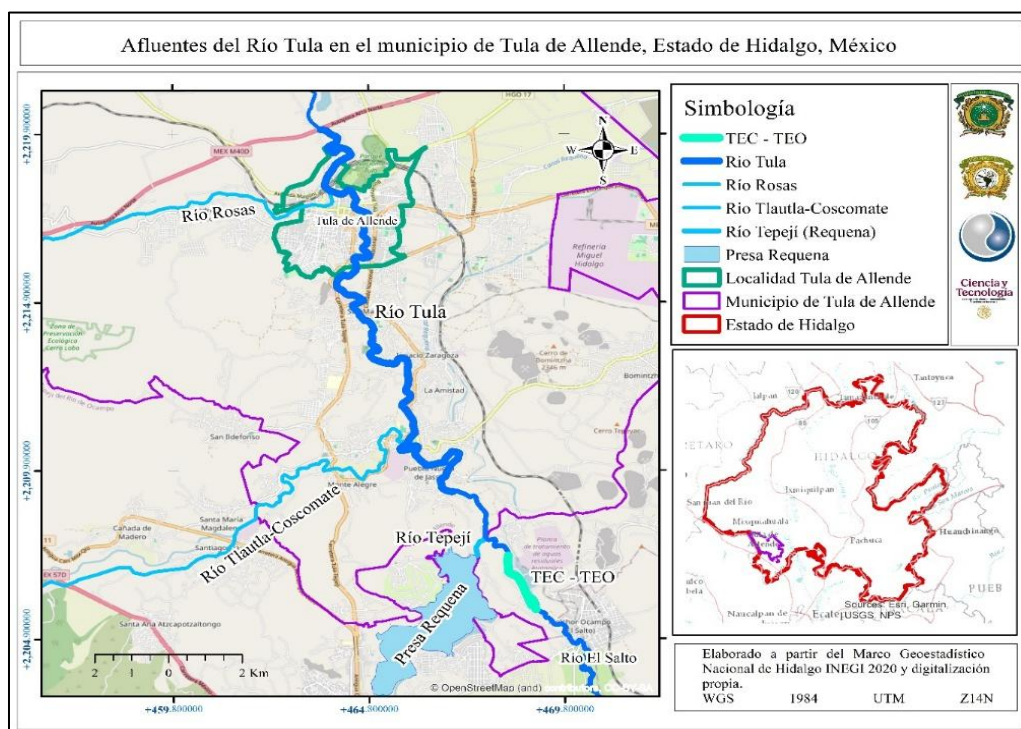
Así mismo la secretaria expresa que “Iniciará en la segunda lumbrera del túnel Interceptor del Río de los Remedios y continuará hasta su descarga total en el río El Salto, cerca del actual portal de salida del Emisor Central, en Hidalgo” (SEMARNAT, 2007).

4.5.5.10. PTAR Atotonilco

De acuerdo con González (2014), el agua ya tratada se enviará a canales de riego o bien al río El Salto, que desemboca en la presa Endhó, de manera que esta presa también se irá saneando paulatinamente después de que la planta entre en operación.

Debido a estas obras hidráulicas es de suma importancia conocer el origen de las aguas residuales que causaron el desbordamiento del Río Tula y que este es regulado principalmente para evitar inundaciones en la Ciudad de México. En la siguiente figura 8, se presentan los afluentes del Río Tula.

Figura 8. Afluentes del río Tula



Nota: El mapa representa los principales afluentes del río Tula cercanos en la ciudad, que serán importantes para el análisis forense de inundaciones. Elaboración propia. Se aprecian los afluentes y la desembocadura del Túnel Emisor Central y el Túnel Emisor Oriental. Elaboración propia.



Capítulo 5. Metodología del análisis forense por inundaciones

5.1. Análisis Forense de Desastres

La integración y análisis forense de inundaciones se basó en las guías metodológicas de Gutiérrez (2022) sobre la *hidrología forense*, Ramírez y Herrera (2015) acerca del *análisis forense de inundaciones*, y Oliver et al. (2016) para la *investigación forense de desastres*.

Como lo menciona Alcántara (2024), “es relevante, estudiar los desastres mediante un enfoque forense, esto permite analizar las causas de fondo” por lo tanto en esta investigación se aplicó desde la perspectiva y técnicas forenses de desastres, debido a que en investigaciones de la misma índole se ha demostrado que analizar el problema multidisciplinariamente conlleva a la comprensión del problema, sus orígenes, sus factores que construyen tal riesgo, y por su puesto al identificar las causas de fondo se implementan ideas, tratamientos o propuestas para mitigar riesgos futuros.

Para el Análisis Forense de Inundaciones para Tula de Allende, se han implementado algunos enfoques de la FORIN (*Forensic Investigations of Disasters, por sus siglas en inglés*)” esenciales para explicar y profundizar las causas de raíz.

Así mismo actualmente en México se posee poca empatía, empeño y voluntad sociopolítica para aplicar medidas ya existentes y mejorar múltiples problemas, también se tiene exceso de la falta de preparación de actores esenciales que no son capaces de gestionar los pilares para materializar una sociedad sostenible. Por lo que este documento intenta explicar las causas de raíz para ya no depender de la gestión reactiva durante y post evento destructivo, con el fin de que se tenga conciencia de que, si existe un error o causa generadora de algún riesgo, se corrija y se evite una posible catástrofe.

5.1.1. Relevancia de las investigaciones FORIN

Debido al crecimiento poblacional mundial y nuestra relación con los ecosistemas se ha estado degradando, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, y a la extracción desmedida de recursos minero y naturales, lo que ha provocado cambios en los patrones climáticos, causando que cada vez los procesos socionaturales con desastres significativos y



preocupantes como las inundaciones sean cada vez más frecuentes y de mayor magnitud. De hecho, sobre la frecuencia acelerada de los desastres se ha utilizado una expresión de “epidemia del desastre” Oliver et al. (2016) enfatizan que:

Este uso del término “epidemia” para caracterizar la propagación de los desastres es, por supuesto, metafórica; no se refiere a la incidencia generalizada de un único evento desencadenante y sus impactos en una población susceptible, sino más bien a un conjunto de procesos sociales y económicos similares en todo el mundo que conducen al riesgo. (p. 18)

Esto ha provocado que las investigaciones dirigidas en la gestión del riesgo de desastres sean cada vez más exhaustivas, detalladas y multidisciplinarias con el fin de reducir los efectos negativos de las amenazas sobre los elementos expuestos por ejemplo una población o los recursos esenciales para la seguridad alimentaria.

Así mismo la implementación de las estrategias básicas en la mitigación de riesgos ha sido lenta y sin muchos avances en países tercermundistas que adoptan la gestión reactiva en lugar de la preventiva y adaptativa, aunando la corrupción característica de estos países es preocupante que una vez ocurrida una catástrofe parte de la población afectada le tome años reintegrarse y con la triste y visible probabilidad de volver a perder todo por un nuevo desastre.

Es por eso por lo que se analizan las causas de raíz, lo cual implementar los métodos forenses de desastres es adecuado para identificar aquellas causas, rescindir las, corregirlas y así aumentar la resiliencia de la población.

5.1.2. Características del FORIN

En este aspecto se exponen las particularidades y fines de la investigación forense de desastres, de acuerdo con Oliver (2016) la intención del proyecto FORIN:

Es ayudar a promover y producir estudios integrados que están diseñados no solo para mejorar nuestra comprensión de las causas de los desastres sino ser relevantes y útiles a nivel político, proporcionando opciones de política y prescripciones basadas en la evidencia existente sobre el riesgo y las alternativas para la mejora de su reducción en el futuro. (p. 25)



FORIN no está diseñado para establecer culpabilidades concretas, acotadas a individuos o instituciones, aunque, en principio, no pueden descartarse, necesariamente, resultados de tal naturaleza. El término “forense” se utiliza para indicar una búsqueda de las causas de fondo, para identificar aquellas características y fuerzas sociales y los actores institucionales y sociales asociados que nutren y dan energía a los impulsores de riesgo que se expresan, en última instancia, en los patrones de vulnerabilidad y exposición que, cuando existen en el contexto de un evento natural o tecnológico, producen desastres. (p. 26)

De acuerdo con la idea anterior este estudio no solo se enfoca en determinar la culpabilidad, aunque no se descarta, si no también, tener un completo entendimiento de los factores generadores de riesgos, con el fin de que la gestión del riesgo de desastres sea efectiva.

5.1.3. Objetivos del FORIN

En conformidad con Oliver et al. (2016) menciona que “el objetivo general de la investigación forense de los desastres y del riesgo es identificar las causas subyacentes, de tal manera que puedan ser evaluadas y tratadas” (p. 27), por lo que es indispensable identificarlas de raíz.

Por lo que se rescatan los objetivos de la investigación FORIN que serán de apoyo para encaminar la presente investigación, por lo que Oliver et al. (2016), los muestra a continuación:

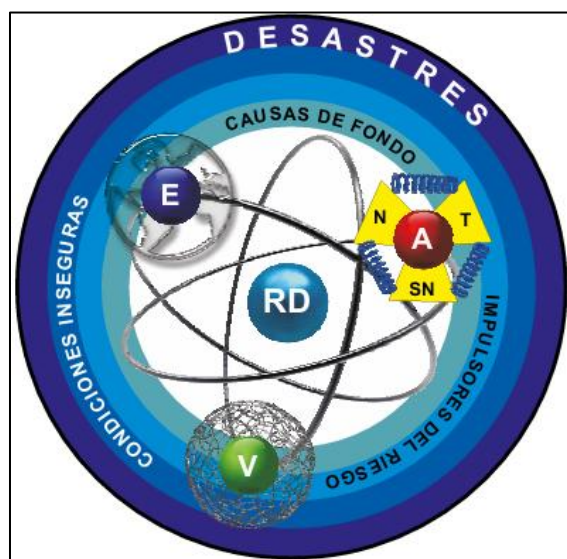
- ❖ Confirmar y demostrar con pruebas sólidas que el riesgo de desastre, donde es manejable, se construye socialmente.
- ❖ Identificar y evaluar las principales causas del riesgo de desastres e identificar formas en las que pueden reducirse o evitarse.
- ❖ Adoptar una diversidad de enfoques a la investigación (véase la sección 6 más adelante) y combinar sus resultados de manera tal que se puedan identificar las causas comunes de los desastres a través de los meta-análisis de los resultados.
- ❖ Promover la investigación integrada y trans-disciplinaria que involucra a todas las partes interesadas para permitir una comprensión más holística de las causas subyacentes y del riesgo de desastre. (p.27)

5.1.4. Construcción social del riesgo

Anteriormente se referían a un evento como las inundaciones como un fenómeno natural, sin embargo, es importante reformar esta concepción, debido a que son procesos siconaturales, esto sucede cuando un elemento asentado (humanidad) en un entorno natural (valle), está sujeto a experimentar los cambios y manifestaciones de ese entorno y su relación con otras variables físicas, por ejemplo, la relación de la precipitación en una cuenca y escorrentía que transporta toda la precipitación hacia las zonas bajas, causando inundaciones donde coexisten elementos vulnerables en zonas bajas de la llanura de inundación.

Así mismo existen múltiples factores, variables, amenazas, condiciones y orígenes que están vinculados al mismo espacio geográfico por lo que cada desastre, aunque la categoría de la amenaza sea conocida, puede comportarse de diferente forma en otro espacio de ocurrencia. Las variables del riesgo están correlacionadas (figura 9) y pueden generar desastres si no son gestionadas correctamente y además de convertirse en causas de fondo que generan riesgo.

Figura 9. Las relaciones y procesos clave en la construcción social del riesgo



Nota: La Figura 9 De acuerdo con los autores representa las relaciones y procesos clave en la construcción social del riesgo. E significa exposición; V significa la vulnerabilidad; A representa peligro de origen N (natural), T (tecnológica) y SN (socio-natural); RD es sinónimo de riesgo de desastres. De Investigación Forense de Desastres (p. 38), Oliver et al., 2016, Integrated Research on Disaster Risk/Instituto de Geografía, UNAM.



En conformidad con Oliver et al. (2016) infiere que “las amenazas, cuando se materializaron como un evento físico concreto, pueden desencadenar una escalada de condiciones ya de por sí inseguras, en un estado de crisis o emergencia” (p. 38).

5.2. Etapas de análisis para esta investigación forense de inundaciones

5.2.1. Recopilación e integración de información documental

En esta fase de la investigación se tiene como objeto la integración y análisis de información documental que aporte valiosa información para el análisis y descripción de la inundación.

5.2.1.1. Recopilación de información histórica

5.2.1.1.1. Inundaciones en la Nueva España y origen de El Gran Canal de Desagüe

El problema de las Inundaciones en Tula de Allende se remonta a los problemas de las inundaciones en la capital de la Nueva España en el siglo XVI, De acuerdo con Mejía (2019) explica lo siguiente:

Debido a una inundación en 1555 se tomó la decisión de crear un desagüe para evitar futuros problemas en la ciudad. Se creó un proyecto que pasó por diversos contratiempos hasta ser inaugurado en 1900 por Porfirio Díaz.

A raíz de la gran inundación de 1555 en la capital de la Nueva España surgió por primera vez la idea de desaguar completamente el Valle de México. Este primer proyecto fue encomendado a Francisco Gudiol, quien además de proponer el desagüe general del valle también planteó el aprovechamiento de sus aguas para su uso en el regadío de tierras y a favor de la navegación. Pero el plan no funcionó como se esperaba y en años posteriores las inundaciones continuaron, al igual que las múltiples ideas para consolidar un desagüe capaz de redireccionar los ríos que atravesaban la ciudad. El 17 de marzo de 1900, el entonces presidente de la República, Porfirio Díaz, inauguró las obras del Gran Canal del Desagüe del Valle de México.

5.2.1.1.2. Tajo de Nochistongo

De acuerdo con la historia y origen de las inundaciones con el Río Tula tienen su relación con las propias de la Ciudad de México en siglos posteriores a la conquista, por lo que se tuvo la necesidad de la creación de obras hidráulicas para disminuir el riesgo de inundaciones:

A principios del siglo XVII las inundaciones azotan a la ciudad de México, por lo que el Virrey Luis de Velazco solicita la intervención de ingenieros que propongan soluciones a esta problemática. Se reciben entre otras la propuesta de Adrián Boot y Enrico Martínez.

La propuesta de Enrico Martínez se basa en la conducción del agua fuera de la cuenca, desviando los ríos Cuautitlán y Tepetzotlán desde la parte alta, para evitar que sus aguas lleguen al lago de Zumpango. Esta obra incluía la construcción de un túnel (figura 10) en el área conocida como Nochistongo, el cual le da salida hidráulica al valle utilizando los ríos y escurrimientos existentes que vierten el agua hacia Tula, eliminando los excesos de aguas que aportaban estos dos ríos a la cuenca. Esta obra monumental del virreinato se conoce como tajo de Nochistongo. (Mejía, 2019, p.17)

Figura 10. Ubicación del túnel o tajo de Nochistongo con lo que se desvían las aguas del río Cuautitlán, evitando que lleguen a Zumpango.



Nota: De Técnicas de fitorremediación como elementos de conformación de paisaje aplicados a sistemas lacustres (p.17), por Mejía, J. 2019.



Sin embargo, esta obra no pudo minimizar las inundaciones en la Ciudad de México, solo fue una solución temporal que no resolvió la problemática a largo plazo:

El tajo de Nochistongo solamente consiguió disminuir el volumen del agua que ingresaba a la cuenca pero por su pendiente no pudo aprovecharse íntegramente como un desagüe (SANTOYO VILLA, OVANDO SHELLEY, MOOSER, & LEÓN PLATA, 2005, como se citó en Mejía, 2019, p.19) por lo que en la época de lluvias el problema continuaba y formaba parte de la habitabilidad cotidiana de la ciudad de México, problemas que se extendieron hasta el siglo XIX, al igual que el crecimiento de la ciudad, con lo que el problema de las inundaciones pluviales se agravó con el manejo del drenaje, lo que impidió mantener la ciudad con un adecuado nivel de saneamiento.

La inundación en la ciudad debido al cierre del canal en aras de proteger su construcción aun inconclusa en 1629, la gran inundación de 1819, impulsaron la búsqueda de soluciones a los problemas hidrológicos de la cuenca, por lo que en 1856 se convocó a un nuevo concurso nacional para resolver los problemas hídricos de la cuenca. El ganador fue el Arq. Francisco de Garay quien propuso en su proyecto un canal de drenaje de 50.4 km., y un túnel de 8.87 km que conduciría un caudal de 35 m³/seg. Abandonando el uso del tajo de Nochistongo, que hasta ese tiempo era una solución corta. (Mejía, 2019, p.19)

Con el propósito de desviar el excedente de agua del Valle de la Ciudad de México dio origen a un nuevo proyecto hidrologico-hidraulico:

En 1879 el Ing. Luis Espinoza elaboró un nuevo proyecto basado en el del Arq. Garay, resultando un túnel de 10 km de largo, y un canal a cielo abierto de 50 km de longitud con taludes formados a 45° y una pendiente de 0.185 m por kilómetro, que corresponde a menos del 2% (Ver Imagen 9). El cuál sería el proyecto definitivo que se construiría como solución a las inundaciones, ya durante el gobierno de Porfirio Díaz (COHEN, 1999). En 1886 se designó a los miembros de La Junta Directiva del Desagüe que se encargarían de la construcción del proyecto del Ing. Luis Espinoza.



Los problemas técnicos fueron graves desde el principio de la obra, principalmente por la incapacidad de las empresas contratadas de prever los problemas geotécnicos de los suelos de la zona lacustre. Sin embargo, la pericia de los ingenieros y la relación cordial del presidente Porfirio Díaz con los dueños de las empresas contratadas, pudieron solucionar todos los problemas. (Mejía, 2019, p.19)

5.2.1.1.3. Túnel de Tequixquiac

Relacionando el crecimiento de la ciudad de México en el siglo XX se y que este fue asentado sobre el antiguo lago, ocurrieron más inundaciones y estas fueron constantes en la a finales de la década de los años 30s y principios de los 40s. Mejía (2019) señala que: “Fue entonces que en los años de 1937 y 1942 se construyera un segundo túnel en Tequixquiac y así incrementar la capacidad del gran canal que incremento su capacidad por algunos años más” (p.23).

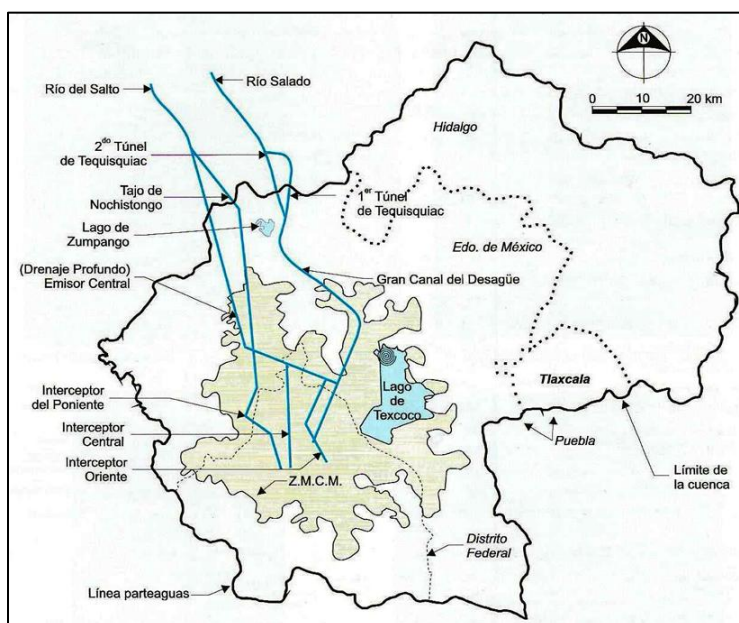
5.2.1.1.4. Sistema General del Drenaje Profundo de la Ciudad de México

La creación de los canales no pudo minimizar las inundaciones en la Ciudad de México, por lo descrito a continuación:

A pesar de la renovación del gran canal por la construcción del segundo túnel de Tequixquiac, en 1949 ocurrió nuevamente una inundación en la ciudad de México, que la mantuvo así por más de tres meses. Provocando que se determinara nuevamente la necesidad de un sistema de drenaje que desahogara el gran caudal que se presentaba en la cuenca.

En 1967 se inició la construcción del Sistema de Drenaje Profundo y del Túnel Emisor Central que completarían el principal sistema de drenaje y descarga de las aguas fuera de la cuenca. consiste en una red de túneles de 135 km de longitud y un túnel de hasta 200 m de profundidad y 40 km de largo que conduce las aguas por el poniente hacia el río del Salto, recolectando también los remanentes del antiguo Tajo de Nochistongo (Figura 11) y su reciente conexión con el emisor central. Fue inaugurado en 1975 y complementado con una serie de vasos reguladores para contener la sobre carga. (Mejía, 2019, p.25)

Figura 11. Sistema del sistema de drenaje de la cuenca de México, desde el Gran Canal de Desagüe, hasta el Drenaje Profundo, incluyendo los tres interceptores



Nota: De Técnicas de fitorremediación como elementos de conformación de paisaje aplicados a sistemas lacustres (p.26), por Mejía, J. 2019.

De acuerdo con el diseño del drenaje de la ciudad de México, es un gran sistema cuyo propósito es minimizar el riesgo de inundaciones en la Ciudad de México, este comprende la convergencia de redes de drenaje y ríos, por lo que resulta compleja la gestión del Río Tula en diferentes aspectos, debido a que todo este volumen desemboca en el río el Salto, el cual cambia su nombre al Río Tula, cuando este converge con el Río Tepejí.

5.2.1.1.5. Inundaciones Históricas en Tula de Allende

Como se demostró las aguas residuales de la ciudad de México desembocan finalmente en el Río Tula, por lo tanto, una de las causas fundamentales de la inundación en Tula de Allende, tiene sus cimientos en una pésima gestión del sistema de drenaje profundo.

Debido a esto la necesidad de la población ha exigido mejores planes de emergencia, mitigación del riesgo, incremento y mejoramiento del sistema de drenaje local e interestatal, y la aplicación de planes de desarrollo municipal lo suficientemente eficaces como para minimizar una inundación similar a la del 2021.



Históricamente Tula de Allende ha sufrido de inundaciones (tabla 3) desde la información recuperada de 1967, sin embargo, la de 2021 marco a esta ciudad, debido a su magnitud, daños y pérdidas, en la siguiente tabla se exponen estos eventos:

Tabla 3. Inundaciones históricas en Tula de Allende.

Año	Evento	Afectaciones
1967	Lluvia fuerte ocasionando una avenida extraordinaria	Se inundó un área de 10 Km ² aproximadamente y fue registrada en la estación de El Salto, ubicada cerca de la localidad del mismo nombre. La inundación produjo la interrupción parcial del servicio de agua potable, perjudicando a las poblaciones del Centro de Tula de Allende.
2005	Lluvia fuerte ocasionando una avenida extraordinaria	Se desbordó el Río Rosas, por su margen derecha, a la altura del puente Río Rosas, agravado por maleza y un árbol atorado en dicho puente, ocasionando con esto inundación momentánea en algunas viviendas y zonas comerciales de la zona centro.
2008	Lluvia fuerte ocasionando una avenida extraordinaria	Se desbordó el Río Tula, por su margen derecha, a la altura de la colonia 16 de enero, afectando algunas viviendas de colonia centro y zonas comerciales.
2021	Lluvia fuerte en Ciudad de México, Estado de México y Cuenca Alta del Río Tula ocasionando una Avenida extraordinaria	Debido a una lluvia fuerte que se presentó en la zona norte de la Ciudad de México, parte del Estado de México y en la cuenca del Río Tula durante la madrugada del 6 de septiembre, afectadas aproximadamente 16 colonias y localidades. El nivel de los ríos Tula y Rosas rebasó los dos metros de altura en la zona centro de la cabecera municipal. El 8 de septiembre, las autoridades estimaban que cerca de 31 000 personas habían sido afectadas y 10 000 más habían sido evacuadas de la zona de Tula. Y activados los refugios temporales. En tanto, en el municipio de Tula de Allende, conurbado con Tepeji, la crecida del Río Tula en el año 2008 provocó inundaciones en el primer cuadro de la ciudad, lo

		que causó afectaciones en alrededor de 100 comercios del tianguis municipal y calles aledañas.
2021	Nuevo desbordamiento 10 días después de la inundación del 6 y 7 de septiembre.	La inundación de 2021 fue una de las más graves en la zona, pero no sería la última; once días después, el 17 de septiembre, el río se desbordó nuevamente. Las declaraciones de las autoridades municipales y estatales insistieron en que las inundaciones fueron causadas por fenómenos naturales, mientras que la Conagua afirmó haber mantenido informada a la población respecto a las evacuaciones. Días más tarde, el entonces alcalde de Tula, Manuel Badillo, y el secretario municipal, Simón Vargas, culpabilizaron a los ambientalistas por el desastre ocurrido (Galilea, 2021, como se citó en Jandete, 2025).
2025	Aumento en el caudal del Río Tula a 300m ³ /s. 2 de septiembre de 2025.	Considerando que el caudal aumento 50m ³ /s en Tula, se alertó a la población de un posible desbordamiento, el cual tuvo una altura aproximada de 25 centímetros en la compuerta de la calle 3 culturas #27, provocando una pequeña zona de desbordamiento sin gran extensión.

Nota: De Plan Especial Municipal ante temporada de ciclones 2023, por Protección Civil y Bomberos Tula de Allende, Hgo., Coordinación de Planeación, 2023,(p. 7). Los últimos eventos del 2021 y del 2025 fueron agregados por el autor, a través de la recopilación de información documental.

Según lo descrito por el organismo de Protección Civil y debido a la cantidad de información actual comparando los eventos pasados esta inundación tuvo efectos negativos en la sociedad, lo que dio origen a la implementación de movimientos sociales y a la implementación de acciones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad y exposición de Tula de Allende.



5.2.2.1. Recopilación de Información geográfica

De acuerdo con las metodologías es importante la recopilación de la información relevante en distintos tiempos, esto incluye, antes, durante y después del evento de inundación, ya que los datos e información podrán aportar información útil sobre las zonas afectadas y la población, la información que se pueda recopilar puede ser de distinta índole.

Si retomamos la información sobre las inundaciones históricas en Tula de Allende, podemos deducir que ha sido un problema recurrente en la ciudad, y que sin embargo no ha existido interés por parte de protección civil y dependencias gubernamentales para la generación de planes de emergencia y mitigación del riesgo, lo que ha ocasionado la pérdida material incalculable e irremplazable, además de las pérdidas humanas y la ausencia de armonía y paz ante la posibilidad de un evento de igual o mayor magnitud, parece ser que no ha importado el evento extraordinario de 2021.

5.2.2.1.1. Zonas de inundación identificadas por Protección Civil de Tula de Allende

Una vez ocurrida la catástrofe diversos estudios y reportes se han publicado lo que ha generado información sobre este evento, así mismo, Protección Civil de Tula de Allende ha declarado información las zonas afectadas por la inundación en su Plan especial Municipal ante temporada de ciclones 2023.

Por lo que se ha procederá a comparar con nuestro mapa de inundaciones, al menos en extensión, debido a que ningún otro ha sido publicado sobre las profundidades de la inundación, solo de la extensión, y se puede visualizar que tiene gran similitud con el que se generó en esta metodología. En conformidad con Protección civil de Tula de Allende (2023), declara que:

De acuerdo con las condiciones topográficas y de infraestructura existente y al paso de los ríos y/o drenes que cruzan por la Cabecera Municipal de Tula de Allende, se tienen identificadas zonas que se encuentran en riesgos de sufrir inundaciones. Como cada año, los ciclones tropicales, sobre todo los que llegan por el Golfo de México causan daños en la infraestructura en algunos municipios, por lo que el Municipio de Tula no es la excepción ya que existen antecedentes de desbordamiento en los cauces de los Río Tula y Rosas. (p. 37)



5.2.2.1.2. Prácticas de campo

Las prácticas de campo se realizaron en las fechas del 26, 27 y 28 de septiembre de 2024 y la realizada el 14, 15 y 16 de marzo de 2025 en Tula de Allende, Hidalgo, uno de los propósitos de dicho trabajo de campo fue continuar con la identificación de los límites de la inundación en algunas zonas de Tula de Allende que faltaban determinar su exactitud para obtener toda la mancha de inundación y poder obtener el área de la mancha, así como la profundidad del nivel de la inundación, además de realizar otros análisis en la zona de inundación y su población afectada, esta información será crucial para la generación de escenarios de acuerdo con la guía de *investigación forense de desastres*.

5.2.2.1.3. Censo sobre los afectados por la inundación realizada por la organización Tzu Chi

Durante la práctica de campo realizada el 14, 15 y 16 de marzo donde se recabo información sobre los tirantes de inundación y la recopilación de testimonios, conocí a la Ing. Berenice Pecina, coordinadora de la Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021, quien a su vez me contacto con Rodrigo Pérez Lozada, quien trabaja en Tzu Chi Charity Foundation México A.C., con el fin de solicitarle la base de datos realizada por el equipo de Tzu Chi y así determinar los afectados mediante un proceso geoespacial en la localidad de Tula, para cuantificar por manzana a partir de otra fuente la población afectada.

De acuerdo con Tzu Chi (2025) se resume que: su trabajo y filosofía de esta organización humanitaria global se enfoca en el apoyo y donación a personas que han sido víctimas de alguna crisis de carácter socionatural como las generadas por el cambio climático y de origen antrópico como la guerra entre otros problemas en gran parte de los países. El mapa de afectados se muestra en el capítulo de *resultados*.

5.2.3.1. Recopilación de información del estado y capacidad hidráulica

5.2.3.1.1. Desbordamiento del Río Tula y relación con el sistema de drenaje de la ZMVM

5.2.3.1.1.1. Sistema de drenaje de la ZMVM

De acuerdo con Castañeda y et al. (2022), señala que “La ZMVM tiene una superficie de 7 866 km² e incluye 16 delegaciones de la Ciudad de México, 59 municipios del estado de



México y 1 municipio en el estado de Hidalgo.” (p. 27), y con lo demostrado en la investigación acerca de los afluentes que contribuyen al flujo del río Tula, se tiene ha evidenciado que la mayoría de las aguas residuales provienen de la Zona Metropolitana del Valle de México. Además, Castañeda et al. (2022) determina que:

Históricamente, el diseño del sistema de drenaje del Valle de México inició en la época virreinal, con la construcción de El Tajo de Nochistongo, que fue aprobado en 1607, con el fin de dar solución a los problemas que generaban las inundaciones en la Ciudad de México. El Tajo de Nochistongo presentó varios avances en su construcción, durante los cuales tuvo algunas reconstrucciones, entre las que se encuentra su modificación a cielo abierto para enviar el agua residual directamente hacia el río Tula, terminándose de construir en 1788 (Jiménez-Cisneros, 2011) y convirtiéndose en la primera salida artificial de la Ciudad de México.

El Gran Canal se convirtió con el paso del tiempo en una obra insuficiente, ya que se siguieron presentando dificultades para la salida de los escurrimientos pluviales. Por lo que, fue necesario la construcción de obras auxiliares para poder controlar las inundaciones de la Ciudad de México y permitir la descarga de las aguas residuales. (p.27)

Por lo que el problema de las inundaciones en la capital de la Nueva España provocó la necesidad de contar con obras hidráulicas capaces de redirigir los escurrimientos pluviales fuera de la Ciudad y disminuir las inundaciones. Además de la creación del Gran Canal de Desagüe de la Ciudad de México se llevó a cabo la implementación de los Túneles Emisores de acuerdo con Castañeda et al. (2022):

Entre las obras que se propusieron se encontró primeramente la construcción del Túnel Emisor Poniente (TEP) en 1962, el cual tiene una longitud de aproximadamente 15 km con una capacidad de descarga de 30 m³/s (Abedrop et al., 2012) (p. 27).

De acuerdo con Abedrop (como se citó en Castañeda et al., 2022):

Nuevamente, el crecimiento de la población, aunado al hundimiento de la Ciudad de México, llevó a la construcción del Túnel Emisor Central (TEC) para evitar las



inundaciones, el cual significó un nuevo sistema de drenaje profundo y que se construyó entre 1967 y 1975 (Legorreta, 2006). El TEC permitió llevar el agua colectada del sistema de drenaje profundo fuera de la ciudad, iniciando en la delegación Gustavo A. Madero y finalizando en el río El Salto, el cual es afluente del río Tula. Los vertidos son almacenados en la presa Endhó, que es un cuerpo de agua regulador y distribuidor del agua de riego. (p. 27)

Así mismo con lo expresado por Abedrop (como se citó en Castañeda et al., 2022):

La problemática del sistema de drenaje de la ZMVM continuó, de tal forma que, para dar solución a ésta, en 2008 se anunció la construcción de un nuevo sistema de drenaje profundo, el Túnel Emisor Oriente (TEO). Esta obra cuenta con un trayecto de 62 km y 7 m de diámetro, que permite una salida complementaria y alterna al TEC (SEMARNAT, 2010). El TEO inició su construcción en 2009, con una operación total en 2020 (Instituto de Ingeniería UNAM, 2021) (p. 27).

La trayectoria del TEO inicia en la alcaldía Gustavo A. Madero y descarga en el municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo, cerca de la salida del TEC. Cuenta con 25 lumbreras, algunas de ellas llegan a 150 m de profundidad, que se utilizan para ingresar maquinaria, material y el personal que se requiera para darle mantenimiento. El objetivo de la construcción del TEO fue evitar inundaciones en caso de que llegara a colapsar el Gran Canal de Desagüe y dar mayor flexibilidad a la operación del sistema de drenaje del Valle de México para permitir el mantenimiento del drenaje profundo (Instituto de Ingeniería UNAM, 2021). (p. 27)

Mediante lo evidenciado se concluye que estos túneles tuvieron la función de evacuar el escurrimiento del agua residual y pluvial de la cuenca de la Ciudad de México y así disminuir las inundaciones y el problema de los hundimientos en la capital, sin embargo, no se ha garantizado que la Ciudad de México quede exenta de nuevas inundaciones.

5.2.3.1.1.2. Inundación de septiembre de 2021 en Tula de Allende

La inundación tuvo lugar la noche del 6 y madrugada del 7 de septiembre de 2021, debido a la precipitación en el centro del país, aunando la deficiencia del sistema de drenaje de la Ciudad de México, falta de planeación y gestión efectiva por parte de la CONAGUA y el



SACMEX, provocó el desbordamiento del río Tula, como lo expresa la Jandete (2025) esto derivó en:

El desbordamiento del río Tula y la inundación de distintas zonas: Cruz Azul, Dengui, San Marcos, El Carmen, Tula Centro y San Lorenzo, en los municipios de Tula de Allende y Tezontepec. La capacidad hidráulica de la zona es de 250 000 litros por segundo, la cual fue superada debido a los desfuegos combinados de la presa Danxhó (50 mil l/s), la presa Requena (120 mil l/s), y el torrente adicional de aguas negras y pluviales provenientes de la Ciudad de México (220 mil l/s) (Chahim, 2021). (p.78)

En correspondencia con Castañeda et al. (2022):

Durante el mes de septiembre de 2021 los habitantes de las regiones cercanas al río Tula sufrieron los estragos de su desbordamiento. El 6 de septiembre las precipitaciones causaron el primer evento, en el municipio de Tula, Hidalgo, en donde ocurrió el desbordamiento de los ríos Tula y Tepeji del Río, dejando un total de 16 fallecidos y cientos de damnificados. El Gobierno de México, a través de un comunicado informó que las personas fallecidas en el Hospital General de Zona No. 5 del IMSS en Tula, Hidalgo y el resto de los pacientes (más de 40) fueron evacuados por el personal del IMSS y de Protección Civil. Las comunidades afectadas por el desbordamiento del río Tula fueron: Rancho Chapultepec, Cruz Azul, El Chamizal, Dengui, San Marcos, La Malinche, Chamizal, 16 de Enero, Zona Centro y El Carmen, con datos preliminares de 2,000 viviendas afectadas (Presidencia de la República, 2021). (p. 28)

La cuantificación de daños y pérdidas se refleja lamentablemente en las siguientes cifras en distintos sectores, como los de economía, vivienda y respecto a la resiliencia y apoyos por parte del gobierno fueron muy limitados, de acuerdo con Jandete (2025):

En total hubo 70 000 personas damnificadas y 17 fallecidas (14 de ellas eran pacientes de COVID-19 en el Hospital General de Zona No. 5 del Instituto Mexicano del Seguro Social [IMSS]). Se perdió el 22 % de los comercios y más de 31 000 viviendas fueron afectadas; aunque el gobierno federal prometió 35 000 pesos a cada damnificado, algunos recibieron menos de la tercera parte y otros no recibieron nada



(Martínez, 2021). Cabe destacar que no hubo apoyo con los gastos hospitalarios de las personas lesionadas y que, a más de tres años de la inundación, los habitantes todavía no cuentan con servicio médico del IMSS, ya que el hospital se encuentra deshabilitado, por lo que deben desplazarse a otras comunidades. (p. 78)

5.2.3.2. Análisis de las inundaciones en Tula con base en la infraestructura hidráulica de presas

De acuerdo con el CENAPRED (2021), “se realizó otro análisis de las inundaciones con base en la infraestructura hidráulica y se utilizó el mapa de descargas de la presa Requena”. Esto concluyo que:

- ❖ Las descargas de la presa Requena se han reducido para proteger a la población y la seguridad de la presa.
- ❖ A las 05:00 h, del 8 de septiembre, presa Requena se encontraba al 132% con descargas por vertedor libre y controlado de 89m³/s.
- ❖ Con la operación de la presa Requena se logró disminuir las aportaciones al río Tula.
- ❖ Las descargas de la presa Requena fueron necesarias para proteger la obra y no afectar a la población.
- ❖ La CONAGUA estimó un gasto máximo de 530m³/s en el río Tula, que tránsito por la ciudad de Tula de Allende.
- ❖ La capacidad actual de la presa Endhó no permite la disminución de los niveles del río Tula.
- ❖ Dicha empresa a las 08:00h, del ocho de septiembre se encontraba al 109.6% con derrames por vertedor libre de 570m³/s.
- ❖ Los aportes del drenaje profundo han complicado la situación.
- ❖ El caudal máximo presentado en el río Tula superó la capacidad del cauce.

(CENAPRED, 2021, p.4)



5.2.3.3. Plan Hídrico Regional 2021 – 2024: Plan Hídrico para Tula de Allende

Como parte de una medida en el Río Tula para proteger a la población del Río Tula de acuerdo con la CONAGUA (2024a) se optó “por la ampliación y el revestimiento con el fin de reducir el riesgo de inundación por eventos meteorológicos extremos” (p. 1).

Es importante destacar que con estas obras CONAGUA (2024a), “con una inversión de mil 160 millones de pesos (MDP), realizada de 2022 a 2024, se han desarrollado diversos trabajos que duplicaron la capacidad de conducción que tenía el río Tula en 2021” (p. 1).

Sin embargo, se han cuestionado las obras de revestimiento debido a la cantidad de flora y fauna que ha sido talada para cubrir los márgenes del río y que el enfoque no sea el de una restauración ecológica, si no que se trate de reestructurar el cuerpo de agua en la cloaca de la Ciudad de México.

Por su parte la CONAGUA propuso una serie de acciones de acuerdo con Jandete (2025) estas se enfocan en retomar la construcción de la obra con una longitud de 3.9km lo que permitirá una capacidad de hasta 600 000 litros por segundo en ese tramo, además en conformidad con CONAGUA y la SEMARNAT (como se citó en Jandete, 2025). las acciones a corto y mediano plazo son:

- ❖ Desazolve y ampliación del río.
- ❖ Creación de un protocolo de operación conjunta para la temporada de lluvias para el sistema hidrológico del Valle de México y el estado de Hidalgo.
- ❖ Implementación de una red de estaciones de medición automática en la cuenca del río, y Rectificación y revestimiento del río. (p. 79)

Sin embargo, estas medidas no destacan en el ámbito del tratamiento de aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en consecuencia, tampoco se expone el interés de recuperar el espacio degradado para proponer medidas de reinstaurar su equilibrio ecológico.

Como lo indica Ramírez (2022) expone a través del comentario de una afectada que “no están resolviendo el problema de fondo”, resume Violeta Arellano, vecina de la comunidad San Miguel Vindho, en Tula de Allende, e integrante de la Red de Conciencia Ambiental Queremos Vivir.

Ramírez (2022) expone que al no tratar el problema de raíz, incide en otras afectaciones a los recursos naturales:

El objetivo de todas estas modificaciones, como han indicado autoridades federales y estatales, es aumentar el volumen de recepción del río para evitar inundaciones. Lo que para los habitantes de Tula se traduce en ampliar, talar y cementar el cauce con el propósito de recibir más aguas negras del Valle de México.

5.2.3.4. Revestimiento y ampliación de la sección hidráulica del Río Tula

De acuerdo con Islas (2023) “Para la rectificación y revestimiento (figura 12) del Río Tula, este año el gobierno invierte 700 millones de pesos, lo que incluye incrementar a 500 metros cúbicos por segundo la capacidad de conducción hidráulica”.

Figura 12. Revestimiento del Río Tula



Nota: Así van los trabajos del revestimiento del Río Tula, buscan evitar inundaciones, De Islas, 2023, La silla rota Hidalgo.

Como se observa con las obras de revestimiento y desazolve del río Tula, lo que se propone e implementa por parte de la CONAGUA, es aumentar la capacidad del río Tula, con el fin de que pueda aumentar el tránsito de las aguas residuales sin atacar el problema de raíz. Durante las labores se informaron sobre los avances y cuestiones entorno a las acciones de la CONAGUA:



Los trabajos que ejecuta la Comisión Nacional del Agua (Conagua) iniciaron el pasado 8 de junio y hasta el corte del 31 de julio presentan un avance del 9.97 por ciento. El proyecto contempla el revestimiento de 3.8 kilómetros del Río Tula, a concluir el 21 de diciembre de este año.

Además de coordinar con el gobierno municipal la elaboración de un proyecto integral de colectores marginales para la captación de las descargas a lo largo del cauce del **Río Tula** (lo cual le corresponde al ayuntamiento) y apoyar con el reencarpetamiento de las vialidades que confluyen a las zonas de obra.

En total, el Gobierno de Hidalgo y la Conagua efectúan trabajos por una inversión de mil 155 millones de pesos para el revestimiento del Río Tula en una longitud total de 3.8 km, lo que incluye el subtramo 1, en una longitud de mil 940 metros, ampliación de la sección hidráulica de los puentes Zaragoza, Melchor Ocampo y Metlac, y el subtramo 2, en una longitud de mil 840 metros. (Islas, 2023)

Sin embargo, desde el punto de vista de los grupos ambientalistas y de los movimientos sociales de los afectados y personal, se expresa el desagrado de que la solución no es aumentar la capacidad del río, si no tratar las aguas residuales y restaurar el río en términos ecológicos, simplemente porque se ha evidenciado que las obras históricas desde la Nueva España a la actualidad con su plan de redirigir los escurrimientos no ha sido una solución a largo plazo, debido a que este caudal será cada vez mayor debido a su demanda de procesos industriales y por el uso debido al crecimiento demográfico de la ZMVM. Por lo que es probable que la nueva capacidad del río Tula se vea superada una vez más, sin embargo, sería ideal que este escenario nunca se materialice en el futuro.

Además, para confirmar su objetivo sobre el aumento de la capacidad del ahora canal, la CONAGUA (2024c) expresa que:

Antes de las obras, puntualizó, el cauce podía conducir $230 \text{ m}^3/\text{s}$ y con los trabajos realizados a lo largo de 3.78 km en la cabecera municipal de Tula, se tendrá capacidad para conducir de forma segura más del doble de su capacidad natural. (p. 2)



5.2.4.1. Recopilación de información de campo

5.2.4.1.1. Enfermedades relacionadas con la inundación de aguas negras

Además de la información requerida sobre las coordenadas de campo y la altura del nivel del agua mediante el formulario, y que este proceso será explicado en el proceso del *análisis del peligro*, también se les pregunto a la población afectada si la inundación por aguas negras tuvo repercusiones en su salud, y el tiempo en el que permaneció inundada las diferentes zonas de peligro, lo recopilado se muestra en el capítulo de *resultados*.

Está información ha sido recopilada por el medio periodístico NMás (2021) donde indican que “la secretaria de salud estatal indica que han tenido decenas de infecciones respiratorias y diarreicas agudas, así como casos de dermatosis, micosis y conjuntivitis, además de 61 casos de COVID”.

Debido al saneamiento realizado después de las inundaciones, la población ha experimentado estas enfermedades, debido al contacto con los lodos y sedimentos que suelen permanecer cuando el nivel del agua baja en las casas y calles. Por lo que es lógico que padezcan las enfermedades, además Alejandro Benites Secretario de Salud, Hidalgo, explico para NMás (2021) que “en estas aguas te puedes encontrar *Vibrio cholera*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, parásitos, esporas que son la forma de resistencia de los hongos”.

5.2.5.1. Recopilación de información hemerográfica y periodística

5.2.5.1.1. Opacidad del gobierno respecto al origen de las inundaciones

En un principio se tuvo como incertidumbre el origen del caudal excedente que provoco las inundaciones, incluso determinando el origen de este a causa de las lluvias torrenciales. Incluso como lo manifestó en su conferencia de prensa, López Obrador (2021) dio a conocer que:

Lamentablemente, las lluvias en Hidalgo están ocasionando muchos daños, hay una situación grave de inundación en la región de Tula, ya está actuando protección civil, se está implementando todo lo que tiene que ver con el plan DN-III de apoyo a la población, está lloviendo mucho (00:11:06).



López Obrador (2021) además para no evidenciar la falta de la creación e implementación de atlas de riesgos en México expreso e identifico que el origen de las inundaciones se debió a la lluvia:

Ayer tuvimos inundaciones en muchos estados del país, ***este es el mes que más llueve en México, y por eso se están padeciendo de inundaciones.*** Entonces estamos atentos, vamos a estar el día de hoy ayudando, apoyando a los damnificados (00:11:06).

A pesar de que no había una respuesta clara sobre el origen de las inundaciones, algunos investigadores y en su momento CONAGUA revelarían que la inundación se debió a las aguas originadas en el Valle de México, Además, se expone que durante esta catástrofe se le atribuyo otro origen al caudal de acuerdo con Castañeda et al. (2022):

Por su parte, CONAGUA mantuvo informada a la población indicando que los desbordamientos del río Tula fueron causados por precipitaciones debidas a los fenómenos hidrometeorológicos; sin embargo, se ha puesto de manifiesto que parte de lo acontecido también está relacionado con el sistema de drenaje de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (p.28).

En este sentido, varios medios internacionales siguieron de cerca la situación que se estaba viviendo en las zonas afectadas por los desbordamientos del río Tula, resaltando el análisis realizado por Chahim (2021) quien se ha dedicado a estudiar la problemática del drenaje de la ZMVM y quien considera que lo acontecido en el río Tula “No fue un “fenómeno natural”, como señalan las autoridades, ni un hecho aislado: fue un efecto predecible derivado de un manejo político del drenaje en el Valle de México, donde se ubica la Ciudad de México y su zona conurbada. Este manejo siempre ha privilegiado las zonas céntricas y de mayor plusvalía, mientras se han sacrificado las zonas periféricas y marginadas”. (p.28)

Chahim (2021) considera que el desfogue combinado de la Presa Danxhó (50 m³/s) y la Presa Requena (120 m³/s), los cuales dan un total de 170 m³/s, no fue suficiente para desbordar el río, dado que éste tiene la capacidad de conducir 250 m³/s, siendo el verdadero causante del desbordamiento el torrente adicional (cercanos



a 220 m³/s) de aguas negras y pluviales del Valle de México enviadas por la CONAGUA y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) al Valle del Mezquital. (p.28)

5.2.5.1.2. Declaraciones y CONAGUA

De acuerdo con Ramírez (2022), “pasaron dos meses para que las autoridades federales pudieran reconocer que las intensas lluvias de aquella noche del 6 y 7 de septiembre no eran la única causa del desastre”.

Así mismo, después de una semana el presidente Andrés Manuel López Obrador mencionó que la CONAGUA publicaría un dictamen de lo sucedido. Este menciona que:

En la madrugada del martes 7 de septiembre, el caudal estimado que transitó por este río fue del orden de 500 m³/s (metros cúbicos por segundo), de los cuales 150 m³/s provenían de las descargas del Valle de México a través de los túneles Emisor Central y Emisor Oriente, 28 m³/s de río El Salto, 100 m³/s de la descarga de la presa Requena, 130 m³/s del río Tlautla, y 92 m³/s de la cuenca propia entre la salida de los túneles y la ciudad de Tula de Allende”, describe el documento entregado en una reunión de trabajo en Tula y obtenido mediante la Plataforma de Transparencia para esta publicación. (Ramírez, 2022)

5.2.5.1.3. Reportes de actividades del CENAPRED

Se realizó un reporte por parte de la Subdirección de Riesgos por Inundación del CENAPRED y en este explican “algunas condiciones que detonaron las inundaciones en la región de Tula”. Estas se presentan a continuación:

- ❖ Durante la tarde – noche del 6 de septiembre llovió en el Estado de México y la Ciudad de México, en el EdoMex fue superado el umbral del municipio de Teoloyuca.
- ❖ Las lluvias registradas en el Valle de México provocaron escurrimientos.
- ❖ Las aguas pluviales y residuales que son expulsadas del Valle de México a través de los Túneles Emisor Central (TEC) y Oriente (TEO), son dirigidas al río Tula.
- ❖ Los escurrimientos del río Tepejí incrementaron el nivel de la presa Requena, la cual pasó de 90.2% a 101.5% en las últimas 24 horas, así como las entradas de los TEO y TEC.



- ❖ Los vertidos de la presa Requena son afluentes del río Tula, los cuales pudieron incrementar los gastos en dicho río que atraviesa la ciudad del mismo nombre.
- ❖ La presa Requena reguló la avenida, reduciendo los volúmenes al río Tula.
- ❖ La presa Taxhimay se encuentra al 101.6% y descarga al río Tepejé.
- ❖ La presa Endhó registró un almacenamiento de 103.9% y un derrame de 157.2m³/s el día de ayer, este último se incrementó a 328.8m³/s el 7 de septiembre.
- ❖ Las lluvias previas en el Valle de México saturaron el sistema de drenaje y ocasionaron que los escurrimientos superaran la capacidad de las presas y ríos.

(CENAPRED, 2021, p.3)

5.2.5.1.4. Apoyo a damnificados

El edil Manuel Hernández enfrentó críticas tras distribuir colchones en mal estado a damnificados por inundaciones, los cuales presentaban condiciones insalubres según documentó La Jornada (2022).

5.2.6.1. Recopilación de información social

5.2.6.1.1. Movimientos sociales generados tras las inundaciones

Tras la inundación se generaron algunos movimientos sociales con la intención de luchar y defender sus derechos y sus propósitos en el nombre del bienestar de la población, con el fin de exigirle a los actores gubernamentales la implementación de medidas en pro de Tula. A continuación, se exponen algunos de estos movimientos.

5.2.6.1.2. La gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021

De acuerdo con La Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021, se define como: Una organización de ciudadanos sin fines de lucro ni filiación partidista, buscamos darles respuesta a las problemáticas causadas por la inundación del 6 y 7 /09/2021 en Tula y buscar un futuro mejor para la ciudad y el bienestar de su gente. En la figura 13 se muestra el logo de este movimiento:

Figura 13. La Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021



Nota: De La Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021 (2022), Facebook.

Personalmente durante la práctica de campo de marzo de 2025 tuve el placer de conocer a la representante de La Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021, quien me comentó temas referentes a la inundación en Tula de Allende, y que se abordan en la presente investigación.

Además, en la página se promueve la información referente a las condiciones del río Tula tales como los seguimientos de obras y acciones, así como la vigilancia del caudal del río Tula para posibles alertamientos por desbordamiento, que funciona en esencia a un sistema de alerta temprana, útil especialmente para los habitantes de Tula de Allende.



5.2.7.1. Enfoques aplicados en el presente análisis forense por inundaciones

De acuerdo con la guía de análisis forense de desastres de Oliver (2016) se establecen algunos enfoques de la investigación forense, estos se aplican y se desarrollarán en algunas fases para explicar la dinámica y causas de las inundaciones en Tula de Allende.

5.2.7.1.1. Análisis longitudinal retrospectivo (ALR)

Siguiendo con la metodología de Oliver et al. (2016) se destaca el enfoque del ALR, debido a que “proporciona una narrativa histórica de la construcción del riesgo, basada en métodos y datos cualitativos y cuantitativos.” (p.60).

Además, se menciona que este enfoque contiene factores esenciales para su análisis. Oliver et al. (2016) expresan que: “Las medidas preventivas que fueron o pudieron haber sido aplicados para evitar, controlar o limitar las pérdidas pueden ser identificadas, y para cada proceso en la secuencia del riesgo de desastres también de ben ser identificados aquellos que causaron daño o no o lograron compensar sus impactos”. (p.60)

5.2.7.1.2. La construcción del escenario de desastre FORIN (CED)

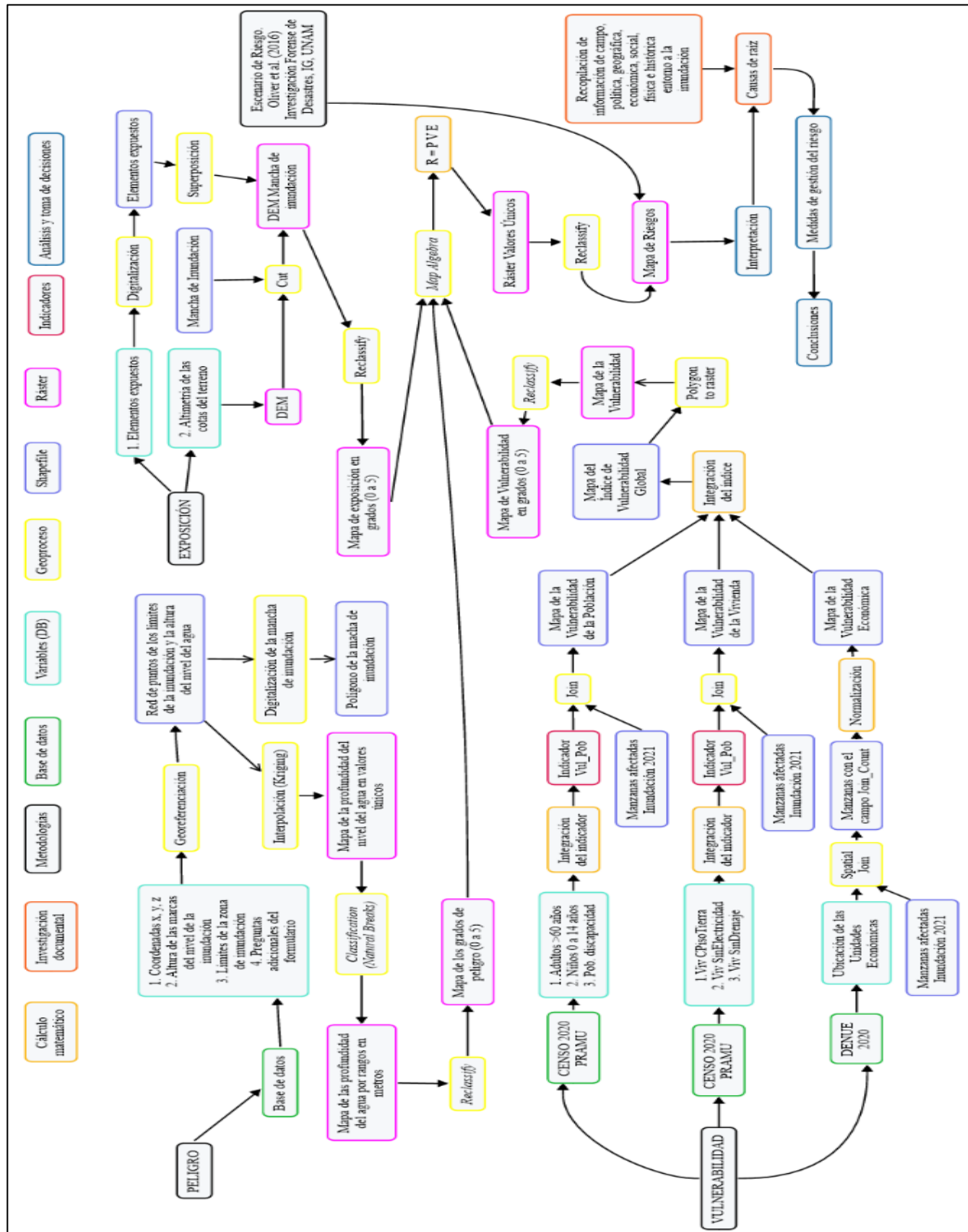
De acuerdo con Oliver et al. (2016) el enfoque de la CED fue ideado para “crear escenarios e informar al gobierno, la sociedad civil y la comunidad de los riesgos que existen en su entorno social y físico y la forma en que se desenvolverán en el caso de la ocurrencia de un evento” (p. 64).

Es por eso por lo que se recurrirá a la creación de escenarios a través de mapas de peligro, vulnerabilidad de la población, vivienda, economía y global, y su exposición, para generar e identificar aquellas zonas con mayor grado de riesgo por inundación.

5.2.7.1.3. Modelo lógico general de la investigación

A continuación, en la figura 14 se presentan los procedimientos generales y herramientas que se implementarán en la investigación para obtener nuestros objetivos.

Figura 14. Modelo lógico de la metodología de la presente investigación



Nota: Elaboración propia.



5.3. Análisis del peligro

5.3.1. Materiales

El uso de este equipo y herramienta se explicará en la siguiente sección, esta lista está integrada por:

- ❖ Nivel óptico automático Leica NA320
- ❖ Trípode
- ❖ Estadal
- ❖ GPS Garmin eTrex 30X
- ❖ Flexómetro
- ❖ Distanciómetro
- ❖ Formulario
- ❖ Plumón
- ❖ Cinta masking

En las siguientes etapas de la metodología se explicará el uso de cada herramienta.

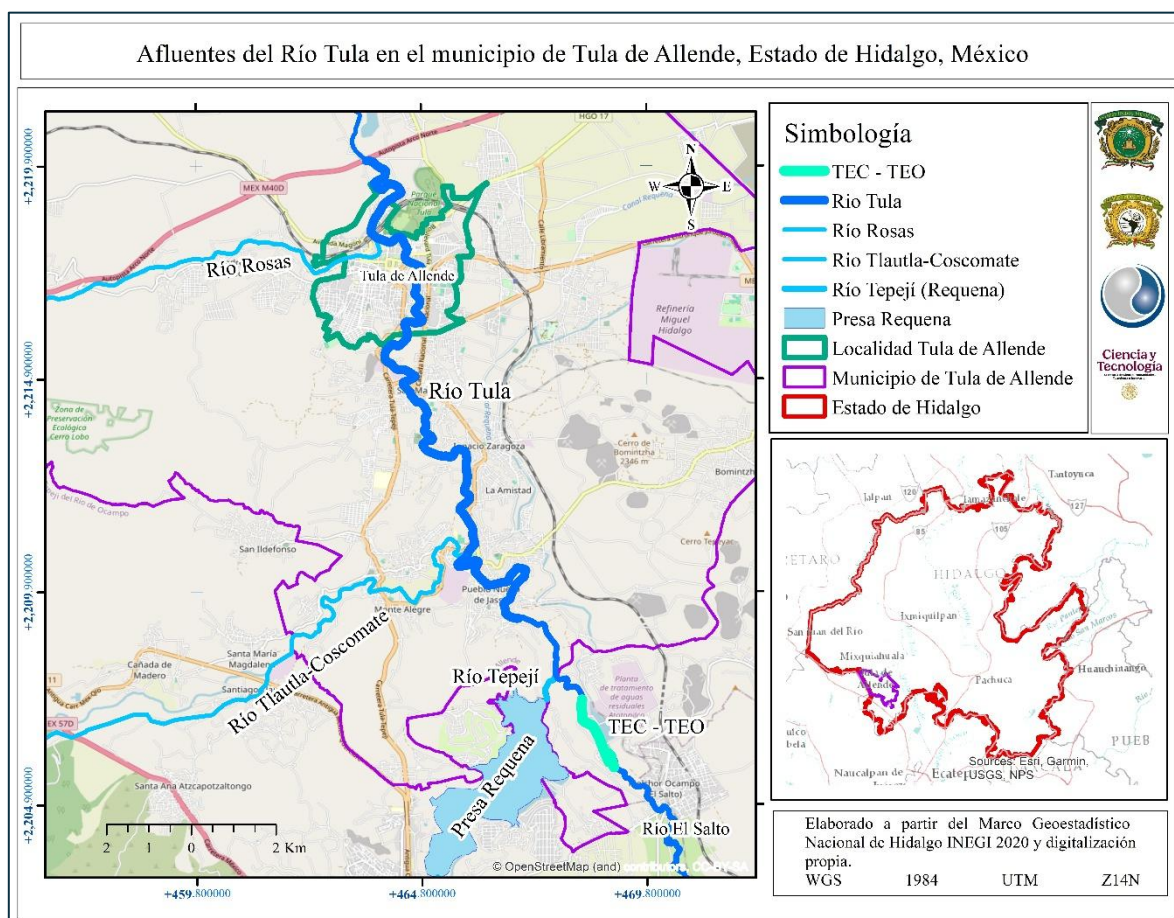
5.3.2. Identificación de procesos

5.3.2.1. Dinámica de las inundaciones en Tula

De acuerdo con Ready (2024) expresa que “las inundaciones son desbordamientos de agua temporales hacia terrenos que normalmente están secos”, por lo que este proceso tiene relevancia bajo ciertas circunstancias como la época de lluvias de una región, la cercanía al río que podría desbordarse y causar daños y pérdidas en una comunidad o ciudad.

En el caso de la Ciudad de Tula de Allende, es un municipio ubicado al sur (figura 15) del Estado de Hidalgo, la cual está asentada en la cercanía del Río Tula, y, sobre todo, retomando la deplorable gestión de las aguas residuales y pluviales que en él desembocan provenientes de la Ciudad de México, es evidente su relevancia por el riesgo ante las inundaciones.

Figura 15. Ciudad de Tula asentada junto al Río homónimo y los portales de salida de drenaje profundo de la Ciudad de México



Nota: Elaboración propia.

A causa de la deficiente política en materia de aguas residuales que provocan los desbordamientos en diferentes municipios del Valle del Mezquital, es necesaria la cuantificación de los elementos expuestos, especialmente de las unidades económicas, población vulnerable y las viviendas, por lo que es indispensable la representación espacial de estas variables.

espacial.

5.3.3. Identificación de variables

De acuerdo con Vázquez et al. (2014) enfatiza que en su trabajo fue crucial tener el área de inundación en el asentamiento humano, como lo explica en su trabajo:

Trata sobre la aplicación de un SIG como herramienta de mapeo y análisis espacial, para evaluar el impacto de posibles inundaciones y los riesgos que conlleva. El primer paso para para la integración de la información fue la delimitación de la zona de riesgo de inundación. (p. 155)

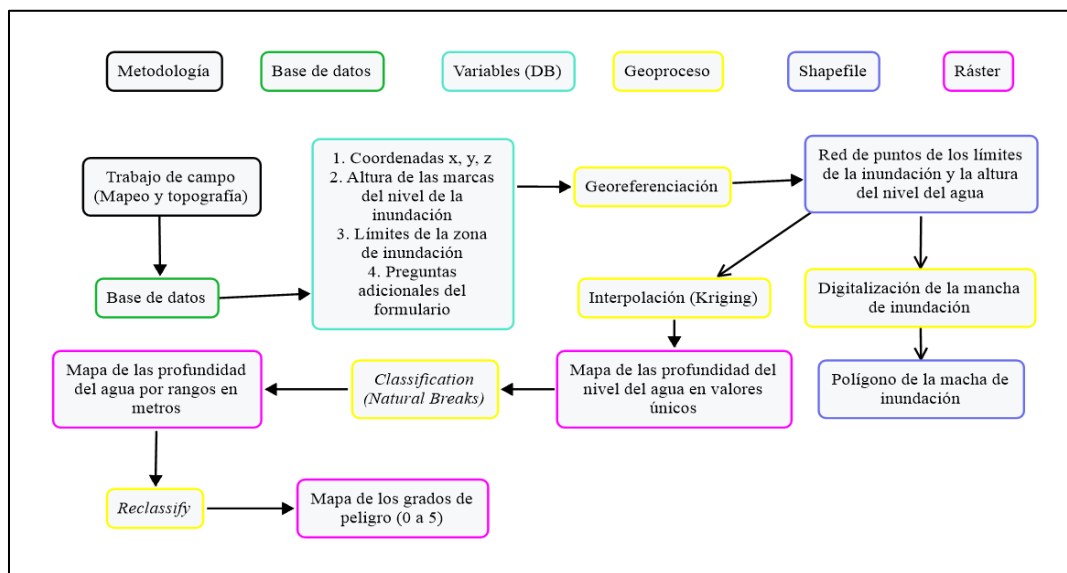
Así mismo Vázquez et al. (2014) expresa que “el método para realizar la delimitación consistió en obtener el límite máximo histórico de inundación sobre áreas de asentamientos humanos que en ese entonces correspondía a la temporada de lluvias del año 2007”. (p. 155)

Por lo tanto, fue esencial mapear el límite de la zona de la inundación, sin embargo, adicionalmente se optó el empleo de los métodos topográficos e hidrométricos para determinar la profundidad del nivel máximo estable alcanzado por la inundación en los distintos puntos de Tula, por lo tanto, para este análisis se recolecto información referente a las coordenadas UTM y la altura de la marca de la humedad de la inundación y sus correspondientes niveles trasladados, ambos en metros.

5.3.4. Modelo lógico del peligro

En la figura 16 se muestra el modelo lógico para la generación del mapa de peligro, así como los recursos y procedimientos a seguir.

Figura 16. Modelo lógico para la elaboración del mapa del peligro



Nota: Elaboración propia.



5.3.5. Metodología y procesos

Para este caso de estudio nuestro objetivo fue representar la mancha de inundación y la visualización de los niveles de agua alcanzados en Tula de Allende, por lo tanto, se tomó como referencia el estudio Vázquez, et al. (2014) “el método para realizar la delimitación consistió en obtener el límite máximo histórico de inundación sobre áreas de asentamientos humanos que en ese entonces correspondía a la temporada de lluvias del año 2007”. (p.155)

Así mismo se menciona la necesidad de la recolección de información en campo a través de la población, como lo expresa Vázquez, et al. (2014):

Debido a que la información sobre este hecho era inexistente, se procedió a realizar encuestas a la población en las colonias donde se tenían antecedentes de inundaciones y a partir de la información obtenida de los pobladores se realizaron mediciones con navegador GPS y estación total con el fin de obtener una curva de embalse hipotética de la máxima inundación ocurrida hasta ese entonces. (p.155)

Al igual que en la investigación de Vázquez et al. (2014), por la falta de información fue necesario el trabajo de campo para mapear la zona y límites de la inundación por medio de un GPS, y nivel topográfico, mediante la evidencia de marcas de humedad principalmente, así mismo se aprovechó el trabajo de campo para llenar formularios y conocer otros aspectos relacionados inundación a través de la memoria social y el testimonio de los afectados que posteriormente se analizaron.

5.3.1. Búsqueda de información hidrométrica

Para tener acceso a esta información se llevó a cabo trabajo de campo para la búsqueda de marcas o huellas de humedad que serán nuestra principal variable, debido a que esta evidencia física está presente en casas, negocios y demás estructuras locales y estas marcas representan un nivel estable y máximo que el agua desbordada alcanzo durante un evento de esta índole, además de que a los entrevistados también se les hicieron otras preguntas para conocer un poco acerca de la inundación, como las enfermedades provocadas por la inundación, tiempo en que el nivel del agua disminuyo completamente, etc., por lo que fue necesario recorrer toda la comunidad de Tula de Allende en dos prácticas de campo, en búsqueda de estas que aun prevalezcan en bardas de las casas, muros y negocios,

principalmente. Las prácticas de campo fueron realizadas en 26 y 27 de septiembre de 2024, y la posterior fue realizada el 14, 15 y 16 de marzo de 2025, en la sección de *Anexos* se adjuntan algunas fotografías tomadas en campo (figura 47, 48 y 49) de la práctica.

5.3.1.1. Obtención de datos in situ

5.3.1.1.1. Marcas de nivel máximo del agua

Se estructuró un formulario en el que los principales datos a obtener fueron: las coordenadas donde se toma la profundidad in situ, la cota topográfica de ese lugar mediante la lectura del GPS, y las preguntas adicionales referentes al tiempo de la inundación de ese lugar a el propietario de la casa, negocio donde está la huella de humedad de la inundación. Es importante destacar que después de 3 años y 7 meses después del último muestreo (figura 17) aun había un número significativo de marcas de esta inundación, y estas era muy útiles para conocer el nivel del agua en ese punto exacto y sobre todo permitía obtener otros niveles en una trayectoria establecida para conocer el límite de la inundación, con la técnica topográfica llamada nivelación geométrica para transportar niveles de esta marca o cota conocida a otro punto del terreno.

Figura 17. Marca de la humedad del nivel del agua máximo y estable de la inundación



Nota: Se señala en el ovalo rojo la marca de humedad de la altura del agua alcanzada en esa localización. Es importante notar la diferencia en el color de los muros, gran cantidad



de casas no han sido saneadas debido al abandono de estas, por lo que estas marcas pueden encontrarse aún en gran parte de Tula de Allende. Fotografía tomada en campo en marzo de 2025.

5.3.1.1.2. Nivelación Topográfica

Este método de nivelación permite trasladar y cuantificar niveles, en este caso, los niveles de estudio son las marcas de humedad, que son evidencia del nivel alcanzado por el desbordamiento, así que su búsqueda y cuantificación es esencial para este análisis, así mismo Navarro (2010) expone que:

La nivelación es una operación fundamental para el ingeniero, tanto para poder confeccionar un proyecto, como para lograr replantear el mismo. En términos genéricos Nivelación se aplica a cualquiera de los diversos procedimientos a través de los cuales se determinan elevaciones o diferencias entre las mismas. (p.9)

Los propósitos de la nivelación se utilizan:

- a) En el proyecto de carreteras, vías férreas, canales, obras de drenaje y sistemas de suministros de agua cuyas pendientes se adaptan en forma óptima a la topografía existente.
- B) En el trazo de construcciones de acuerdo con elevaciones planeadas.
- c) En el cálculo de volumen de terracerías y otros materiales.
- d) En la investigación de las características de escurrimiento o drenaje de una región.
- e) En la elaboración de mapas y planos que muestren la configuración general del terreno.
- f) En el estudio de los movimientos de las placas de la corteza terrestre y el asentamiento de las mismas.

(Navarro, 2010, p. 9)

5.3.1.1.3. Método de traslado de niveles y medición

De acuerdo con el procedimiento para la instalación del nivel topográfico, los pasos para el uso del nivel Leica, y su posterior traslado de niveles es de acuerdo con CIENTEC (s.f.) es:



1. **Buscar un lugar de referencia:** debemos encontrar un lugar de altura conocida, a través de un estudio de tierras hecho anteriormente o buscar en línea una ubicación localizada cerca del lugar a medir y así obtener datos más precisos.

El paso 2 de acuerdo con CIENTEC (s.f.) es:

2. **Puesta del Nivel:** colocar el trípode en un área plana y despejada y ubicarlo entre el punto de referencia y el que se desea medir. En este paso es muy importante contar con el trípode adecuado para el instrumento, que generalmente, viene con un kit ad hoc para su uso. Luego, se debe atornillar el **Nivel Topográfico** en la placa base del trípode y después conectar la placa base al cuerpo principal del trípode. Una vez conectado, se gira el telescopio del nivel, de forma que quede paralelo con dos de los tornillos niveladores del instrumento.

El paso 3 de acuerdo con CIENTEC (s.f.) es:

3. **Nivelación del Instrumento:** para ejecutar mediciones más precisas y exactas, se recomienda que el dispositivo este nivelado en un rango de 360° . Para nivelar, debemos buscar el nivel de burbuja del dispositivo, tomar los 2 tornillos de nivelación que están paralelos al telescopio, los que se deben girar en direcciones opuestas, hasta que la burbuja quede en el centro exacto del nivel.

El paso 4 de acuerdo con CIENTEC (s.f.) es:

4. **Enfoque del Nivel:** a continuación del paso anterior, enfocamos el nivel, apuntamos el objetivo hacia un objeto que en un principio se verá borroso, giramos el ocular hasta que se vea nítido.

El paso 5 de acuerdo con CIENTEC (s.f.) es:

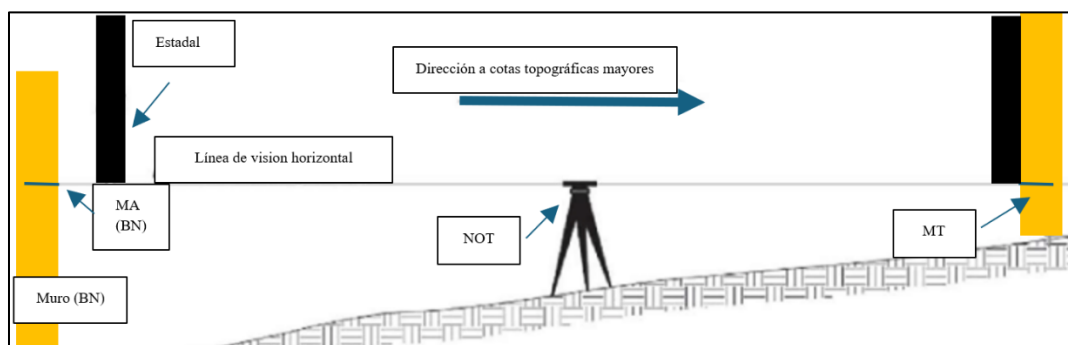
5. **Fijar una línea de referencia:** una vez enfocado el ocular, se apunta hacia la mira en forma vertical, usando el botón de enfoque para que sus marcas aparezcan de forma nítida, haciendo coincidir de manera exacta la cruz reticular con el centro de la mira, asegurándonos que no se muevan entre sí al mover el ojo detrás del ocular.

El paso 6 de acuerdo con CIENTEC (s.f.) es:

6. **Toma de mediciones:** después de ejecutar los pasos anteriores, con el instrumento nivelado y enfocado contra la mira, dependiendo del tipo y modelo del **Nivel Topográfico**, procedemos a medir alturas, distancias y ángulos, siguiendo las instrucciones del manual del fabricante.

Adicionalmente a el proceso de posicionamiento y configuración del nivel Leica, es necesario explicar que la vista o mira quede por encima de la marca de la humedad, o también ya que esta será nuestro banco de nivel (BN), por lo tanto posteriormente se tomara la lectura con el estadal, el cual debe posicionarse alineado y bien plomeado con esta marca, para que ese valor se traslade a otra barda, muro o poste, lugar donde también se medirá con un flexómetro, la altura del nivel del agua en ese lugar marcando una nueva paloma con marcador o con masking al lugar trasladado, siempre dirigiéndonos a las zonas altas de la topografía (figura 18) del lugar para encontrar el valor 0 del nivel, este proceso se hará hasta converger con la topografía del lugar (calle, suelo o pavimento), que será nuestro límite de inundación, el cual es útil para encontrar todo el perímetro de la mancha de inundación.

Figura 18. Técnica de traslado de niveles con nivel óptico de topografía



Nota: Procedimiento de la nivelación geométrica. Las abreviaciones significan: MA: Marca de agua (humedad o paloma, que también cumple la función de un banco de nivel), MT: Marca trasladada y NOT: Nivel óptico topográfico. De Accuracy Analysis of Geometric, Trigonometric and GNSS Height Difference Levelling (p. 236), Zrinjski et al., (2018). Modificada para explicar el procedimiento de traslado de niveles por Yaxi, O., (2025).



Con la figura previa describiré como se determinó y se registró el banco de nivel (marca de altura del agua). Primero se toma una medida de referencia con el estadal en la posición MA, si las condiciones topográficas lo permiten se alinea la base del estadal con la marca de humedad, y se toma la medida visualizando al estadal a través del nivel óptico topográfico (NOT), a su vez, se redirecciona la vista hacia un punto de donde la topografía es de mayor altura, para marcar un nuevo nivel, que será la marca o nivel trasladado (MT) en una pared cercana y garantizando que el valor de la lectura del estadal sea el mismo, así sucesivamente hasta que se tenga que reposicionar el NOT para reproducir la técnica, se repetirá este proceso con el fin de que la línea de visión horizontal se intercepte con el terreno, lo que indicará que ese punto es uno de los vértices de la extensión de la inundación.

Por lo tanto, en el formulario se registran los siguientes datos para esta fase de la representación espacial del peligro: id, coordenadas X, coordenadas Y, con la respectiva altura del nivel del agua, incluyendo la altura cero (0) entre otros.

Como información adicional las personas que habitan en las casas circundantes donde tomábamos las mediciones *in situ*, nos mostraban hasta donde había llegado el nivel del agua en la calle, lo que nos fue útil para corroborar que el establecimiento de una red de nivelación que cubriera toda la llanura de inundación es correcto, ya que nuestro límite de inundación correspondía con los niveles previamente señalados.

5.3.1.1.4. Límites de la inundación (nivel 0)

Como se mencionó anteriormente, una vez encontrado un banco de nivel de la marca de la altura señalada, se procedió a trasladar los niveles, mediante el uso de nivel topográfico como se muestra en la figura 19 esto permitió propagar este nivel hasta que convergiera con la topografía del piso, terreno, suelo, o pavimento.

Figura 19. Uso del nivel óptico topográfico



Nota: Medición de las marcas de humedad de la inundación que fueron trasladadas con nivel óptico topográfico. Fotografía tomada en campo.

A continuación, se muestran nuestra tabla de atributos con las profundidades de la inundación, las cuales ya georreferenciadas, estos datos fueron recolectados en las dos prácticas de campo.

Tabla 4. Profundidades del agua de inundación

9	Point	27	9	21	2036	1.46	Casa tin		1148
11	Point	27	9	23	2036	1.86	Casa verde puente		1209
17	Point	27	9	30	2038	2.12	Cocina economica		1242
21	Point	27	9	34	2038	0.8	Floreria_church		129
4	Point	26	9	7	2038	2.65	Frente a centro de		0
18	Point	27	9	31	2037	0.5	Llanteria		1247
14	Point	27	9	26	2036	2.05	Mecanico		1218
24	Point	27	9	39	2037	2.15	Mecanico 16 de se	2 días bajar la i	202
16	Point	27	9	28	2038	1.55	Papeleria		1237
10	Point	27	9	22	2038	0.2	Pintura		1154
3	Point	26	9	6	2038	3.12	Renta de trajes		0
22	Point	27	9	36	2036	3	Ropa		149

Nota: Elaboración propia. Recopilación de datos en campo de las profundidades de inundación y límites de la zona de inundación recolectadas en las prácticas de campo de septiembre de 2024 y marzo de 2025, el resto del conjunto de datos para futuros análisis geoespaciales está disponible en la sección de anexos.

Nuestra tabla tiene de 256 registros de valores equivalentes a 0m de profundidad de inundación, debido a que estos datos fueron abundantes al encontrarlos y registrarlos mediante el traslado de los niveles y con fotografías de las personas que nos compartían en WhatsApp y las recopiladas en internet de la inundación. Respecto a nuestros datos mayores



a 0 hasta los 3.85m de nuestra altura máxima del agua, son 143 registros, teniendo un total de 399 registros para el siguiente proceso de la metodología.

5.3.1.2. Tratamiento y calidad de la información

Una vez recopilada información esta base de datos fue procesada y georreferenciada en ARCMAP 10.8, este software desarrollado por la compañía ESRI (Environmental Systems Research Institute) por sus siglas en inglés primeramente, se hizo un análisis de congruencia de la altura del agua alcanzada entre los puntos y sus vecinos más cercanos, para este proceso se clasificaron todos los puntos en clases y estas clases se les agrego un tamaño al punto en función de la altura del agua, por lo que visualmente resaltarían aquellos que son valores altos de los que son bajos respecto a sus vecinos cercanos y viceversa, afortunadamente solo se tuvieron dos mediciones erróneas, que fueron descartadas.

5.3.1.3. Interpolación

Debido a que nuestro objetivo es representar el nivel que alcanzo el agua continuamente en el espacio geográfico (mancha de inundación) es necesaria la aplicación de métodos de interpolación, cuya herramienta también es empleada para las profundidades y otras variables, de acuerdo con lo declarado a continuación, de acuerdo con ESRI (2025b):

La interpolación predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para prever valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas y niveles de ruido.

De acuerdo con lo anterior, la interpolación demuestra representar continuamente en el espacio cierta variable de interés, es así como tomando de referencia el estudio de Chávez (2020), resumimos que:

La estimación de profundidades mediante técnicas de teledetección y datos LIDAR con radar para obtener la capa de zonas de inundación del río Ebro y la construcción de líneas equidistantes para asociar parámetros de posición y elevación a partir del MDE, obtuvo valores de profundidad de inundación en cada punto de la línea, una vez obtenida la red de puntos con coordenadas X, coordenadas Y, y la profundidad,



finalmente empleo la herramienta de interpolación en ARCMAP para clasificarlas en siete rangos”. (p. 23-24)

Por lo tanto, teniendo un conjunto potencialmente distribuido en la zona de inundación del valor de las profundidades, la interpolación contribuye a tener una visión no solo de la extensión de la inundación, sino también de las profundidades en la zona afectada, ya que facilita la atención en emergencias, gestión el riesgo para reducirlo, mediante la localización y enfocándose en aquellas zonas de mayor peligro ante inundaciones en función de esta variable.

5.3.1.4. Kriging

Una vez tratado el conjunto de datos de campo, se procede a obtener toda la continuidad de los datos en la mancha de inundación, en este caso la información geográfica para su análisis es la altura del nivel del agua en un punto específico, por lo tanto, se empleará el kriging, este método de acuerdo con ESRI (2025b):

Está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Las técnicas de estadística geográfica no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones.

5.3.1.5. Reclasificación de la profundidad

Se compararon algunos modelos espaciales de interpolación en ArcMap, sin embargo, se optó por el uso del kriging en de tipo exponencial del semivariograma, debido a que este representaba mejor la continuidad de los datos, además de que la continuidad espacial de estos no variaba significativamente, en comparación con los otros modelos. Cabe destacar que no había diferencias significativas, se pudo adoptar, cualquiera de estos. Finalmente, se reclasificación los valores de la profundidad por natural breaks (tabla 5) para emplear el resultado de este mapa en la herramienta de *map algebra* de *spatial analyst*.



Tabla 5. Valores de la profundidad reclasificados (Natural Breaks)

Reclasificación (Natural Breaks)	Grado de peligrosidad (Clases)
0 – 0.70	1
0.70 – 1.55	2
1.55 – 2.35	3
2.35 – 3.19	4
3.19 – 3.85	5

Nota: Elaboración propia.

El resultado de los mapas de profundidad y la clasificación de los niveles de peligro se presentan en el capítulo de resultados.

5.3.1.6. Unión espacial (Spatial join)

Esta herramienta de acuerdo con ESRI (2025c) “une los atributos de una entidad con otra basada en la relación espacial. Las entidades de destino y los atributos unidos de las entidades de unión se escriben en la clase de entidad de salida”. Así también entre sus usos de acuerdo con ESRI (2025c) son:

- ❖ La unión espacial hace coincidir las filas de los valores de **Entidades de unión** con los valores de **Entidades de destino** según sus *ubicaciones espaciales relativas*.
- ❖ De forma predeterminada, todos los atributos de las entidades de unión se incorporan a los atributos de las entidades de destino y se copian en la clase de entidad de salida.

El objetivo de la implementación de esta herramienta es obtener la categoría del grado de peligro a través de la capa de la profundidad de inundación, con el fin de que se cree un campo nuevo en la tabla de atributos de las manzanas, para clasificarlas de acuerdo con el grado de peligro que más espacio abarca en dicha manzana, para obtener una cuantificación de la población y viviendas afectadas por grado de peligro, este resultado se mostrara en *resultados*.



5.4. Análisis de la vulnerabilidad

5.4.a Recursos

El uso de las bases de datos se explicará en la siguiente sección, esta lista está integrada por:

- ❖ Censo de población y vivienda de INEGI 2020 (Principales resultados por AGEB y manzana urbana)
- ❖ Metodología de SIG aplicado a la evaluación de vulnerabilidad por inundación en la ciudad de Tixtla, Guerrero. México, de Vázquez et al (2014)
- ❖ Software Excel de Microsoft Corporation
- ❖ Software ArcMap 10.8 de ESRI
- ❖ Shapefile de la manzana urbana de Tula de Allende, Hidalgo del Marco Geoestadístico Nacional
- ❖ Shapefile de las unidades económicas del 2024 del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)

5.4.2.2. Unidad espacial (Manzana urbana)

Se pensó en emplear primeramente los shapefiles de las AGEB disponibles en el Marco Geoestadístico del Estado de Hidalgo, descargados de la página de INEGI, sin embargo la extensión y uso de estos al aplicar la unión de los indicadores y finalmente del índice global de vulnerabilidad que resume los tres indicadores, ambos calculados en Excel, resulta en una generalización de las zonas afectadas, es por eso que se decidió emplear una unidad espacial más pequeña, por lo que el shapefile de las manzanas de Tula de Allende, resultó ser del tamaño adecuado para caracterizar la vulnerabilidad de las zonas afectadas por la inundación a un nivel más disgregado.

5.4.2.3. Empleo del polígono de la zona de inundación

Con el polígono de una inundación es crucial para el estudio de la población y las unidades económicas afectadas por varias razones, esto está explicado en el trabajo de Vázquez et al. (2014):

Trata sobre la aplicación de un SIG como herramienta de mapeo y análisis espacial, para evaluar el impacto de posibles inundaciones y los riesgos que conlleva. El primer



paso para para la integración de la información fue la delimitación de la zona de riesgo de inundación. El método para realizar la delimitación consistió en obtener el límite máximo histórico de inundación sobre áreas de asentamientos humanos que en ese entonces correspondía a la temporada de lluvias del año 2007. (p. 155)

Este polígono es importante, debido a que define con precisión el área geográfica afectada por la inundación en Tula del 2021, y servirá para identificar las unidades espaciales específicas (manzana) que interactuaron con el peligro, además de que se identificará cuáles son las que necesitan una atención inmediata en la gestión post evento.

Al identificar el conjunto de la unidad espacial afectada se identificarán las variables de índole poblacional, habitacional y económica para cada indicador.

Este polígono ya se ha obtenido en la sección del *análisis del peligro*, y se retomó en la presente metodología para seleccionar por localización las manzanas que interceptan y están dentro de la zona de inundación para finalmente caracterizar el grado de vulnerabilidad de cada manzana según sus atributos y calcular el índice global de vulnerabilidad.

5.4.1. Identificación de procesos

Esta primera fase tiene como objetivo determinar los procesos relacionados con los elementos que son vulnerables. Así como externar las interacciones espaciales de los procesos dinámicos y como se relacionan.

5.4.1.2. Vulnerabilidad

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016) menciona que “la vulnerabilidad está definida como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos”. Para la vulnerabilidad es evidente el crecimiento de la ciudad lo que se traduce en que, a mayor densidad de población, crece también las unidades económicas y con ello la presencia del riesgo de inundaciones de estos elementos.

La interacción espacial de las inundaciones con los elementos vulnerables como la población, la vivienda y las unidades económicas se manifiesta a través de como la amenaza actúa sobre



la vulnerabilidad que presentan estos componentes. Las zonas más susceptibles a inundaciones suelen ser aquellas ubicadas en áreas bajas, cercanas a cuerpos de agua, donde incide la acumulación y afecta directamente a la población, poniendo en riesgo vidas humanas y hogares. Además, las viviendas, especialmente las informales o mal construidas, o con falta de servicios, pueden colapsar o ser dañadas gravemente.

Las unidades económicas, especialmente las de pequeña y mediana escala, se ven afectadas por la interrupción de actividades productivas, la destrucción de infraestructura y la pérdida de bienes, lo que genera consecuencias económicas a corto y largo plazo. La disposición de estos elementos en el espacio geográfico influye en la magnitud del impacto, ya que las áreas urbanas con mayor densidad de población y actividades económicas están más expuestas a los efectos devastadores de las inundaciones. Los impactos del peligro afectan en diferente medida a los elementos expuestos, según sus características individuales de estos, sin embargo, inductivamente la vulnerabilidad calculada será diferente para cada unidad espacial.

5.4.2. Identificación de variables

Las siguientes variables se enfocan para representar los elementos expuestos, con la finalidad de cuantificarlos y clasificarlos para determinar aquellas manzanas con mayor vulnerabilidad. La unidad espacial para esta sección es la manzana, obtenida del marco geoestadístico de INEGI, debido a que otras unidades como las AGEB son demasiado extensas para representar localmente la vulnerabilidad de los elementos expuestos en Tula de Allende. Por lo tanto, las manzanas son la unidad espacial idónea para el análisis de la vulnerabilidad de los diferentes indicadores.

Es importante aclarar que se tomaron las mismas variables del estudio de Vázquez et al. (2017), para el cálculo de la vulnerabilidad de la población y de las viviendas, sin embargo, se modificó la cuantificación para las *unidades económicas*, esta adaptación será explicada a continuación.

5.4.2.1. Variables de la vulnerabilidad de la población

En conformidad con Vázquez et al. (2017) “para el análisis de la vulnerabilidad poblacional, se tomaron en cuenta dos aspectos generales que inciden en diferenciar cuáles grupos de la



población son más vulnerables respecto al resto, estos son: la edad y la presencia de alguna discapacidad física”.

De esta forma, se consideraron los siguientes grupos de población existentes en la base de datos del censo de población y vivienda de INEGI 2020:

- ❖ Adultos mayores de 60 años.
- ❖ Niños menores de 0 A 14 años
- ❖ Población con alguna discapacidad.

Las personas mayores de 60 años, las personas con capacidades diferentes y los niños y adolescentes de 0 a 14 años son más vulnerables ante inundaciones por varias razones:

La dependencia de las personas mayores de 60 años y de las personas con alguna discapacidad representa una dificultad en caso de emergencias para actuar o seguir protocolos de evacuación. Así mismo los niños pequeños y adolescentes dependen en diferente medida de los adultos mayores para salvaguardarlos y para la toma de decisiones antes, durante y después de un desastre.

5.4.2.2. Variables de la vulnerabilidad de las viviendas

Para definir las variables para la vulnerabilidad de las viviendas se consultó la base de datos del censo de población y vivienda de INEGI 2020, y siguiendo con la metodología de Vázquez et al (2017) se identificaron aquellas variables que repercuten en las características de la vivienda y en como estas contribuyen a enfrentar o minimizar las condiciones posteriores a una inundación.

De esta forma, se consideraron tres grupos de población disponibles en la base de datos de los principales resultados por AGEB y manzana urbana del censo de INEGI 2020:

- ❖ Viviendas con piso de tierra
- ❖ Viviendas sin electricidad
- ❖ Viviendas sin drenaje



La importancia de la selección de las variables radica en que las viviendas con piso de tierra suelen estar asociadas con condiciones de bienestar insuficiente o precario y suelen estar a merced de daños estructurales ante una inundación.

Así también las viviendas sin drenaje incluso sin agua potable, y por supuesto las viviendas sin el servicio de la electricidad son focos de enfermedades por la falta de acceso a drenaje y al sistema de agua limpia para la limpieza y saneamiento en especial durante y después de una inundación. Además de que también las viviendas con estas características suelen ser áreas con menos acceso a recursos, lo que dificulta la recuperación y resiliencia al prolongar el tiempo en esta condición insalubre.

Al mismo tiempo es importante destacar que las viviendas y personas sin acceso a la energía eléctrica son vulnerables debido a que no son alertadas por un medio que dependa de este servicio, como un celular, que cabe resaltar, después de la inundación se crearon grupos de WhatsApp y Facebook como medida de alerta temprana para posibles inundaciones y alerta a la mayor cantidad de población posible.

5.4.2.3. Variables de la vulnerabilidad económica

Nuestra variable es la unidad económica (UE) del Directorio Estadístico Nacional de las Unidades Económicas del 2020, descargado de la página de INEGI, de manera que la ubicación de los negocios activos en la zona de inundación es clave para determinar y clasificar aquellas manzanas que son las más vulnerables económicamente por la concentración de los negocios en las manzanas.

Estas unidades afectadas repercuten en el número de trabajadores y bienes o servicios paralizados, bienes de los negocios perdidos, así como el número de clientes no atendidos y la cantidad monetaria no generada por la catástrofe. Así que el análisis de la economía local también es importante por los bienes o servicios esenciales que no son suministrados en la zona de inundación, en consecuencia, impacta en la resiliencia de la población, por lo que es esencial cuantificar las unidades económicas afectadas.

Por lo que nuestra única variable en la vulnerabilidad económica es contar con la ubicación de estas UE dentro de la zona de inundación.

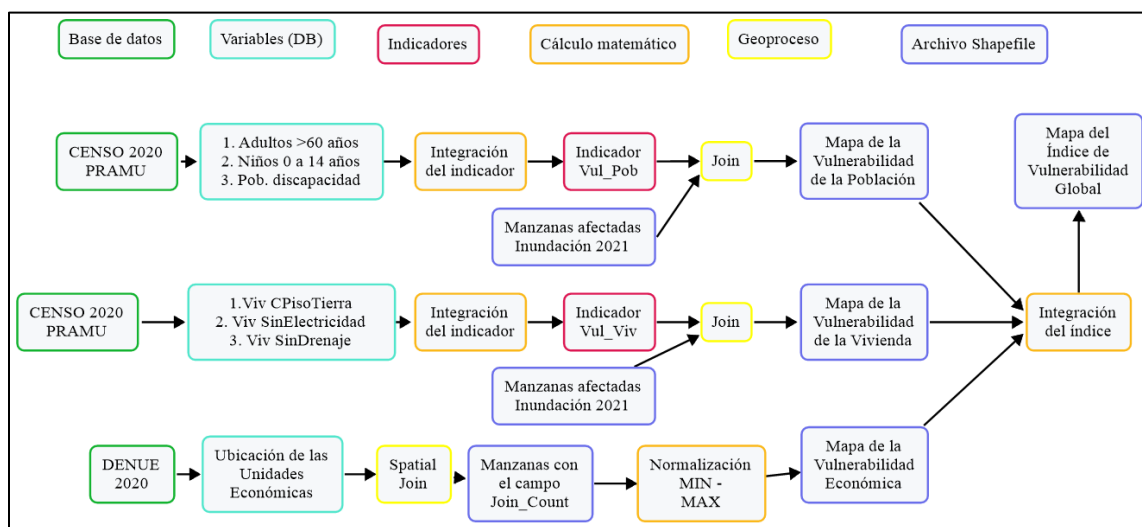
5.4.2.3. Variables del Índice de Vulnerabilidad Global

Una vez calculados los indicadores de la *vulnerabilidad poblacional*, *vulnerabilidad de las viviendas* y la *vulnerabilidad económica* serán las variables que integrarán el *índice global de vulnerabilidad*. Este permitirá la generalización de los tres indicadores, y será esencial para identificar aquellas manzanas con mayor vulnerabilidad global.

5.4.3. Modelo lógico de la vulnerabilidad global

A continuación, se muestra el modelo lógico (figura 20) que explica la nuestro proceso para obtener nuestro mapa de la vulnerabilidad global a partir de nuestros indicadores de la vulnerabilidad de la población, vulnerabilidad de la vivienda y la vulnerabilidad económica:

Figura 20. Modelo Lógico para el cálculo del mapa de la Vulnerabilidad Global



Nota: Elaboración propia.

5.4.4. Metodología y procesos

Para toda la fase del análisis de la vulnerabilidad se tomó como base la metodología de Vázquez et al. (2014) para los indicadores de vulnerabilidad de la población, vivienda y la económica, para finalmente obtener nuestro índice global de vulnerabilidad de las manzanas afectadas por la inundación de 2021 en Tula de Allende.



5.4.4.1. Cálculo de la vulnerabilidad de la población

Se descargo el Marco Geoestadístico de INEGI 2020 para acceder al shapefile de manzanas y a su vez extraer la base de datos ya que en esta hay un conjunto de atributos que serán esenciales para identificar nuestras variables, también se puede consultar el CENSO 2020 principales resultados por AGEB y manzana urbana de INEGI, posteriormente se realizó la concatenación de las claves del estado, municipio, localidad y manzana, para hacer un join en ArcMap de los cálculos y que esta clave coincida con la misma que ya está en la tabla de atributos de las manzanas.

Además, se procedió con la limpieza de la base de datos, al reemplazar caracteres como los asteriscos que suelen contener estas bases de datos con un espacio en blanco para que no interfirieran con las fórmulas aplicadas en la base de datos, además de convertir los datos de interés que están guardados en tipo texto a tipo numérico para que al momento de sustituir nuestras celdas en la formula en Excel, no se detectarán errores por el tipo de dato o carácter ingresado.

Como se mencionó con anterioridad para el análisis de la vulnerabilidad de la población, consideraron los siguientes grupos de población existentes en la base de datos del CENSO 2020 de INEGI:

- ❖ Adultos mayores de 60 años
- ❖ Personas de entre 0 a 14 años
- ❖ Población con alguna discapacidad

Una vez seleccionados nuestros campos en Excel se procedió a la ejecución de la formula.

5.4.4.1.1. Fórmula para el Indicador de la Vulnerabilidad de la Población

Para explicar los cálculos podemos definir el indicador de vulnerabilidad de la población (IV_{POB}) es necesario seguir el método empleado por Vázquez et al. 2014. Para obtener la vulnerabilidad de la población (P_{vul}) debemos sumar las tres variables: población mayor de 60 años, población de 0 a 14 años y población con alguna discapacidad:

$$P_{vul} = P_{60} + P_{0-14} + P_{cd}$$



Variables:

- ❖ *Pvul*: Población vulnerable incluye a (mayores de 60 años, personas de 0 a 14 años, y personas con discapacidad)
- ❖ *P60>*: Personas mayores a 60 años
- ❖ *P0-14*: Personas de 0 a 14 años
- ❖ *Pcd*: Personas con alguna capacidad diferente

La fórmula del Indicador de Vulnerabilidad de la Población se explica a continuación

$$IV_{POB} = Pv/Pt$$

Las variables del indicador de vulnerabilidad de la población se explican a continuación:

- ❖ *IV_{POB}*: Indicador de vulnerabilidad de la población
- ❖ *Pv*: Población vulnerable incluye a (mayores de 60 años, personas de 0 a 14 años, y personas con discapacidad)
- ❖ *Pt*: Población total de la manzana

El indicador es la razón de la Población Vulnerable: Se calcula dividiendo la población vulnerable (*Pv*) entre la población total (*Pt*).

Con el censo de población y vivienda se sumaron los valores individuales, para determinar la cantidad total de personas que son altamente vulnerables respecto al total de personas que viven en cada manzana.

Al obtener la razón nos permite normalizar los valores en un rango de 0 a 1, que posteriormente serán clasificados con la herramienta *reclassify* en ArcMap, para obtener cinco grados de vulnerabilidad iniciando con valores cercanos a cero en muy baja, baja, moderada, *alta* y *muy alta vulnerabilidad* reservados para valores cercanos a uno.

Una vez hechos los cálculos y reclasificando por natural breaks (jenks) en ArcMap se obtuvo el grado de vulnerabilidad obtenemos el mapa en el capítulo de resultados.



5.4.4.2. Cálculo de la vulnerabilidad de la vivienda

Como se explicó con anterioridad, se consultó para este indicador la base de datos del marco Geoestadístico de INEGI del 2020, a fin de identificar nuestras variables de interés, como se justificaron con anterioridad nuestras variables y su posterior calculo se explica a continuación:

5.4.4.2.1. Fórmula para el Indicador de Vulnerabilidad de Viviendas

Para calcular la vulnerabilidad de viviendas tenemos las siguientes variables y se sustituyó en la siguiente formula y continuación se explican las variables en la formula:

$$V_{viv} = V_{pt} + V_{selec} + V_{sd}$$

Las variables del indicador de vulnerabilidad de las viviendas se explican a continuación:

- ❖ V_{pt} : Número de viviendas con piso de tierra.
- ❖ V_{selec} : Número de viviendas electricidad.
- ❖ V_{sd} : Número de viviendas sin drenaje.

La fórmula del Indicador de Vulnerabilidad de la Vivienda se explica a continuación:

$$IV_{viv} = V_{viv} / V_{tot}$$

Variabes del indicador de la vivienda:

- IV_{viv} : Indicador de la Vulnerabilidad de la Vivienda
- V_{viv} : Vulnerabilidad de las Viviendas (Incluye a las viviendas sin agua potable, sin electricidad y con piso de tierra)
- V_{tot} : Número total de viviendas en la manzana



El indicador es la razón de la Población Vulnerable: Se calcula dividiendo la Vulnerabilidad de las viviendas (V_{viv}) entre las viviendas totales de la vivienda (V_t).

Con esta base de datos se sumaron estos valores individuales, se determinó la totalidad de las viviendas que son más vulnerables de cada manzana afectada por la zona de inundación.

Al obtener la razón mediante la formula del Indicador de la Vulnerabilidad de la Vivienda (IV_{viv}) nos permite normalizar los valores comprendidos en un rango de 0 a 1, que posteriormente serán clasificados con la herramienta *reclassify* en ArcMap, para obtener cinco grados de vulnerabilidad iniciando con valores cercanos a cero en muy baja, baja, moderada, *alta* y *muy alta vulnerabilidad* reservados para valores cercanos a uno.

Una vez hechos los cálculos y categorizando el grado de vulnerabilidad obtenemos el mapa de vulnerabilidad de las viviendas en el capítulo de resultados.

5.4.4.3. Cálculo de la vulnerabilidad económica

Para este caso, se descargó el archivo shapefile del DENU de INEGI de 2020, y se realizó un *spatial join*, con el objetivo de cuantificar las unidades económicas que están dentro o se interceptan con un polígono de la manzana correspondiente, clasificando a las manzanas centrales con mayor número de presencia económica (52 unidades) y clasificando el resto en función del método de normalización de mínimos y máximos MIN-MAX para que estos valores se reclasificaran en un rango de 0 a 1.

Estos valores comprendidos en dicho rango serán clasificados con la herramienta *reclassify* en ArcMap, para obtener cinco grados de vulnerabilidad iniciando con valores cercanos a cero en muy baja, baja, moderada, *alta* y *muy alta vulnerabilidad* reservados para valores cercanos a uno.

Una vez hechos los cálculos y categorizando el grado de vulnerabilidad obtenemos el mapa de vulnerabilidad económica en el capítulo de *resultados*.

5.4.4.4. Cálculo de la vulnerabilidad global

Con el fin de contar con una cuantificación que resuma los tres indicadores anteriores se implementa el método de Vázquez et al (2014) para obtener un mapa de la vulnerabilidad global mediante la herramienta algebra de mapas de ArcMap.



Se realizó promedio a través de la siguiente fórmula:

$$IVG = (IV_{POB} + IV_{viv} + Iveco) / 3$$

Las variables son los tres indicadores que ya hemos calculado con anterioridad:

- IGV= índice de Vulnerabilidad Global
- IV_{POB} : Indicador de vulnerabilidad de la población
- IV_{viv} =Indicador de la Vulnerabilidad de las Viviendas
- $Iveco$ = Indicador de Vulnerabilidad Económica

Una vez hecho el cálculo y categorizando el grado de vulnerabilidad obtenemos el mapa de vulnerabilidad global en el capítulo de *resultados*. También se clasificarán por su grado de vulnerabilidad y se cuantificará la población y viviendas afectadas.



5.5. Análisis de la exposición

5.5.a. Insumos

El uso de los siguientes insumos se explicará en la siguiente sección, esta lista está integrada por:

- ❖ Modelo Digital de Elevaciones (*DEM - Digital Elevation Model por sus siglas en inglés*) del Estado de Hidalgo, México.
- ❖ Software ArcMap 10.8 de ESRI
- ❖ Manual para la elaboración de mapas de riesgo de Renda et al., 2017.

5.5.1. Identificación de procesos

Debido a la dinámica de un desbordamiento se entiende que el excedente de un caudal se va a dirigir hacia las cotas más bajas de un terreno, por lo que es esencial localizar y clasificar estas cotas de menor a mayor exposición, y así determinar que zonas de la llanura de inundación son más propensas a inundarse debido a su topografía, así mismo, hay manzanas que son vulnerables a una inundación, sin embargo, están en cotas superiores más allá de los límites de la zona de inundación, por lo que, aunque son vulnerables, no están expuestas por no ser parte de la llanura de inundación.

5.5.2. Identificación de variables

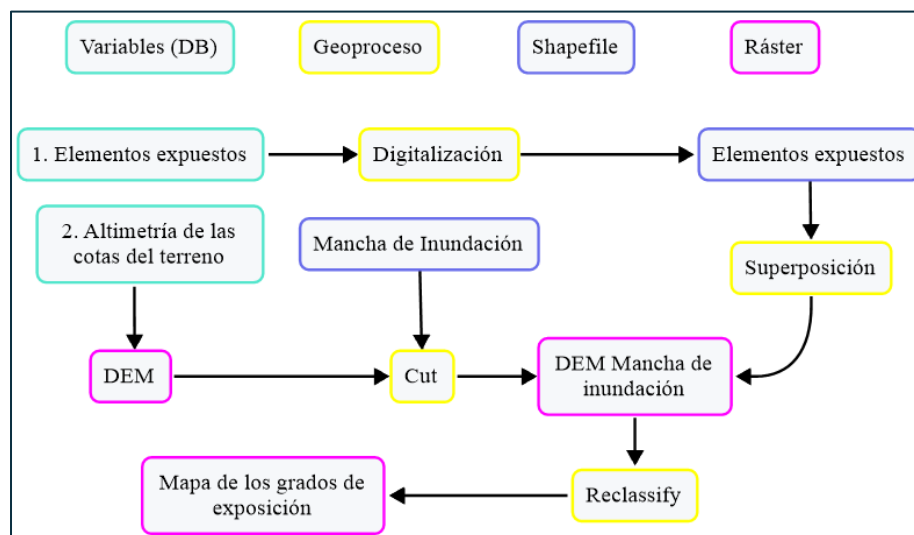
Como nuestro fin es determinar aquellas zonas de mayor exposición ante un desbordamiento del Río Tula, se pretende clasificar las cotas del terreno, por lo que nuestra principal variable de interés es la altimetría del terreno.

Así mismo, para clasificar nuestro terreno en niveles de exposición, tenemos que ubicar y los elementos críticos y esenciales afectados por la inundación, esto incluye, infraestructura de movilidad, económica, salud, vías, institucionales y gubernamentales.

5.5.3. Modelo lógico de la exposición

A continuación, se muestra en la figura 21 el modelo lógico de los procesos, insumos y recursos que fueron empleados para obtener nuestra capa de la exposición.

Figura 21. Diagrama metodológico de la exposición.



Nota: Elaboración propia.

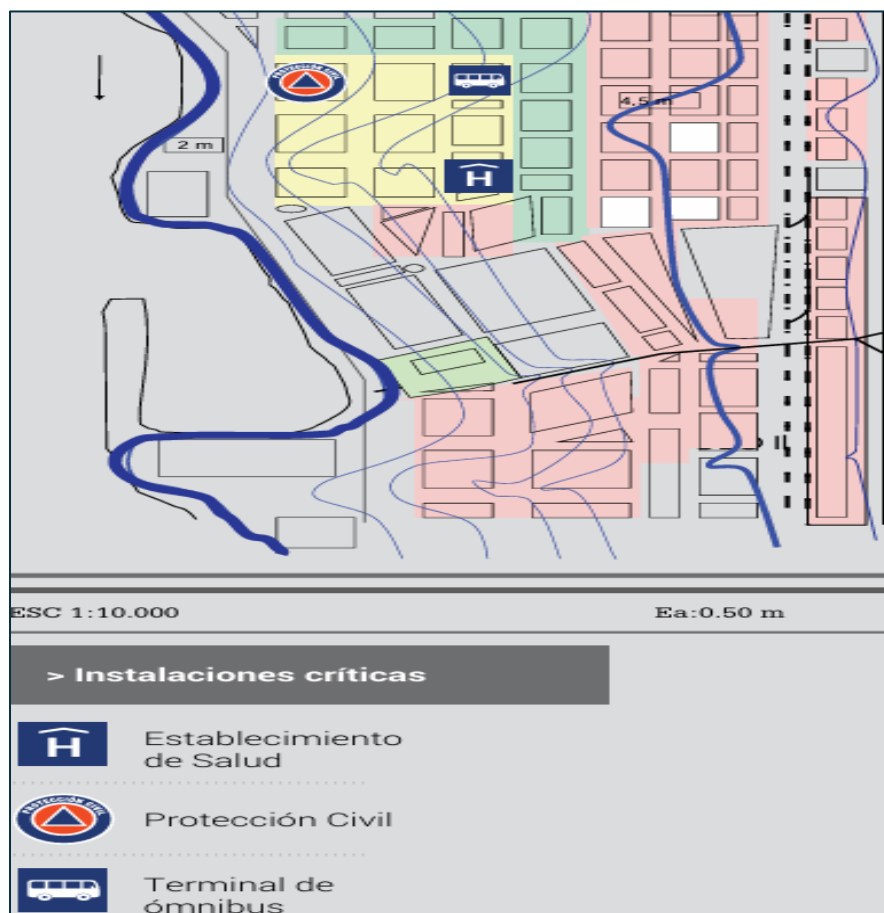
5.5.4. Metodología y Procesos

Para representar aquellas zonas de exposición se optó por el manual para la elaboración de mapas de riesgo de Renda et al., (2017) en virtud de que explican que:

A través de la lectura de la altimetría del terreno y los elementos construidos se pueden determinar los niveles de exposición y vulnerabilidad de una población.

Así mismo, se debe analizar la localización de las instalaciones críticas según la función que ocupan como infraestructuras, servicios o equipamientos esenciales en el caso de ocurrencia de una situación de riesgo (figura 22). (p. 31)

Figura 22. Mapa de viviendas e instalaciones próximas al río



Nota: En la figura se aprecian aquellas instalaciones críticas y zonas cercanas al río que están sujetas a posibles afectaciones, debido a la cercanía con él. De Manual para la elaboración de mapas de riesgo (p. 30), Renda et al, 2017, Secretaria de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes.

5.5.4.1. Digitalización de elementos expuestos

Bajo esta información para integrar el siguiente análisis espacial de la exposición con los análisis previos a través del álgebra de mapas, se optó por cuantificar y digitalizar los elementos críticos donde sus funciones y presencia representan gran importancia y afectaciones ante un evento de inundaciones.



5.5.4.2. Reclasificación de la altimetría

De acuerdo con la metodología de Renda et al., (2017), una vez identificados los elementos se procedió a hacer una superposición, primeramente, con la capa de la zona de inundación para localizar aquellos afectados directamente con la inundación, y posteriormente se procedió con la segunda superposición de los elementos expuestos, esta vez, con el DEM obtenido a través del geoproceso *cut* en ArcMap con la zona de inundación, con el fin de reclasificar nuestras zonas de exposición,

Así mismo se priorizo que la clasificación de los nuevos valores fuese en función de las cotas más bajas, debido a que estas son las primeras zonas afectadas por el desbordamiento, así como teniendo en cuenta la localización y concentración de los elementos expuestos para determinar aquellas cotas que convergen con estos, posteriormente determinaron los rangos de reclasificación de cotas (tabla 6).

Tabla 6. Cotas reclasificadas en función de los elementos expuestos

Rangos (Cotas)	Valor	Profundidad de inundación (m)
2009 – 2016	5	3.19 – 3.85
2016 – 2023	4	2.35 - 3.19
2023 – 2026	3	1.55 – 2.35
2026 – 2028	2	0.7 – 1.55
2028 – 2030	1	0 – 0.70

Nota: Elaboración propia. Es importante aclarar que el valor de la profundidad es aproximado, debido a que se tienen algunas variaciones de las profundidades dependiendo de la cota topográfica en distinta coordenada.

Teniendo en cuenta que las cotas más bajas, tendrán mayor exposición al río, y, por el contrario, las cotas más altas tendrán un valor menor de exposición, que convergen con las cotas cercanas a los límites de la mancha de inundación, se establece que, de acuerdo con la reclasificación anterior, los elementos expuestos se concentran en el grado de exposición 4 y 5, que será analizado en el capítulo de resultados.



5.5.1.6. Unión espacial (Spatial join)

Esta herramienta de acuerdo con ESRI (2025c) “une los atributos de una entidad con otra basada en la relación espacial. Las entidades de destino y los atributos unidos de las entidades de unión se escriben en la clase de entidad de salida”. Así también entre sus usos de acuerdo con ESRI (2025c) son:

- ❖ La unión espacial hace coincidir las filas de los valores de **Entidades de unión** con los valores de **Entidades de destino** según sus *ubicaciones espaciales relativas*.
- ❖ De forma predeterminada, todos los atributos de las entidades de unión se incorporan a los atributos de las entidades de destino y se copian en la clase de entidad de salida.

El objetivo de la implementación de esta herramienta es obtener la categoría del grado de exposición a través de la capa de la altimetría reclasificada, con el fin de que se cree un campo nuevo en la tabla de atributos de las manzanas, para clasificarlas de acuerdo con el grado de exposición que más espacio abarca en dicha manzana, para obtener una cuantificación de la población y viviendas expuestas por grado de peligro, este resultado se mostrara en *resultados*.

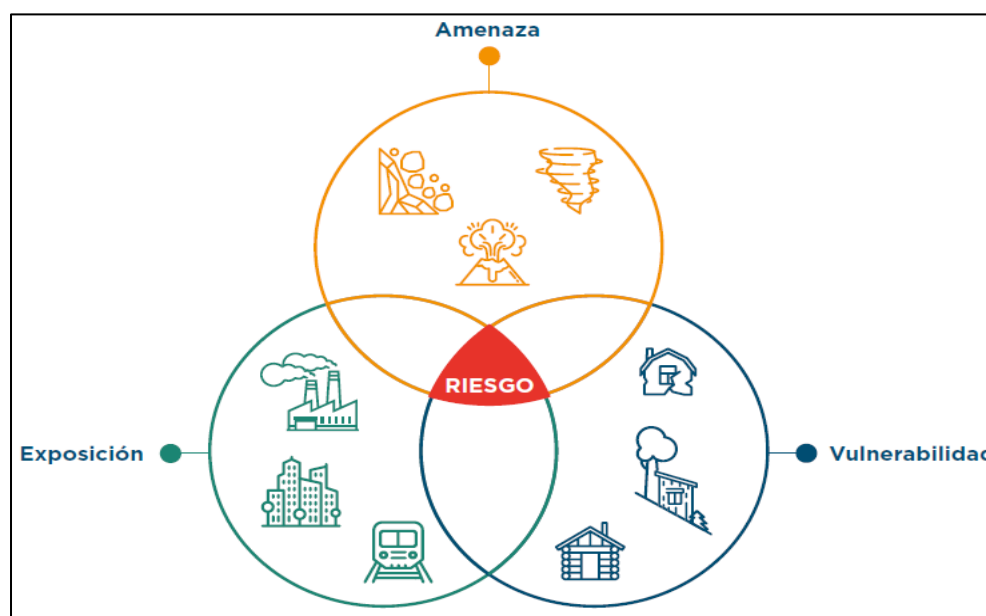
5.6. Análisis del Riesgo

De acuerdo con Alcántara (2023), “El riesgo de desastre puede describirse en función de los propios eventos peligrosos, el nivel de exposición a los mismos y la vulnerabilidad de las personas y los bienes expuestos”.

5.6.1. Identificación de procesos

El río Tula, es un cuerpo de agua que conduce aguas residuales y pluviales de la ZMCM, debido a la insuficiencia en la capacidad del río Tula y los constantes aportes del TEC Y TEO administrados por la CONAGUA, provocan que se genere el riesgo de inundaciones (figura) en Tula de Allende, debido al desbordamiento del río homónimo, provocando que se generen condiciones de desastre, y afectando a la población, viviendas y unidades económicas, según sus características, la figura 23 explica la interacción de los factores generadores de riesgo.

Figura 23. Factores constructores del riesgo



Nota: El riesgo se da mediante la condición de la interacción de tres factores, por ejemplo: peligro (amenaza de una probable inundación), exposición (localización de elementos expuestos respecto al peligro) y vulnerabilidad (características de los elementos expuestos, pueden ser socioeconómicas). De Metodología de evaluación del riesgo de desastre y cambio climático para proyectos del BID (p. 11), Barandiarán et al., (2019).

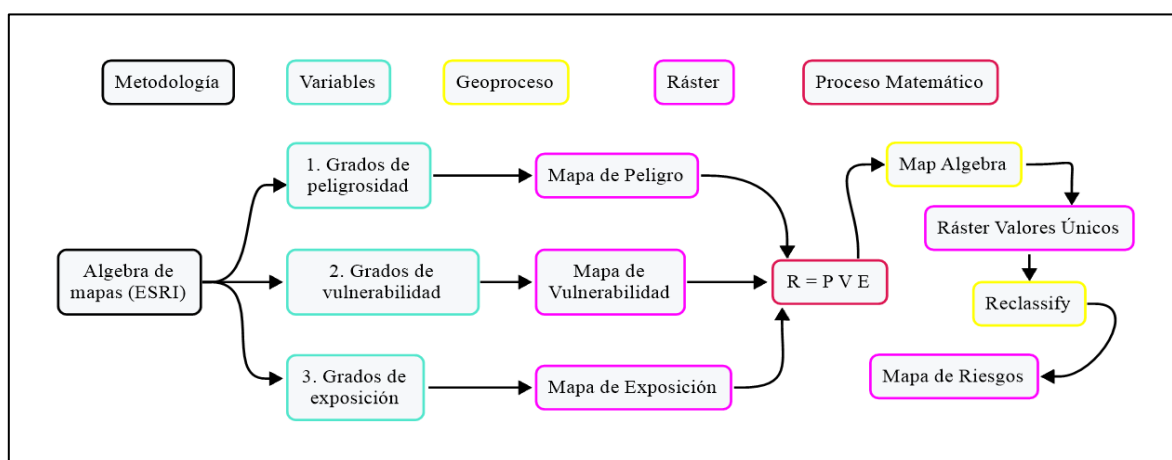
5.6.2. Identificación de variables

Las variables han sido calculadas previamente, por lo que, se recurrirá al empleo de los tres mapas generados con anterioridad, estos son: *Mapa de peligro por la inundación del 2021*, *Mapa de la vulnerabilidad global* y *Mapa de la exposición al Río Tula*, ya que se implementarán en la herramienta algebra de mapas.

5.6.3. Modelo lógico del riesgo

A continuación, se muestra en la figura 24 el proceso y recursos para la obtención del mapa de riesgos.

Figura 24. Se presenta el diagrama metodológico para el cálculo del mapa de riesgos



Nota: Elaboración propia.

5.6.4. Metodología y procesos

5.6.4.1. Fórmula para el cálculo del riesgo

En conformidad con el CENAPRED (2019a) determina al riesgo como “daños o pérdidas probables sobre un sistema expuesto, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un fenómeno. (%) (costo, heridos, muertos..)”(p.11). Al mismo tiempo este lo determina con la siguiente formula:

$$R = (P)(V)(E)$$

Las variables explican diferentes elementos del sistema que se relacionan ante un desastre:



- ❖ *P*: Peligro: Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural. Su potencial se mide de [0 a 1].
- ❖ *E*: Cantidad de personas, bienes, valores, infraestructura y sistemas cercanos al peligro. [0 a 1].
- ❖ *V*: Propensión de los sistemas expuestos a ser afectados [0 a 1].

(CENAPRED, 2019a)

Así mismo gran cantidad de autores y consultorías han adoptado esta fórmula simplificada para la determinación del riesgo, tal es el caso de Geolat (2025), y explica que:

El concepto de riesgo, entendido desde la perspectiva de los riesgos naturales, hace referencia a la probabilidad de que un territorio dado se vea afectado por episodios naturales de rango extraordinario, en un tiempo determinado. Esta situación provoca alteraciones en la población que habita dicho territorio dando lugar a diferentes tipos de repercusiones: humanas, ambientales, económicas...

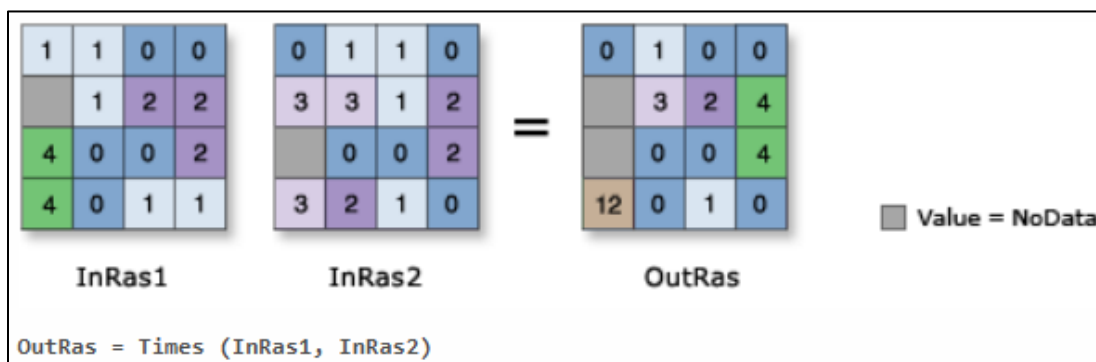
5.6.4.1. Estructuración de datos ráster

Así mismo debido a que tenemos el mapa de peligro, mapa de vulnerabilidad y el mapa de exposición, contamos con variables que deben ser integradas a partir del método de álgebra de mapas, esta herramienta nos permite trabajar solo con archivos ráster, por lo tanto es necesario convertir nuestras capas shapefile de peligro y vulnerabilidad en tipo ráster a través de la Caja de herramientas de ArcMap (*ArcToolBox*) > módulo de *Spatial Analyst* > *Raster* > *Conversion tools*, con el fin de evitar errores por el tipo de datos al ingresar nuestras capas en la sustitución de la fórmula en el álgebra de mapas.

5.6.4.1. Álgebra de mapas

En conformidad con ESRI (2025a) la herramienta “álgebra de mapas es simple y poderosa, y a través de ella se pueden ejecutar todas las herramientas, los operadores y las funciones para realizar análisis geográficos, disponible en el módulo de *Spatial Analyst*. Así mismo se empleará la herramienta matemática de la multiplicación (figura 25) dado que nuestra fórmula del riesgo está compuesta solo por dicha operación, por lo que el resultado de nuestro archivo ráster de salida serán los valores de tres rústeres multiplicados celda por celda.

Figura 25. Resultado de la multiplicación de dos ráster



Nota: Cada celda resultante tiene su correspondiente valor debido a los valores previos en la misma posición de cada ráster. De ESRI, (2025a).

Ya que nuestras capas de peligro, vulnerabilidad y exposición fueron previamente reclasificadas (tabla 7) en 5 categorías de 1 a 5, para indicar el grado de peligro, vulnerabilidad y exposición, se obtendrían valores máximos de 25 al emplear el operador aritmético de ESRI (2025a) de la multiplicación para sustituir la formula del Riesgo, por lo que posteriormente fue cuestión de reclasificarlos por *natural breaks (jenks)* en 5 clases, por lo que al tener valores de 1 a 5, se determinaría la categoría final del riesgo ante inundaciones en toda la zona de inundación y así obtener nuestros cinco grados de riesgo.

Tabla 7. Grados de Riesgo una vez reclasificada la capa resultante de la multiplicación.

Nivel	Grado de Riesgo
1	Muy Bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy Alto

Nota: Elaboración propia.

Al obtener la multiplicación de cada celda que se multiplico por sí misma a través de cada píxel de la capa de peligro, vulnerabilidad global y exposición obtendríamos el comportamiento espacial integrado de las variables y conocer cómo se desarrolló el riesgo



ante la inundación del 2021. Para finalmente analizar nuestra capa de salida en el capítulo de *resultados*.

5.6.1.6. Unión espacial (Spatial join)

Esta herramienta de acuerdo con ESRI (2025c) “une los atributos de una entidad con otra basada en la relación espacial. Las entidades de destino y los atributos unidos de las entidades de unión se escriben en la clase de entidad de salida”. Así también entre sus usos de acuerdo con ESRI (2025c) son:

- ❖ La unión espacial hace coincidir las filas de los valores de **Entidades de unión** con los valores de **Entidades de destino** según sus *ubicaciones espaciales relativas*.
- ❖ De forma predeterminada, todos los atributos de las entidades de unión se incorporan a los atributos de las entidades de destino y se copian en la clase de entidad de salida.

El objetivo de la implementación de esta herramienta es obtener la categoría del grado de riesgo a través del mapa de riesgo por inundaciones, con el fin de que se cree un campo nuevo en la tabla de atributos de las manzanas, para clasificarlas de acuerdo con el grado de riesgo que más espacio abarca en dicha manzana, para obtener una cuantificación de la población y viviendas afectadas por grado de riesgo, este resultado se mostrara en *resultados*.



Capítulo 6. Análisis e interpretación de resultados

6.1. Resultados del análisis espacial del peligro

Aplicando el enfoque en esta investigación forense de desastres, representamos la construcción del escenario de desastre (CED), de Oliver et al. (2016), en los siguientes mapas, por lo que su visualización espacial del peligro, vulnerabilidad, exposición y el riesgo por inundaciones entre otros mapas de interés social y gubernamental para los tomadores de decisiones en Tula de Allende, serán útiles para el aumento en la resiliencia de esta comunidad afectada.

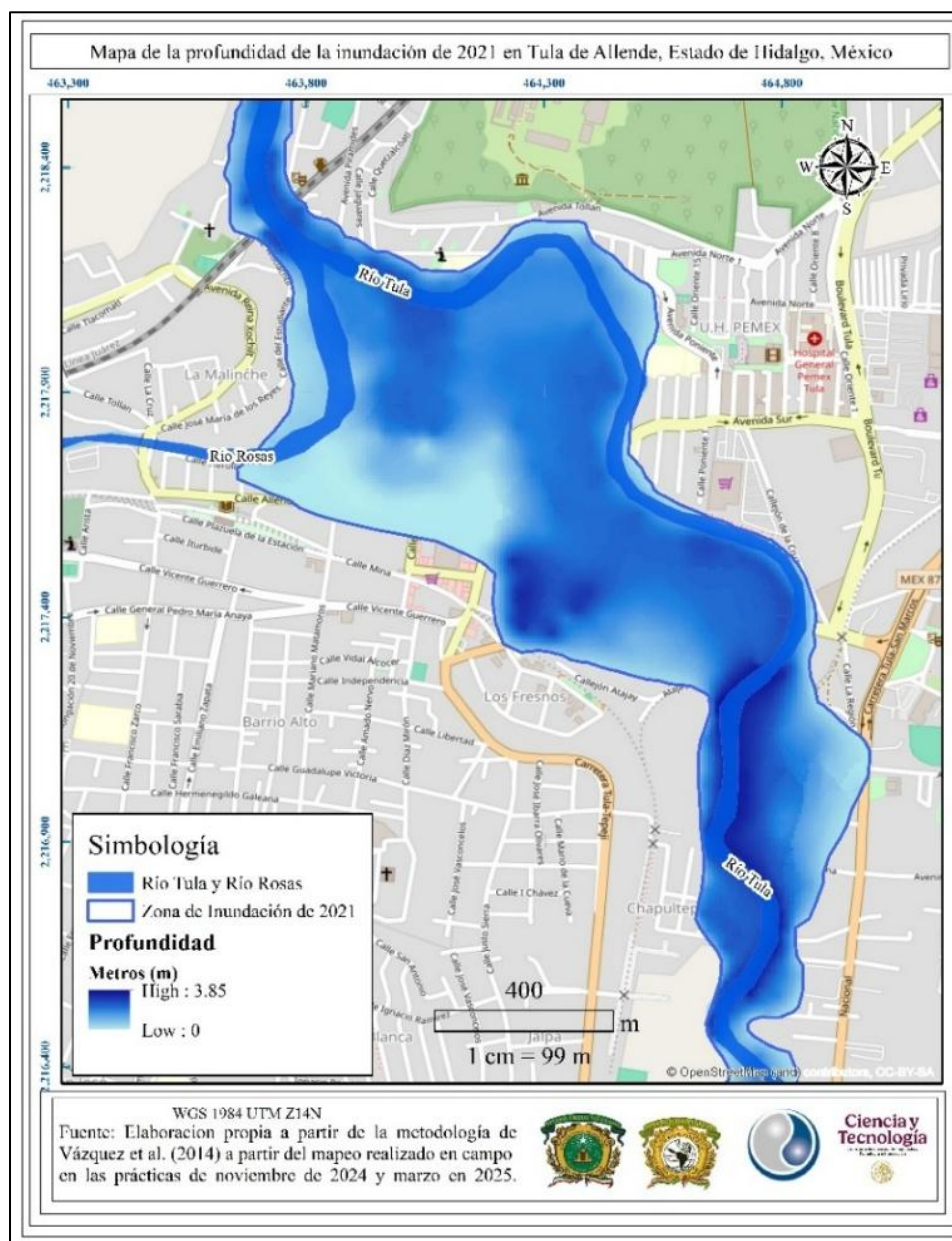
6.1.1. Resultados del análisis espacial de la profundidad de la inundación

Nuestro mapa de la inundación del 2021 (figura 26) corresponde al desbordamiento del Río Tula del 6 y 7 de septiembre de 2021. Como se menciona en el trabajo de Castañeda et al (2022), se calcula que al menos fueron $470 \text{ m}^3/\text{s}$ los causantes del desbordamiento en el río, por lo que, esto significa que se excedido la capacidad 88% más de lo máximo permitido, considerando que el río Tula tiene la capacidad de conducir $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Este caudal provocó que la zona de inundación tuviera una extensión de 0.97 km^2 , como se determinó, solo enfocándonos en la ciudad del municipio homónimo, sin considerar otras zonas de Tula de allende. Y otros informes de CONAGUA informan que el caudal fue de $530 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que para la representación del peligro, será entre este rango de caudal.

6.1.1.1. Mapa de la profundidad de inundación

El siguiente mapa (figura 26) muestra el resultado de la interpolación de las profundidades recolectadas en campo representados en *stretch values*.

Figura 26. Mapa de la profundidad de la inundación de 2021 en Tula de Allende

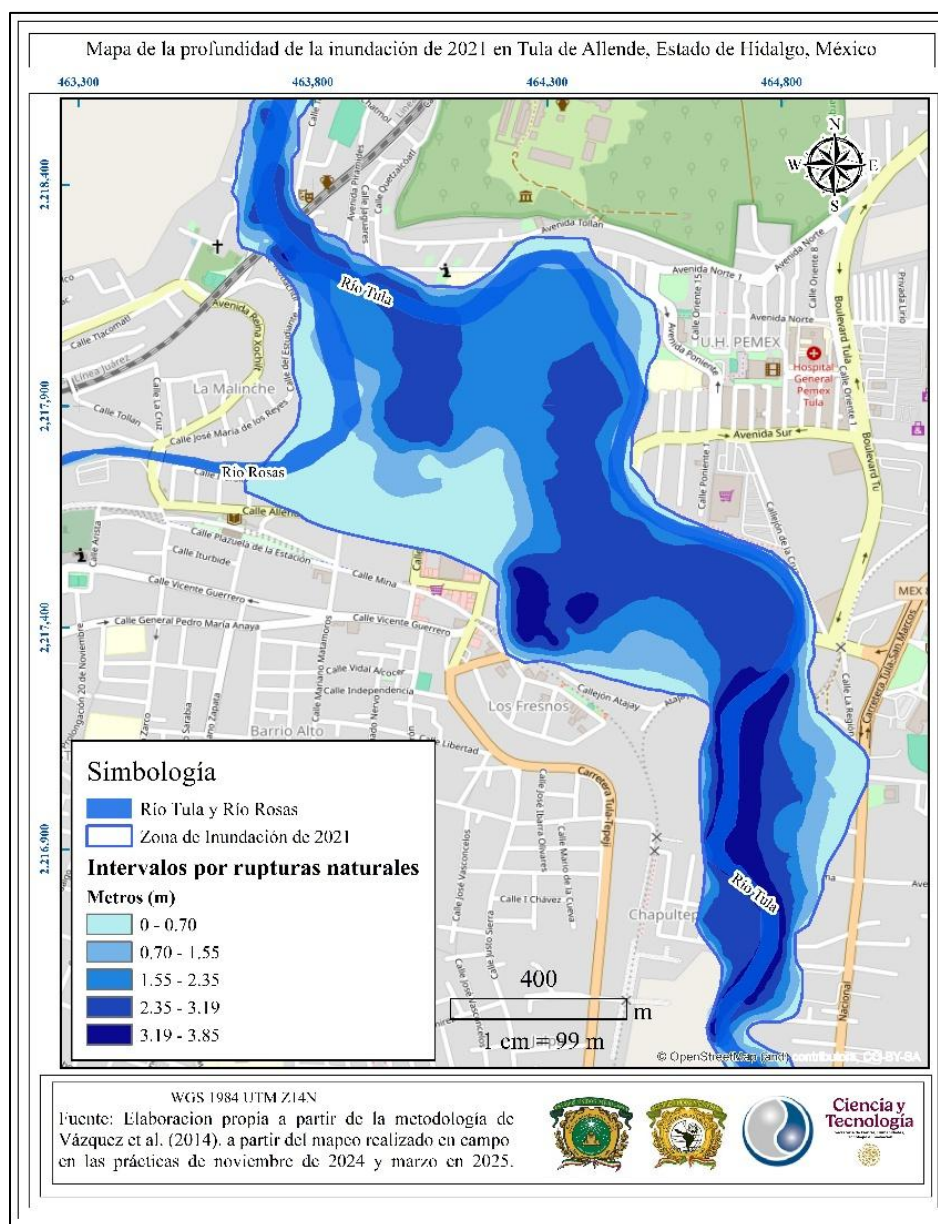


Nota: Elaborado por el autor

6.1.1.2. Mapa de la profundidad de inundación clasificada por Natural Breaks

El siguiente mapa (figura 27) muestra es el resultado de otra vista a través de la clasificación de *Natural breaks (jenks)* para obtener y representar nuestros valores en intervalos que serán los cinco grados de peligro como se explicó en la metodología del análisis del peligro. La altura del agua menos profunda representa un grado de peligrosidad menor y esta va aumentando en función del aumento de la profundidad.

Figura 27. Mapa de la profundidad de la inundación de 2021



Nota: Elaboración propia.



Para cuantificar el porcentaje de área que cubre cada intervalo de peligro se obtuvieron las áreas con dicho grado de peligrosidad, teniendo como un total del área de inundación de 0.97km². Se muestran las áreas en la tabla 8:

Tabla 8. Grado de peligrosidad y el porcentaje de área en la zona de inundación

Peligro	Celdas	Área Km2	% Area
MB	6476	0.20	20.48
B	5232	0.16	16.55
M	7990	0.25	25.27
A	9181	0.28	29.04
MA	2737	0.08	8.66
Suma	31616	0.97	100

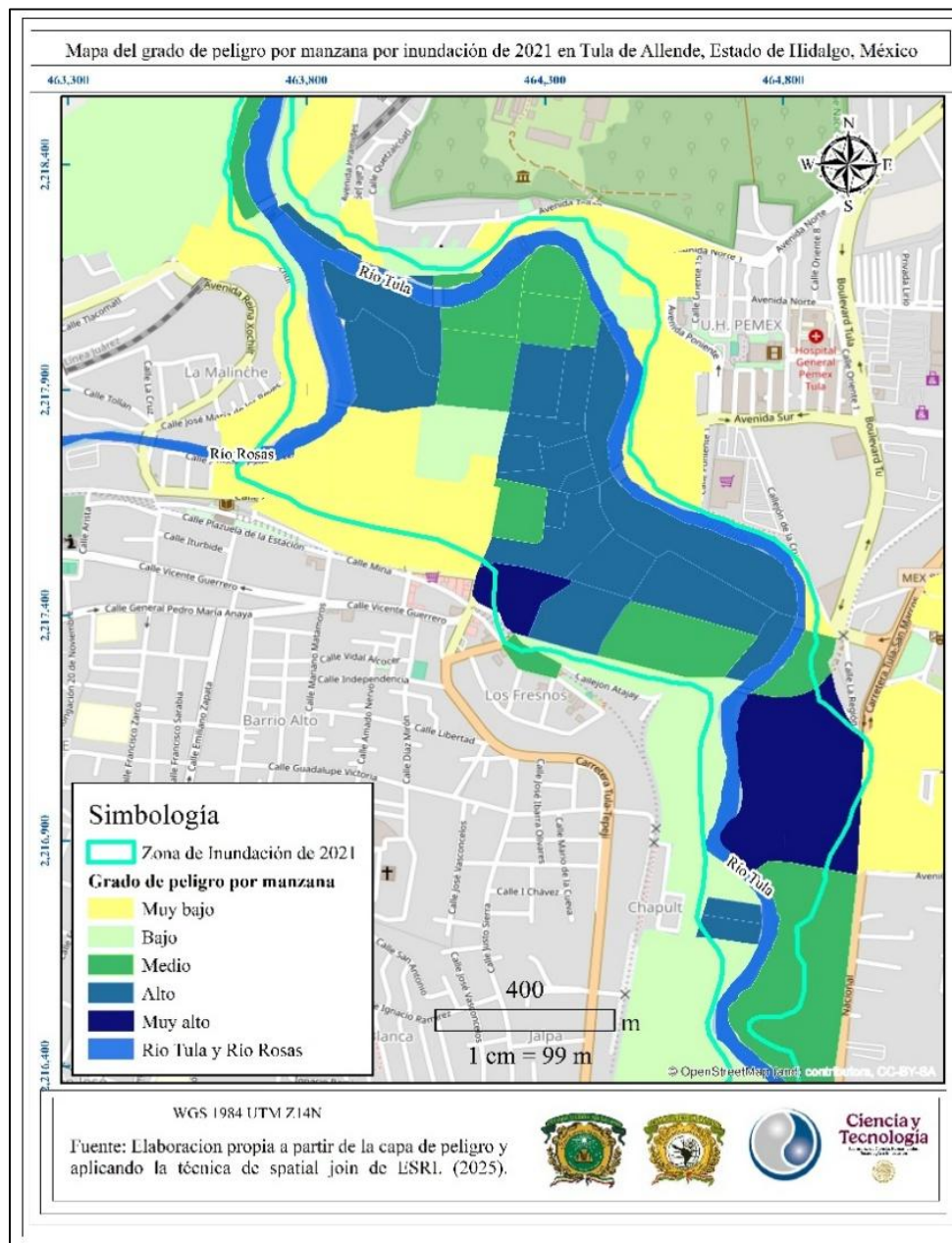
Nota: Elaborado por el autor.

Resaltando la tabla anterior tiene gran relevancia que el conjunto el grado medio, alto y muy alto de peligrosidad uniéndolos como un solo grado, debido a que estos representan los niveles de agua más altos y peligrosos representan el 62.97% de la zona de inundación.

6.1.1.3. Mapa del grado de peligro por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas

Con la implementación de la herramienta de *Spatial Join*, obtuvimos un mapa con las manzanas que adquirieron el grado de peligro que más área contiene dentro del polígono de la manzana, así, podemos cuantificar, clasificar y resumir la población y vivienda afectada por su grado de peligrosidad, este mapa se muestra en la figura 28:

Figura 28. Mapa del grado de peligro por manzana ante la inundación



Nota: Elaboración propia

El total de manzanas afectadas en esta **zona de estudio** por la inundación, son de 80 del centro y periferia de Tula de Allende, la población afectada por la mancha de inundación es de 5928 personas, y las viviendas totales afectadas son 2355. Se clasifican por grados en la tabla 9:



Tabla 9. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de peligro

Peligro	Manzanas	Manz %	PobTot	PobTot %	Pob 0 a 14	0a14 %	Pob 15 a 29	15a29 %	Pob 30 a 59	30 a 59 %	Pob 60 y m	60ym %	VivTot	VivTot %	Suma %
Muy Bajo	30	37.5	1991	33.59	462	23.20	470	23.61	764	38.37	295	14.82	728	30.91	100
Bajo	15	18.75	1366	23.04	307	22.47	344	25.18	550	40.26	165	12.08	488	20.72	100
Medio	13	16.25	1159	19.55	257	22.17	243	20.97	460	39.69	199	17.17	461	19.58	100
Alto	20	25	1110	18.72	208	18.74	240	21.62	460	41.44	202	18.20	558	23.69	100
Muy Alto	2	2.5	302	5.09	71	23.51	66	21.85	118	39.07	47	15.56	120	5.10	100
Suma	80	100	5928	100.00	1305		1363		2352		908		2355	100.00	500

Nota: Elaboración propia.

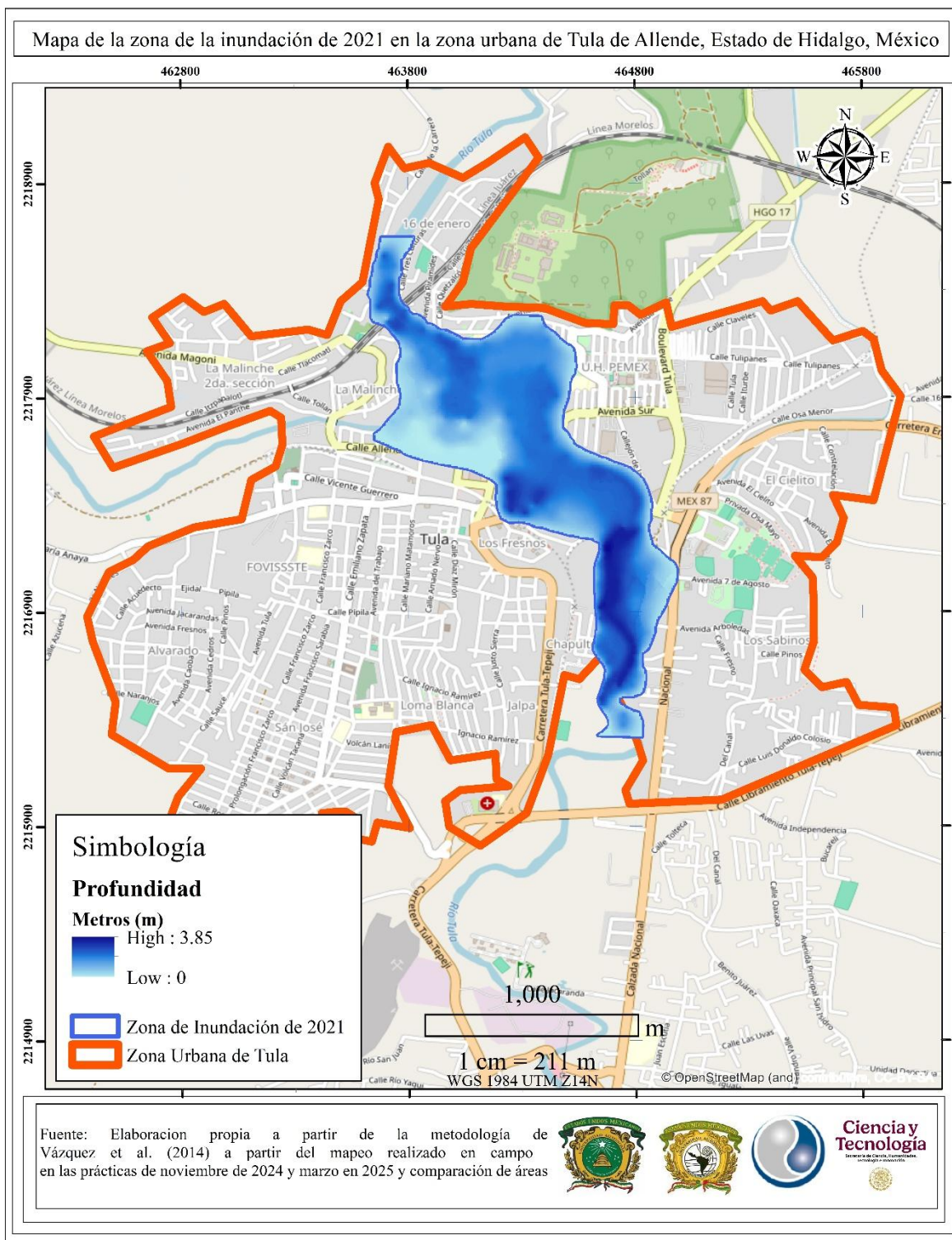
6.1.1.3.1. Población y vivienda afectada por el peligro

Debido a que toma mayor relevancia y atención aquellas manzanas con alto y muy alto grado de peligro, se analizarán conjuntamente los resultados de la anterior tabla. Por lo que se obtiene que el 27.5% de las manzanas se encuentra en un grado de peligro alto y muy alto, esto representa el 23.81% de la población de estas categorías, respecto al grupo de población que más se ve afectado es el grupo de 30 a 59 años en las categorías de peligro alto y muy alto. Respecto a las viviendas afectadas, son un total de 678 representando un 28.79% de las viviendas de Tula de Allende dentro de la zona de inundación.

6.1.1.3.2. Área urbana de Tula comparada con la zona de inundación

Se digitalizó la zona urbana de la Ciudad de Tula de Allende con el fin comparar la extensión de la inundación en la zona habitada y su importancia económica sujeta a inundación, considerando que en la zona centro de Tula la mancha de inundación tiene un área de 0.97km², y la zona urbana de Tula tiene un área de 7.21km², el 13.45% del área total fue afectada directamente por las inundaciones. El mapa de las dos áreas se muestra en la figura 29:

Figura 29. Mapa de la zona de inundación y de la zona urbana de Tula de Allende



Nota: Elaboración propia.

6.2. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad

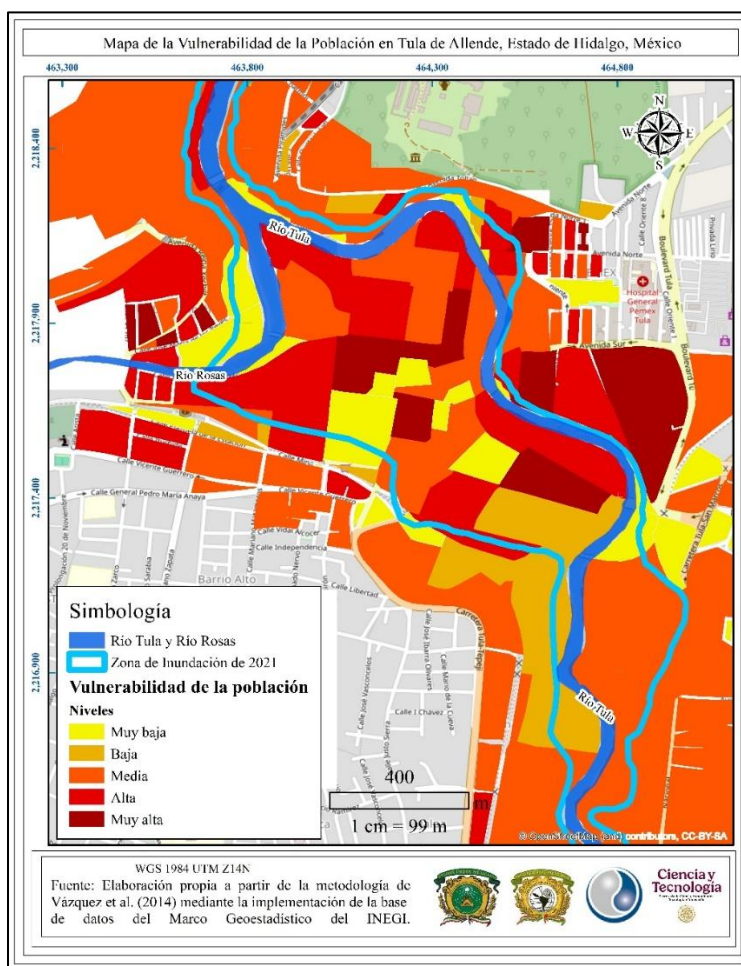
6.2.1. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad de la población

Como parte del análisis de la vulnerabilidad de la población se encuentra que los fraccionamientos más afectados con algunos de la colonia centro y los ubicados en la calle 18 pte 13, al noreste de la mancha de inundación.

6.2.1.1. Mapa de la vulnerabilidad de la población

En total fueron 80 manzanas afectadas por la inundación realizando el conteo de nuestra base de datos recortada con el polígono de la inundación para cuantificar aquellas afectadas directamente. El mapa se muestra en la figura 30:

Figura 30. Mapa de la vulnerabilidad de la población



Nota: Elaboración propia.



Así mismo se ha cuantificado (tabla 10) el número de manzanas y su grado de vulnerabilidad de la población en Tula de allende, al exportar la tabla de atributos del shapefile de manzanas y analizando los resultados en Excel.

Además, la población afectada por la mancha de inundación determinada en este estudio fue de 5982 personas, contabilizando solo en el centro de Tula, sin embargo, esta cantidad fue mayor debido a las demás inundaciones en otras zonas del municipio de Tula no analizadas en este estudio y del valle del Mezquital, cuyo alcance y extensión de la zona de estudio no fue considerada en el presente.

Tabla 10. Grado de vulnerabilidad de la población y el porcentaje de área

Vul Pob	MZA	% Mza	Área m2	Km2	% Área
MB	17	21.25	447302	0.447302	20.67
B	5	6.25	120716	0.120716	5.58
MB	20	25	856122.2	0.8561222	39.56
A	23	28.75	439844.6	0.4398446	20.33
MA	15	18.75	299882	0.299882	13.86
Total	80	100	2163866.8	2.1638668	100.00

Nota: Elaborado por el autor.

Cabe destacar que la sumatoria del grado alto y muy alto de vulnerabilidad de la población es de 38 manzanas, representando el 47.5% de manzanas, es decir que casi la mitad de las manzanas afectadas por el grado de vulnerabilidad y en cuanto al porcentaje de área de las manzanas afectadas respecto al total de las manzanas afectadas es de 34.19% del territorio afectado, e incluyendo el grado medio de vulnerabilidad de la población que es importante por estar al límite con el penúltimo grado máximo de vulnerabilidad las manzanas afectadas representa el 72.5% y en cuanto al porcentaje de territorio de manzanas afectadas respecto al total es de 73.75%,

Además, se puede notar que las manzanas como la del parque de Tula tiene muy baja vulnerabilidad debido a la inexistencia de datos referentes a la población en dicho lugar y otros que están destinados para otros usos que no son habitacionales, y que esta inexistencia de datos se repetirá en los siguientes resultados de los siguientes cálculos de las vulnerabilidades.

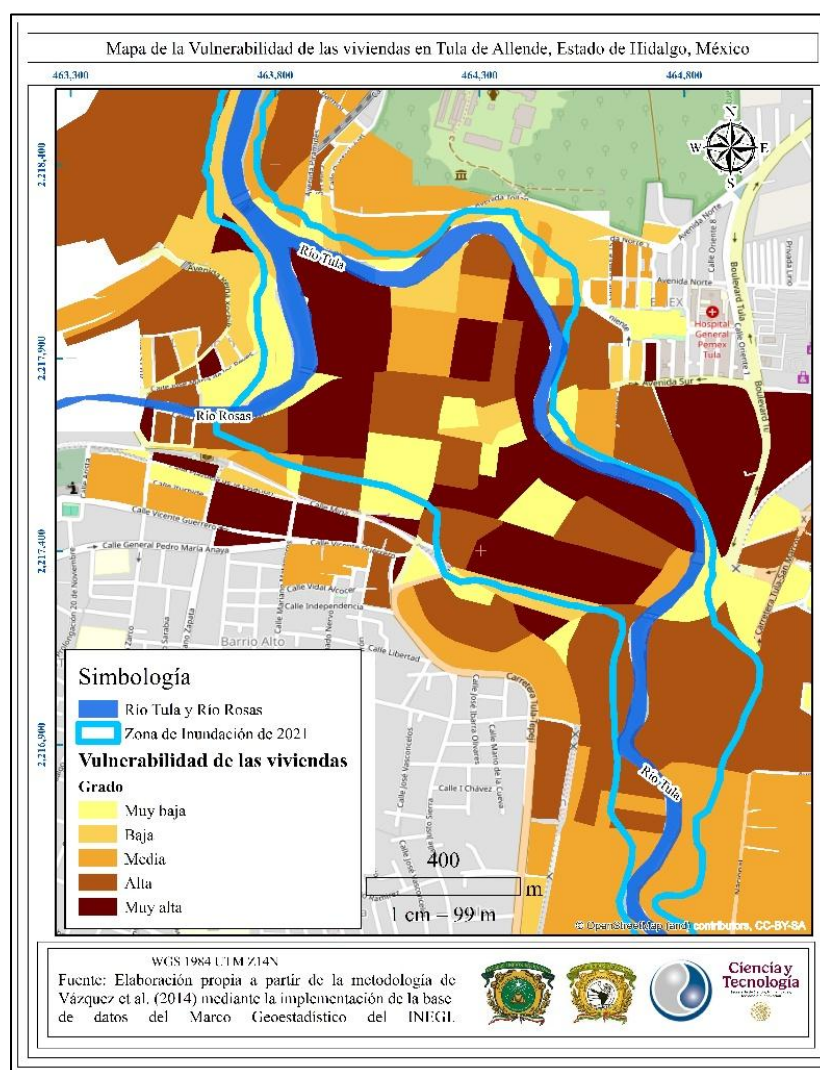
6.2.2. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad de la vivienda

Como se puede apreciar las manzanas más vulnerables (figura 31) se identifican hacia los límites de la zona de inundación, por lo que se puede incluso que aquellas manzanas céntricas corresponderían a otros usos como el comercio y servicios. Las zonas más vulnerables se identifican en la zona sur, este, oeste y noroeste.

6.2.2.1. Mapa de la vulnerabilidad de la vivienda

El mapa de vulnerabilidad de la vivienda demuestra que las zonas más afectadas se encuentran en la periferia de Tula de Allende.

Figura 31. Mapa de la vulnerabilidad de las viviendas en Tula de Allende



Nota: Elaborado por el autor



Así mismo se obtuvieron las áreas de las manzanas (tabla 11) con su correspondiente grado de vulnerabilidad de las viviendas, por lo que podemos observar en los siguientes resultados que el grado alto y muy alto de vulnerabilidad representan el 40% de las manzanas.

Tabla 11. Grado de vulnerabilidad de las viviendas y el porcentaje de área

Vul viv	MZA	% Mza	Área m2	Área Km2	% Área
MB	21	26.25	561721	0.561721	25.96
B	10	12.5	741164	0.741164	34.25
M	17	21.25	283819.2	0.2838192	13.12
A	18	22.5	306620.6	0.3066206	14.17
MA	14	17.5	270542	0.270542	12.50
Total	80	100	2163866.8	2.1638668	100.00

Nota: Elaboración propia.

Además, se aprecia que esta misma categoría de A y MA representan el 26.67% del total de área de las manzanas, sin embargo, al incluir el área del grado medio de vulnerabilidad por la misma razón de compartir límite con el penúltimo grado de mayor vulnerabilidad representa un 39.79% del área total.

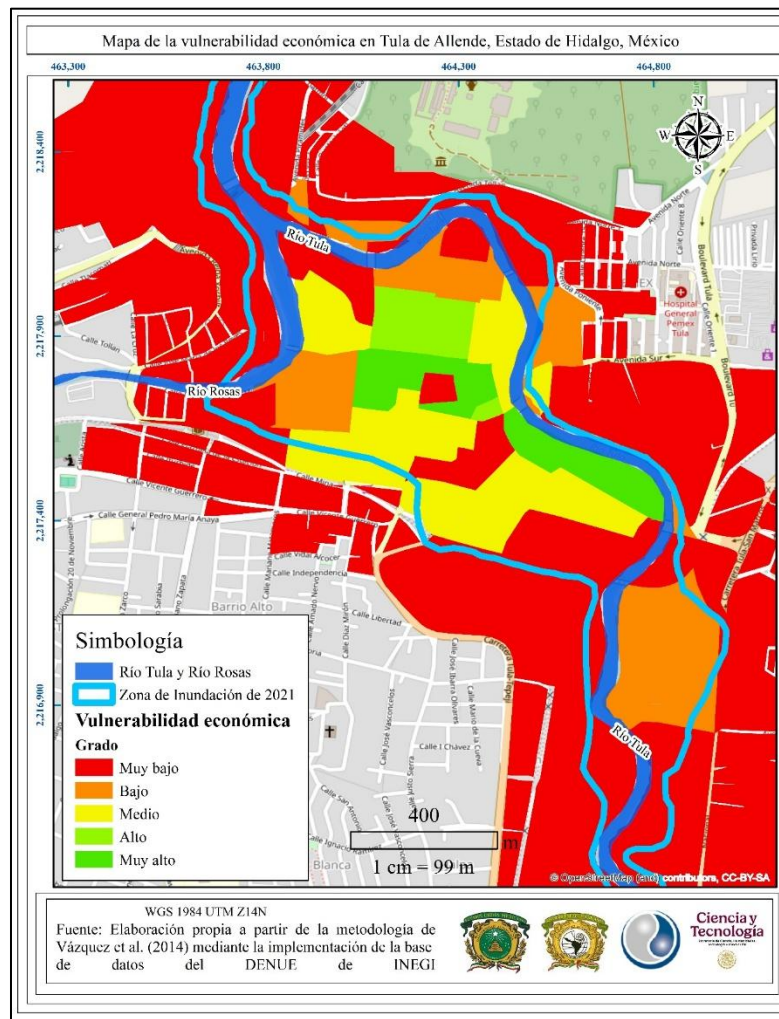
6.2.3. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad económica

Los resultados obtenidos respecto a las manzanas con mayor vulnerabilidad económica (figura 32) y que fue afectada por las inundaciones se puede apreciar a través de las manzanas centrales de Tula de Allende, además se apoya y destaca la influencia de algunos principios de la economía espacial y la geografía económica. Tal es el caso de La Teoría de Lugares Centrales o (CPT por sus siglas en inglés de *Central Place Theory*).

6.2.3.1. Mapa de la vulnerabilidad Económica

El mapa muestra gran influencia en la centralidad de la localidad al ofrecer gran cantidad de bienes y servicios, es notable su concentración y su polaridad con la periferia.

Figura 32. Las manzanas centrales muestran mayor vulnerabilidad económica



Nota: Elaborado por el autor

Quien ideó La Teoría de los Lugares Centrales de acuerdo con Palacios (2018) fue “el geógrafo alemán Walter Christaller, quien planteó una organización jerárquica de ciudades, las cuales operan como lugares centrales que ofrecen bienes y servicios en un espacio isotrópico” (p. 10).

Para cuantificar las manzanas y el espacio afectado por las inundaciones se han contabilizado las manzanas (tabla 12) por su grado de vulnerabilidad económica, así como su área correspondiente a su categoría.

Tabla 12. Grado de vulnerabilidad económica y el porcentaje de área

Vul Eco	Mza	% Mza	Área m2	Área Km2	% Área
MB	48	60	1586704.2	1.5867042	73.33
B	12	15	225082.6	0.2250826	10.40
M	13	16.25	222306	0.222306	10.27
A	3	3.75	45196	0.045196	2.09
MA	4	5	84578	0.084578	3.91
Total	80	100	2163866.8	2.1638668	100.00

Nota: Elaboración propia.

Teniendo como un conjunto el grado de vulnerabilidad media a muy alta, debido a que estás son las más afectadas por la cantidad de unidades económicas afectadas y resaltando su paro de funciones como la falta de suministros útiles para la población durante y después de una emergencia por inundaciones, como los servicios y productos médicos en infraestructura destinada para la salud.

Se calcula que el 25% de las manzanas se caracterizan como las más vulnerables (media a muy alta vulnerabilidad), respecto a su área se ve disminuida debido a que se tomó como total de área de las manzanas hasta aquellas que se interceptan con los límites de la inundación, debido que, aunque una porción mínima de estas fue afectada, se ha tomado su totalidad de área, que es necesario para obtener la totalidad de los datos de las manzanas para la realización del cálculo de la vulnerabilidad económica, debido a que incluso estos no se tomaron en proporción a el área afectada, si no que fueron tratados todos en su totalidad para evitar sesgos.

El área que afectan a este grupo de manzanas es del 16.27% de las manzanas, aunque como se visualizó, si solo se contabilizará el área de 0.97km² de la zona de inundación es notable que este grupo dominaría el área de más afectaciones.

Es importante destacar que en la manzana central del jardín de Tula está destinada para área verde sin presencia de usos comerciales ni mucho menos habitacionales, es por eso que, aunque las manzanas más cercanas y vecinas poseen un grado alto de vulnerabilidad económica, esta refleja la ausencia de unidades económicas, y que la falta de datos en esta manzana la caracteriza con un grado bajo de vulnerabilidad, que incluso va a persistir hasta el cálculo del riesgo, a pesar de que su grado de exposición y de peligrosidad son altos.

Es importante notar que la manzana con mayor vulnerabilidad económica es la que está destinada para el mercado Municipal de Tula de Allende (figura 33) esta cuenta con 55 unidades económicas.

Figura 33. Mercado Municipal de Tula de Allende Felipe Carbajal Arcia



Nota: De Mercado de Tula tiene muchas necesidades: comerciantes, El sol de México, 2023.

Finalmente, es notable que las unidades económicas están jerarquizadas centralmente debido a la demanda de la población por bienes y servicios que suelen concentrarse en las ciudades y por supuesto en sus centros, por lo que estas manzanas con los grados altos de vulnerabilidad también determinan su importancia en la centralidad de funciones suspendidas por la inundación.

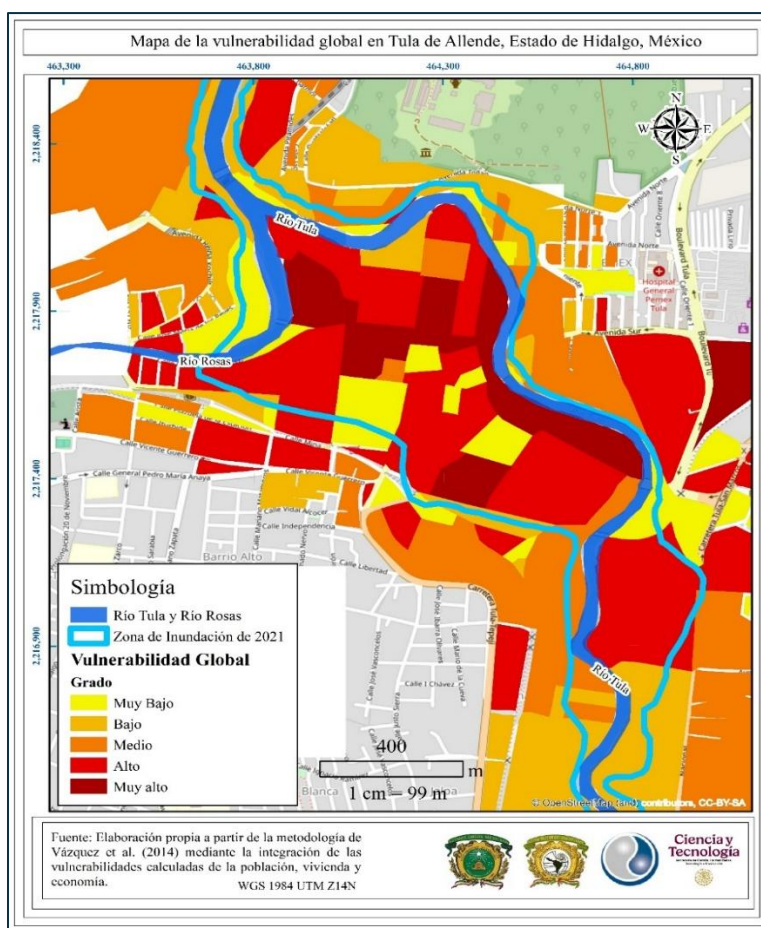
6.2.4. Resultados del análisis espacial de la vulnerabilidad global

Una vez realizada la integración de la vulnerabilidad de la población, vulnerabilidad de la vivienda y la vulnerabilidad económica, tenemos como resultado el mapa de la vulnerabilidad global de acuerdo con la metodología de Vázquez et al. (2014), se zonificó aquellas manzanas con mayor vulnerabilidad global (figura 34) éstas representan un porcentaje considerable en su totalidad de estas y de su área.

6.2.4.1. Mapa de la vulnerabilidad global

El mapa demuestra una mayor vulnerabilidad en el centro de Tula de Allende, por lo que la vulnerabilidad de la población, vivienda y económica tienen efectos negativos donde la extensión de la inundación tuvo lugar, las zonas habitacionales del norte no representaron grados altos de vulnerabilidad.

Figura 34. Mapa de vulnerabilidad global



Nota: Elaborado por el autor.



Así también se extrajeron los valores de COUNT para contabilizar la totalidad de celdas y obtener el área de cada grado de vulnerabilidad global (tabla 13), por lo que podemos obtener y comparar respecto al total para plantear el alcance de las manzanas con mayor vulnerabilidad global y que porcentaje representan.

Tabla 13. Grado de vulnerabilidad global y el porcentaje de área

VG	MZA	% Mza	Área m2	Área Km2	% Área
MB	19	23.75	517370	0.51737	23.91
B	13	16.25	810905	0.810905	37.47
M	20	25	270096.8	0.2700968	12.48
A	21	26.25	435721	0.435721	20.14
MA	7	8.75	129774	0.129774	6.00
Total	80	100	2163866.8	2.1638668	100

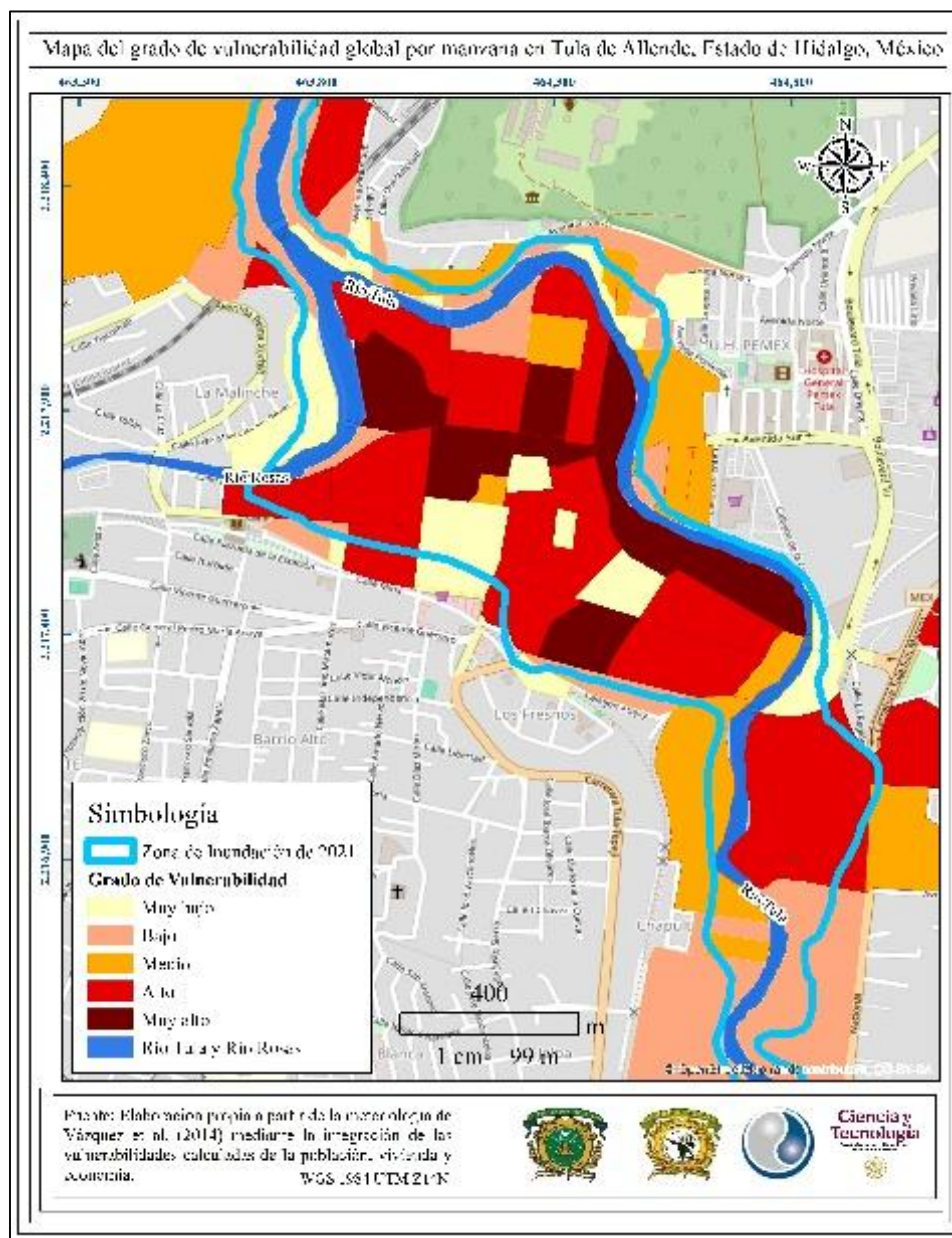
Nota: Elaborado por el autor.

De acuerdo con la tabla anterior, se obtiene que el grado alto y muy alto de vulnerabilidad global representan el 35% de las manzanas afectadas en Tula de Allende, así mismo, este porcentaje en área total de manzanas representa el 26.14%, es decir, más de un cuarto del área de las tienen cualidades y características de alta vulnerabilidad, y que también se concentran en el centro de Tula de Allende principalmente.

6.2.4.1. Mapa del grado de vulnerabilidad global por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas

Con la implementación de la herramienta de *Spatial Join*, obtuvimos un mapa con las manzanas que adquirieron el grado de vulnerabilidad global (figura 35) que más área contiene dentro del polígono de la manzana, así, podemos cuantificar y resumir la población y vivienda afectada por su grado de vulnerabilidad global.

Figura 35. Mapa del grado de vulnerabilidad por manzana ante la inundación



Nota: Elaboración propia.

El total de manzanas afectadas en esta **zona de estudio** por la inundación, son de 80 del centro y periferia de Tula de Allende, la población afectada por la mancha de inundación es de 5928 personas, y las viviendas totales afectadas son 2355. Los resultados de este proceso están en la tabla 14:



Tabla 14. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de vulnerabilidad global

Vulnerabilidad G	Manzanas	Manz %	PobTot	PobTot %	Pob 0 a 14	0a14 %	Pob 15 a 29	15a29 %	Pob 30 a 59	30 a 59 %	Pob 60 y m	60ym %	VivTot	VivTot %	Suma %
Muy Bajo	16	20	226	3.81	62	27.43	46	20.35	89	39.38	29	12.83	76	3.23	100
Bajo	23	28.75	1763	29.74	411	23.31	410	23.26	707	40.10	235	13.33	594	25.22	100
Medio	15	18.75	1527	25.76	332	21.74	388	25.41	603	39.49	204	13.36	592	25.14	100
Alto	19	23.75	1727	29.13	361	20.90	366	21.19	675	39.09	325	18.82	774	32.87	100
Muy Alto	7	8.75	685	11.56	139	20.29	153	22.34	278	40.58	115	16.79	319	13.55	100
Suma	80	100	5928	100.00	1305		1363		2352		908		2355	100.00	0

Nota: Elaboración propia.

6.2.4.1.1. Población y vivienda vulnerable

Debido a que toma mayor relevancia y atención aquellas manzanas con alto y muy alto grado de vulnerabilidad, se analizarán conjuntamente los resultados de la anterior tabla. Por lo que se obtiene que el 32.5% de las manzanas se encuentra en un grado de vulnerabilidad alta y muy alta, esto representa el 40.69% de la población de estas categorías, respecto al grupo de población que más se ve afectado es el grupo de 30 a 59 años en las categorías de peligro alto y muy alto. Finalmente, a las viviendas afectadas, son un total de 1093 representando un 46.42% de las viviendas de Tula de Allende dentro de la zona de inundación.

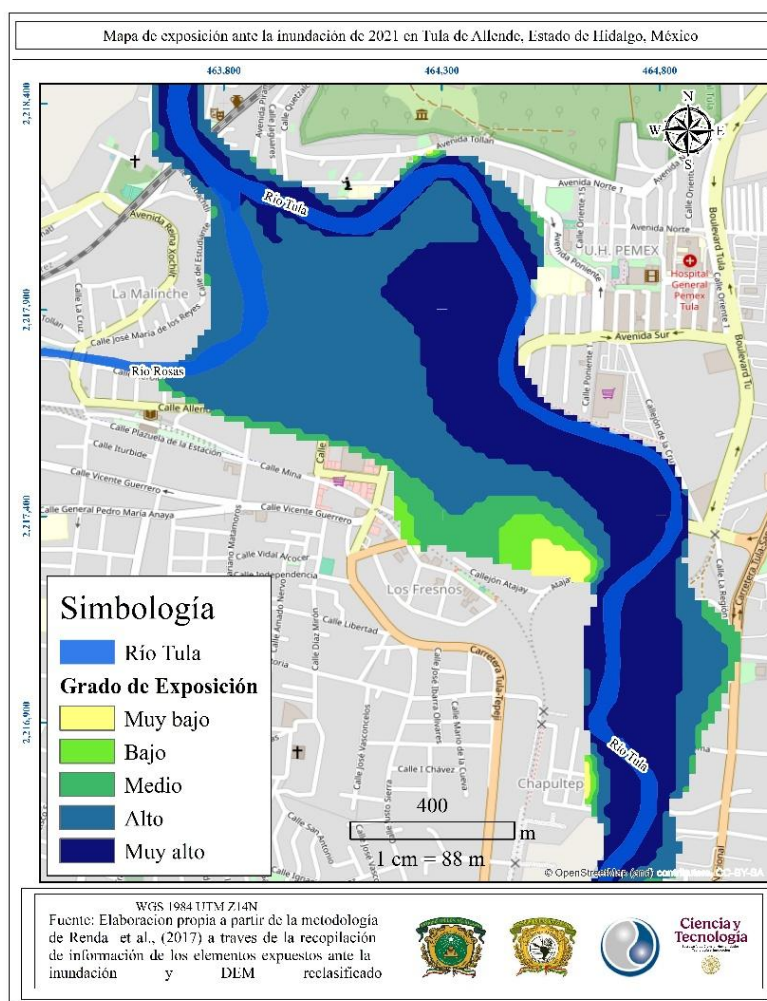
6.3. Resultados del análisis espacial de la exposición

El análisis de la exposición se determinó de acuerdo con la capa de la zona de inundación y con la clasificación de las cotas topográficas del terreno se obtuvieron nuestros mapas de y el mapa de exposición (figura 36) y el de infraestructura expuesta (figura 37), por lo que se demuestra que la mayoría de los elementos expuestos están dentro del grado alto y muy alto de exposición, que corresponde a las cotas de 2009 hasta 2023 msnm.

6.3.1. Mapa de exposición ante la inundación

El mapa de exposición resultante al reclasificar las cotas en función de su proximidad al río y de acuerdo con los elementos expuestos, el siguiente mapa de la figura 36:

Figura 36. Mapa de exposición ante la inundación de 2021 en Tula de Allende

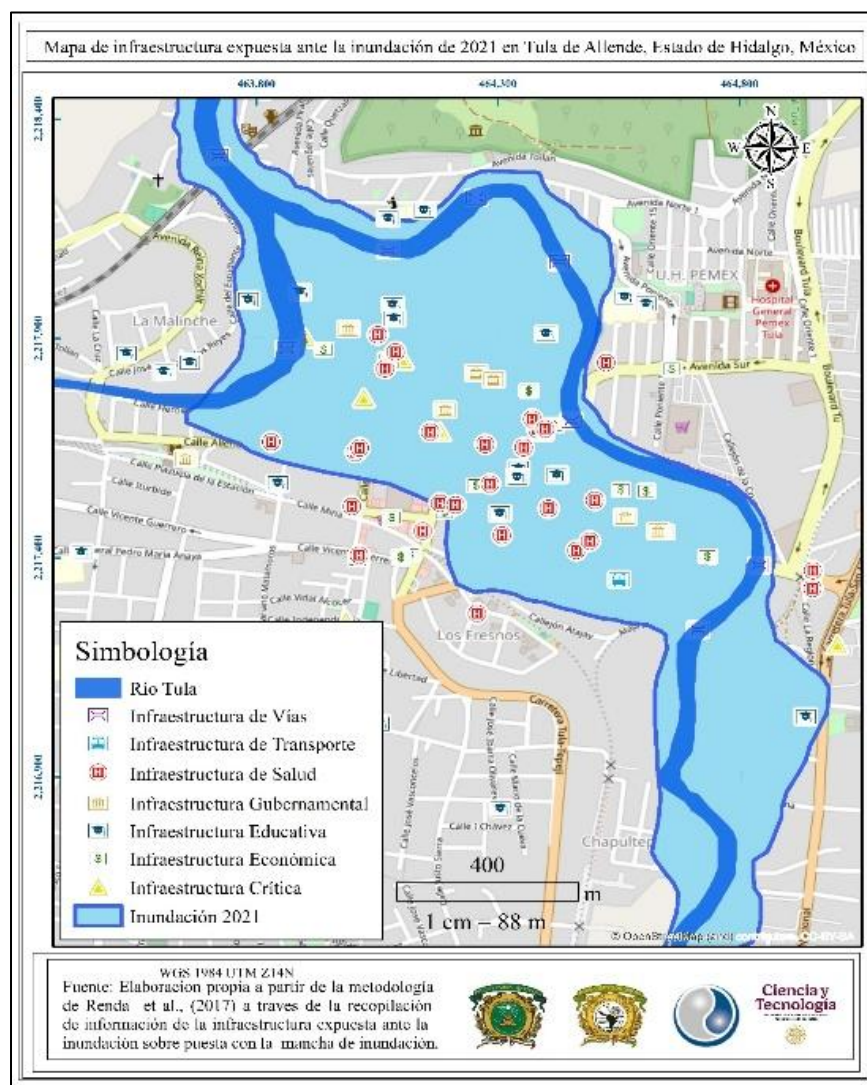


Nota: Elaboración propia

6.3.1.1. Infraestructura expuesta en Tula de Allende en la zona de inundación

De forma general, se contabilizaron y digitalizaron los elementos expuestos, tomando como referencia a aquellos afectados directamente con la zona de la inundación, estos se presentan en la figura 37:

Figura 37. Mapa de los elementos expuestos

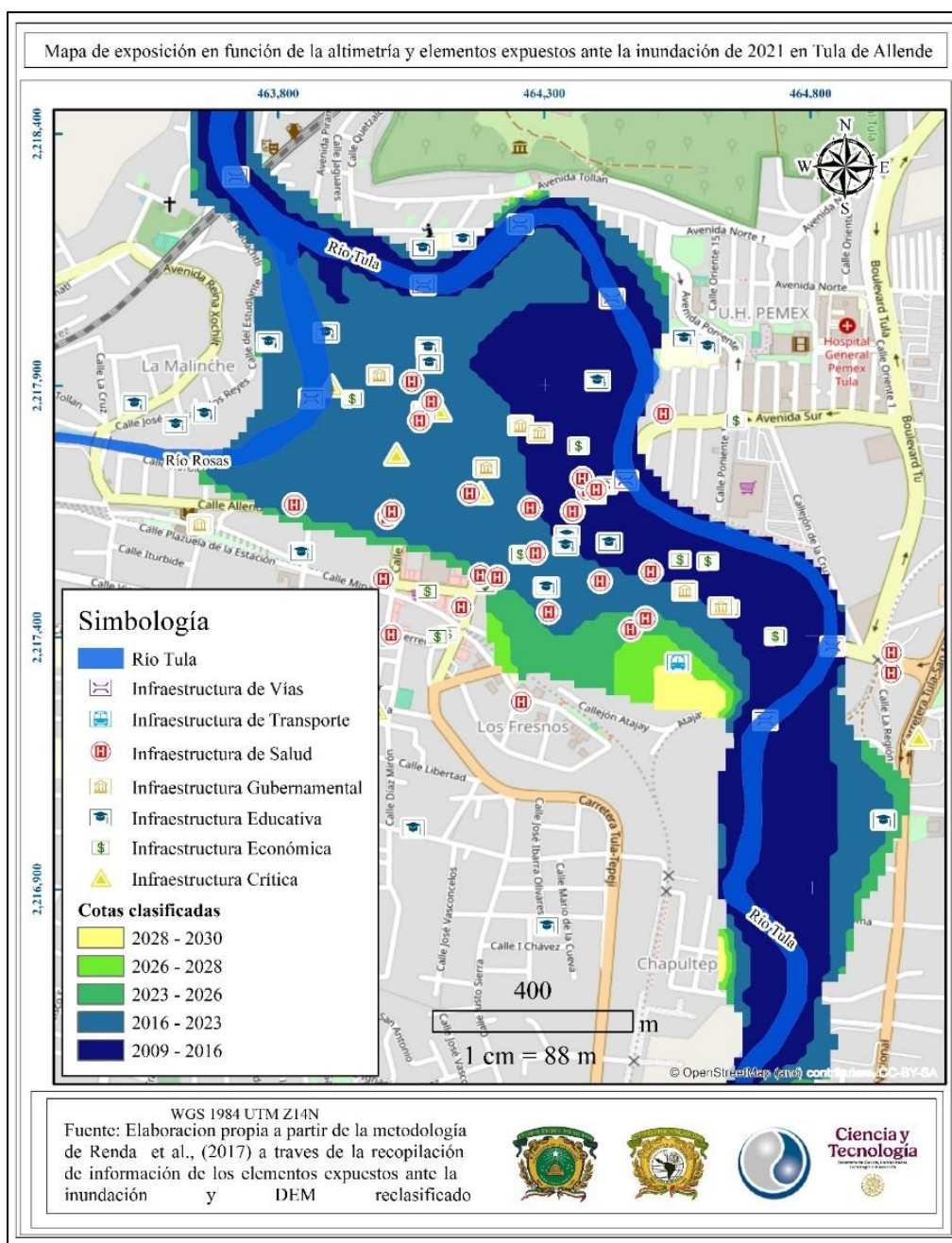


Nota: Se aprecian los elementos esenciales expuestos, de acuerdo con su clasificación por símbolo. Elaboración propia

6.3.1.1.1. Mapa de exposición y elementos expuestos

En este mapa se presentan los elementos expuestos y las cotas reclasificadas, las más bajas representan un grado mayor de exposición, y al contrario las más altas representan un grado menor de exposición. El mapa se visualiza en la figura 38:

Figura 38. Mapa de exposición en función de la altimetría y elementos expuestos



Nota: Elaborado por el autor.

Determinando y al calcular las áreas de mayor exposición en función de la altimetría y los elementos expuestos, es importante señalar que estos grados altos de exposición representan la mayoría de la zona de inundación, como se demuestra en la tabla 15.

Tabla 15. Grado de exposición y el porcentaje de área.

Exposición	Celdas	Área Km2	% Area
MB	52	0.01	1.20
B	92	0.02	2.13
M	299	0.07	6.91
A	1824	0.41	42.15
MA	2060	0.46	47.61
Suma	4327	0.97	100

Nota: Elaborado por el autor.

Considerando el porcentaje de área del grado alto y muy alto de exposición se tiene que la suma representa el 89.76% de la zona de inundación en Tula de Allende, por lo que la infraestructura del tipo que sea tiene muy pocos espacios de ubicarse en un espacio libre de la zona de inundación o por lo menos, en un espacio con bajos niveles de inundación.

Y como se ha representado con el cálculo del peligro, estas zonas de exposición tienen una altura del nivel del agua desbordada mayores a 0.50m hasta los 3.85m dependiendo la zona donde se encuentre la infraestructura expuesta, por lo que es peligroso y altamente expuesto ante una inundación a la vez.

6.3.1.1.2. Elementos expuestos por sectores

En un primer plano se decidió contar con la geolocalización de la infraestructura crítica en Tula de Allende, por lo que se creó una capa shapefile para ubicar cada uno de estos elementos afectados, la infraestructura expuesta está clasificada (tabla 16, 17, 18, 19, 20 y 21) en los siguientes sectores: movilidad, transporte, salud, gubernamental, educativo, económico y crítico, que posteriormente serán analizados y se determinara su grado de exposición en función de la proximidad con el río según las cotas topográficas afectadas por la zona de inundación previamente obtenida.



Tabla 16. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura gubernamental

ID	Nombre del elemento expuesto	Tipo
1	Instancia Municipal para el Desarrollo de la Mujer	Infraestructura Gubernamental
2	Consejo Consultivo Ciudadano de Tula	Infraestructura Gubernamental
3	Dirección de Reglamentos y Espectáculos Tula de Allende	Infraestructura Gubernamental
4	Juzgados Civiles y Familiares de Tula de Allende	Infraestructura Gubernamental
5	Registro del Estado Familiar Tula de Allende	Infraestructura Gubernamental
6	Servicios Regionales	Infraestructura Gubernamental
7	Subdelegación Tula de Allende	Infraestructura Gubernamental
8	Secretaría de Desarrollo Regional	Infraestructura Gubernamental
9	Centro de Atención Regional de Programas Sociales	Infraestructura Gubernamental
10	Presidencia Municipal de Tula de Allende	Infraestructura Gubernamental

Nota: Elaboración propia

Tabla 17. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura crítica

ID	Nombre del elementos expuestos	Tipo
11	Cuerpo de Bomberos	Infraestructura Crítica
12	Módulo de Policía	Infraestructura Crítica
13	Comisión de Agua Tula	Infraestructura Crítica
14	Policía Industrial Bancaria del Estado de Hidalgo	Infraestructura Crítica
15	Comisión de Agua Potable de Tula	Infraestructura Crítica
16	Oficina de cobro CAPYAT	Infraestructura Crítica

Nota: Elaboración propia



Tabla 18. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura de movilidad

ID	Nombre del elemento expuesto	Tipo
17	Puente del Tren	Infraestructura de Movilidad
18	Puente de Melchor Ocampo	Infraestructura de Movilidad
19	Puente Zaragoza	Infraestructura de Movilidad
20	Puente Quetzalcóatl	Infraestructura de Movilidad
21	Puente Benicia	Infraestructura de Movilidad
22	Puente 5 de mayo	Infraestructura de Movilidad
23	Puente Xochiquetzal	Infraestructura de Movilidad
24	Puente de Zona Escolar	Infraestructura de Movilidad
25	Central de autobuses Tula	Infraestructura de Transporte

Nota: Elaboración propia.

Tabla 19. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura de salud

ID	Nombre del elemento expuesto	Tipo
26	Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 5	Infraestructura de Salud
27	Farmacia Similar	Infraestructura de Salud
28	Clinica Maternidad Tula	Infraestructura de Salud
29	Centro de Salud de Tula	Infraestructura de Salud
30	Sanatorio Doctor Cervantes	Infraestructura de Salud
31	Médica Santa Fe	Infraestructura de Salud
32	Centro Médico de Rehabilitación y Medicina del Deporte	Infraestructura de Salud
33	Unidad Médica Integral DIF Tula	Infraestructura de Salud
34	Adolfo Francisco Monroy Montoya	Infraestructura de Salud
35	Farmacia Guadalajara	Infraestructura de Salud
36	Farmacias Hidalgo	Infraestructura de Salud
37	Farmacias San Miguel	Infraestructura de Salud
38	Urólogo Dr. Mario Ortega Ramírez	Infraestructura de Salud
39	Farmacias Cristo Rey	Infraestructura de Salud
40	Farmacias del Ahorro	Infraestructura de Salud
41	Farmacias GI	Infraestructura de Salud
42	Farmacia La Moderna	Infraestructura de Salud
43	Farmacias San Miguel	Infraestructura de Salud
44	Farmacias Similares	Infraestructura de Salud
45	Farmacias del Ahorro	Infraestructura de Salud
46	Clinica de Especialidades Odontológicas	Infraestructura de Salud
47	Consultorio de Urología	Infraestructura de Salud
48	Farmacia Tula	Infraestructura de Salud
49	Farmacias del Ahorro	Infraestructura de Salud
50	Farmacias Azuara	Infraestructura de Salud
51	Farmacias Similares	Infraestructura de Salud
52	Farmacias del Ahorro	Infraestructura de Salud
53	Centro de Rehabilitación Integral Regional Tula	Infraestructura de Salud

Nota: Elaboración propia.



Tabla 20. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura económica

ID	Nombre del elemento expuesto	Tipo
54	Prestamos Avance	Infraestructura Económica
55	Tuiio Tula Finanzas	Infraestructura Económica
56	Banco BBVA	Infraestructura Económica
57	Banco Azteca	Infraestructura Económica
58	Banco Famsa	Infraestructura Económica
59	Finagam Ahorro crédito Inversión	Infraestructura Económica
60	Sucursal Banamex Tula	Infraestructura Económica
61	Banco del Bienestar	Infraestructura Económica
62	Banco Santander	Infraestructura Económica
63	BanCoppel Morelos	Infraestructura Económica
64	Banco Mercantil del Norte	Infraestructura Económica
65	Banco Banorte	Infraestructura Económica
66	Banco Azteca	Infraestructura Económica
67	Telecom	Infraestructura Económica

Nota: Elaboración propia.

Tabla 21. Listado de los elementos expuestos de la infraestructura educativa

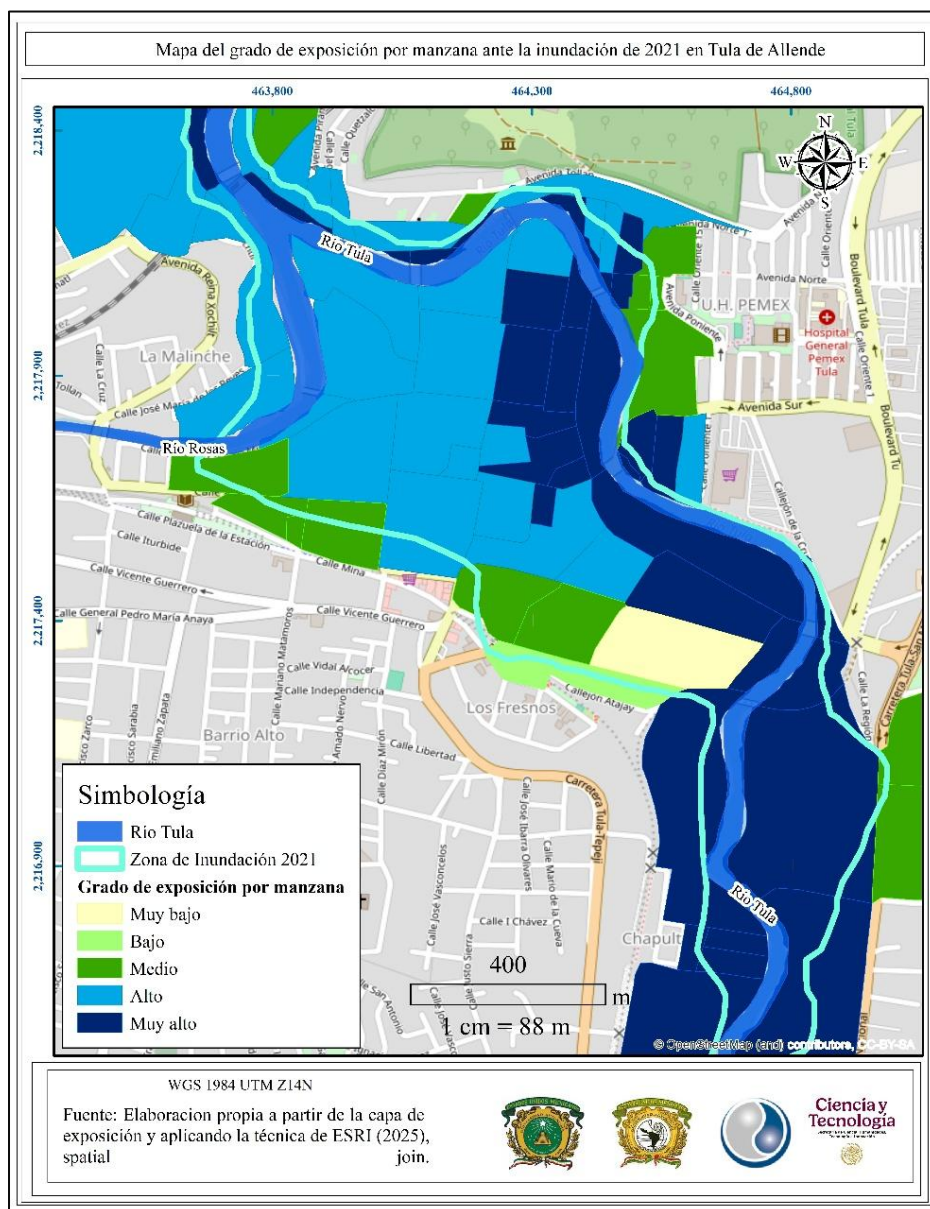
ID	Nombre del elemento expuesto	Tipo
68	Escuela Primaria General Enrique Rebsamen	Infraestructura Educativa
69	Escuela Secundaria Tollan	Infraestructura Educativa
70	Escuela Preparatoria Profesora Sara Robert	Infraestructura Educativa
71	Escuela Secundaria Técnica No. 52 Juan Rulfo	Infraestructura Educativa
72	Centro de Atención Múltiple No. 7 Educación Especial	Infraestructura Educativa
73	Escuela Primaria 16 de enero	Infraestructura Educativa
74	Escuela Primaria Artículo 123 Madera y Pino Suárez	Infraestructura Educativa
75	Escuela Secundaria Teresa Martin	Infraestructura Educativa
76	Centro Educativo Infantil Manantial	Infraestructura Educativa
77	Escuela Primaria Ignacio Zaragoza	Infraestructura Educativa
78	Escuela Pascual Castro Valencia	Infraestructura Educativa
79	Escuela Primaria Venustiano Carranza	Infraestructura Educativa
80	Escuela Primaria Miguel Hidalgo	Infraestructura Educativa
81	Escuela Primaria Benito Juárez	Infraestructura Educativa
82	Escuela General Melchor Ocampo	Infraestructura Educativa
83	Escuela Primaria Francisco Noble	Infraestructura Educativa
84	Jardín de Niños Los Atlantes	Infraestructura Educativa
85	Jardín de Niños Profra. María Luisa Latour	Infraestructura Educativa
86	Jardín de Niños Malintzi	Infraestructura Educativa
87	Colegio Felipe Carbajal Arcia Institución de Educación Privada	Infraestructura Educativa
88	Jardín de Niños Lic. Adolfo López Mateos	Infraestructura Educativa
89	Jardín de Niños 18 de marzo	Infraestructura Educativa
90	Jardín de Niños María del Carmen Arcia de Mediola	Infraestructura Educativa

Nota: Elaboración propia.

6.3.2. Mapa del grado de exposición por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas

Con la implementación de la herramienta de *Spatial Join*, obtuvimos un mapa con las manzanas que adquirieron el grado de exposición que más área contiene dentro del polígono de la manzana, así, podemos cuantificar y resumir la población y vivienda afectada por su grado de exposición. El mapa se visualiza en la figura 39:

Figura 39. Mapa del grado de exposición por manzana ante la inundación



Nota: Elaboración propia.



El total de manzanas afectadas en esta **zona de estudio** por la inundación, son de 80 del centro y periferia de Tula de Allende, la población afectada por la mancha de inundación es de 5928 personas, y las viviendas totales afectadas son 2355. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 22:

Tabla 22. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de exposición

Exposición	Manzanas	Manz %	PobTot	PobTot %	Pob 0 a 14	0a14 %	Pob 15 a 29	15a29 %	Pob 30 a 59	30 a 59 %	Pob 60 y m	60ym %	VivTot	VivTot %	Suma %
Muy Bajo	1	1.25	63	1.06	8	12.70	15	23.81	32	50.79	8	12.70	32	1.36	100
Bajo	2	2.5	128	2.16	34	26.56	34	26.56	46	35.94	14	10.94	37	1.57	100
Medio	15	18.75	1536	25.91	360	23.44	352	22.92	594	38.67	230	14.97	601	25.52	100
Alto	30	37.5	2189	36.93	498	22.75	521	23.80	854	39.01	316	14.44	815	34.61	100
Muy Alto	32	40	2012	33.94	405	20.13	441	21.92	826	41.05	340	16.90	870	36.94	100
Suma	80	100	5928	100.00	1305		1363		2352		908		2355	100.00	

Nota: Elaboración propia.

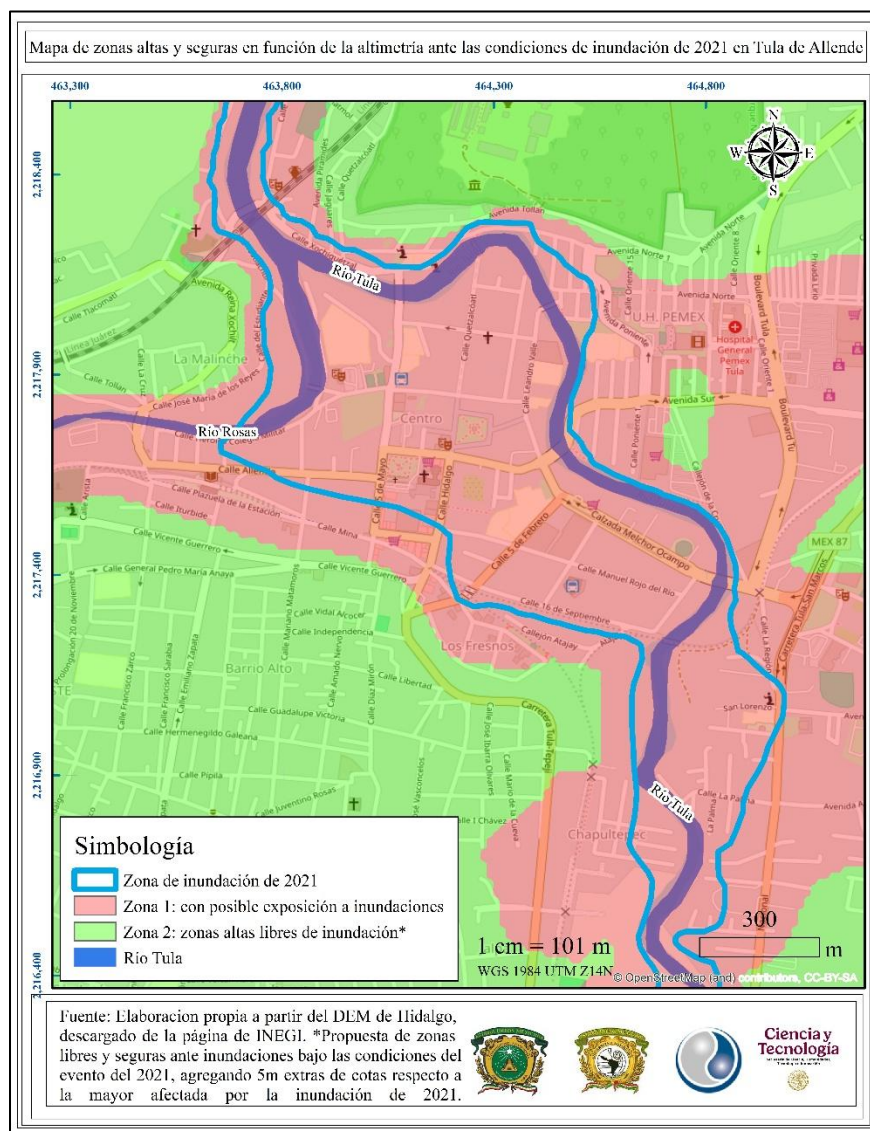
6.3.2.1. Población y vivienda expuesta

Debido a que toma mayor relevancia y atención aquellas manzanas con alto y muy alto grado de vulnerabilidad, se analizarán conjuntamente los resultados de la anterior tabla. Por lo que se obtiene que el 77.5% de las manzanas se encuentra en un grado de exposición alto y muy alto, esto representa el 70.87% de la población de estas categorías, respecto al grupo de población que más se ve afectado es el grupo de 30 a 59 años en las categorías de peligro alto y muy alto. Finalmente, a las viviendas afectadas, son un total de 1685 representando un 71.55% de las viviendas de Tula de Allende dentro de la zona de inundación.

6.3.3. Mapa de zonas libres ante inundaciones bajo las condiciones del evento del 2021.

Nuestro mapa de las zonas libres representa aquellas áreas seguras bajo las condiciones de inundación del 2021, agregando 5m extras a la cota máxima que fue de 2030 msnm. El mapa se visualiza en la figura 40:

Figura 40. Mapa de las zonas altas y seguras en función de la altimetría ante las condiciones de inundación de 2021



Nota: Elaboración propia. Se visualiza la zona y distancia del polígono de la zona de inundación y el límite de la zona 1, que corresponde a los 5m extra de las cotas sumados a la cota máxima afectada por la inundación de 2021.

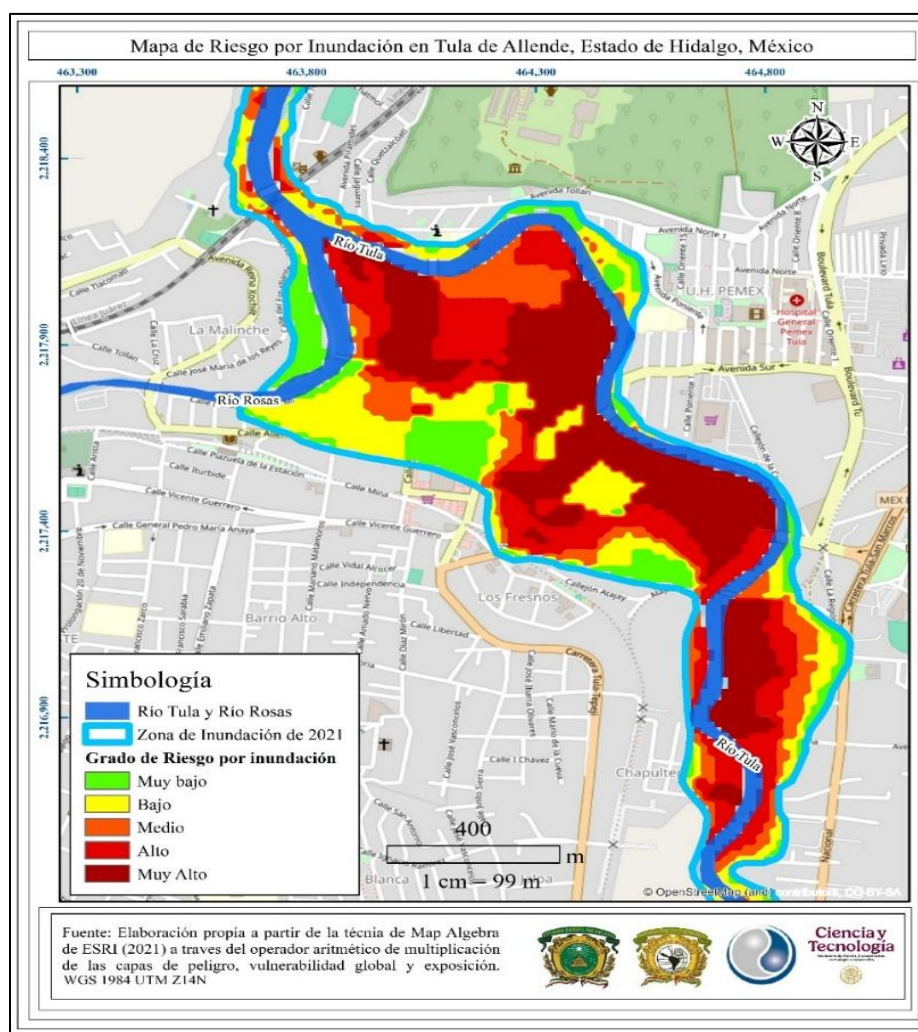
6.4. Resultados del análisis espacial del riesgo ante inundaciones

Una vez aplicado el método de *Map Algebra* de ESRI (2025a), a través de la sustitución de la fórmula del riesgo, con nuestras capas de peligro, vulnerabilidad global y exposición, obtenemos el mapa de riesgos por inundación (figura 41) en Tula de Allende. Así mismo podemos identificar aquellas zonas que requieren una mayor atención en recursos económicos, y la implementación de medidas.

6.4.1. Mapa de Riesgo por Inundación en Tula de Allende

Visualmente se destaca que los niveles más preocupantes de riesgo (medio, alto y muy alto), se presentan en la mayoría del polígono de la zona de inundación del 2021.

Figura 41. Mapa de Riesgo por Inundación en Tula de Allende



Nota: Elaboración propia.



Así mismo se han obtenido las áreas por grado de riesgo para cuantificar la extensión y comparación de estas zonas con el total del área de la zona de inundación. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 23:

Tabla 23. Grado de Riesgo y el porcentaje de área

Riesgo	Celdas	Riesgo	Celdas	Área Km2	% Area
MB	506	MB	506	0.11	11.66
B	707	B	707	0.16	16.30
M	502	M	502	0.11	11.57
A	788	A	1156	0.26	26.65
MA	1099	MA	1467	0.33	33.82
Suma	3602	Suma	4338	0.97	100

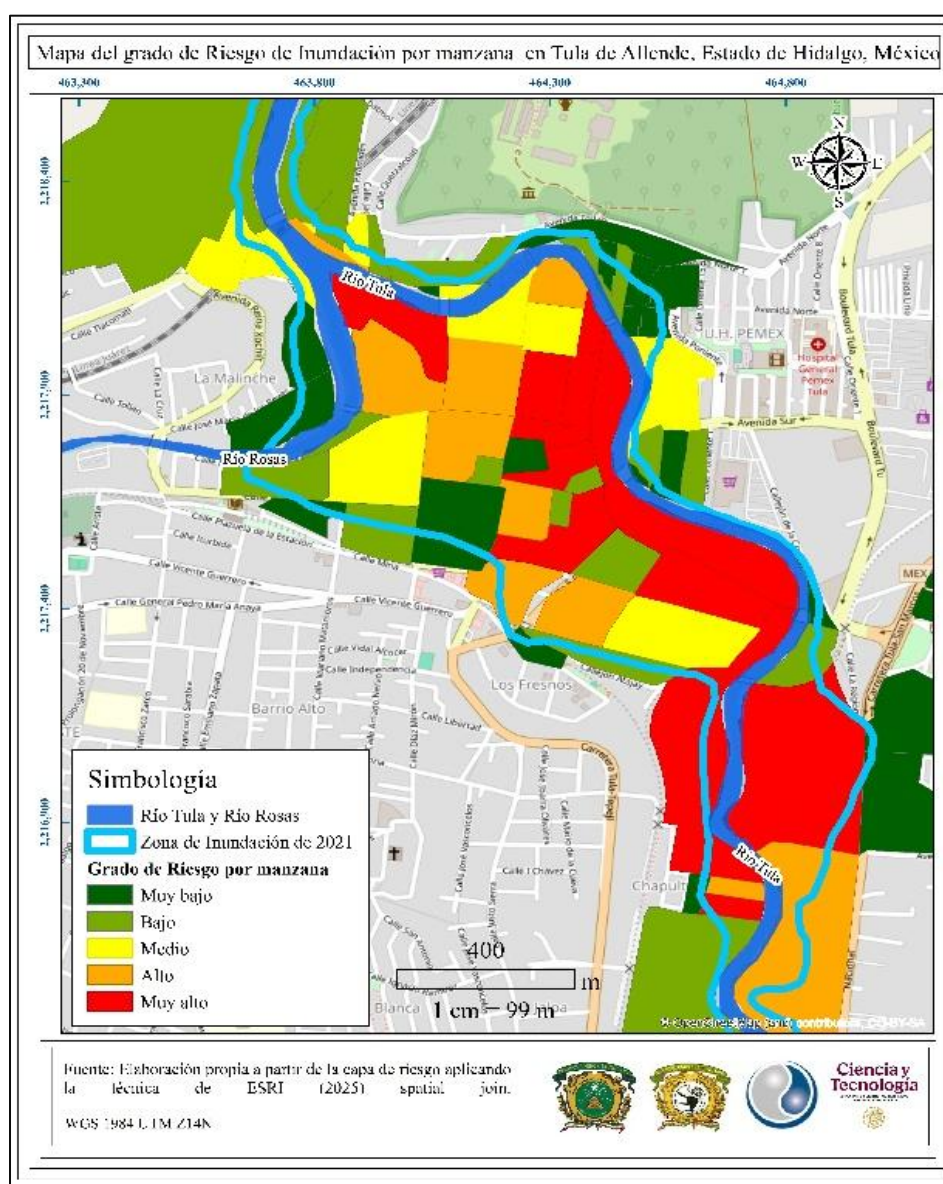
Nota: Elaboración propia.

Las zonas caracterizadas con un alto y muy alto grado de riesgo por inundaciones (A y MA), poseen un área de 0.59km², es decir que el territorio en riesgo de inundaciones representa el 60.47% del área total de la mancha de inundación, por lo que es evidente la preocupación de que en estas zonas concentren gran cantidad de unidades económicas, así como viviendas y personas expuestas.

6.4.2. Mapa del grado de riesgo por manzana para la cuantificación de población y viviendas afectadas

Con la implementación de la herramienta de *Spatial Join*, obtuvimos un mapa con las manzanas que adquirieron el grado de riesgo que más área contiene dentro del polígono de la manzana, así, podemos cuantificar y resumir la población y vivienda afectada por su grado de riesgo ante la inundación de 2021 en Tula de Allende. El mapa se visualiza en la figura 42:

Figura 42. Mapa del grado de riesgo por inundación por manzana



Nota: Elaboración propia.



El total de manzanas afectadas en esta **zona de estudio** por la inundación, son de 80 del centro y periferia de Tula de Allende, la población afectada por la mancha de inundación es de 5928 personas, y las viviendas totales afectadas son 2355. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 24:

Tabla 24. Cuantificación de población y vivienda afectada por grado de riesgo

Riesgo	Manzanas	Manz %	PobTot	PobTot %	Pob 0 a 14	0a14 %	Pob 15 a 29	15a29 %	Pob 30 a 59	30 a 59 %	Pob 60 y m	60ym %	VivTot	VivTot %	Suma %
Muy Bajo	21	26.25	944	15.71	190	20.41	207	22.23	383	41.14	151	16.22	329	13.97	100
Bajo	24	30	1956	32.57	465	24.08	463	23.98	749	38.79	254	13.15	702	29.81	100
Medio	11	13.75	949	15.89	227	24.10	229	24.31	362	38.43	124	13.16	352	14.95	100
Alto	10	12.5	935	15.77	210	22.46	190	20.32	371	39.68	164	17.54	405	17.20	100
Muy Alto	14	17.5	1198	20.06	213	17.91	274	23.04	487	40.96	215	18.08	567	24.08	100
Suma	80	100	5982	100.00	1305		1363		2352		908		2355	100.00	

Nota: Elaboración propia.

6.4.2.1. Población y vivienda afectada ante el Riesgo de inundaciones

Debido a que toma mayor relevancia y atención aquellas manzanas con alto y muy alto grado de vulnerabilidad, se analizarán conjuntamente los resultados de la anterior tabla. Por lo que se obtiene que el 30% de las manzanas se encuentra en un grado alto y muy alto, esto representa el 35.83% de la población de estas categorías, respecto al grupo de población que más se ve afectado es el grupo de 30 a 59 años en las categorías de peligro alto y muy alto. Finalmente, a las viviendas afectadas, son un total de 972 representando un 41.28% de las viviendas de Tula de Allende dentro de la zona de inundación.

6.5. Resultados del análisis forense de inundaciones

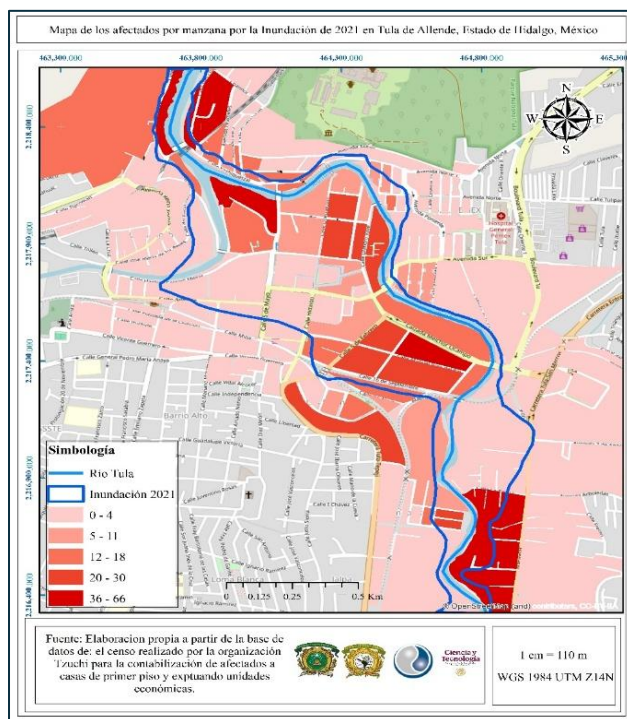
6.5.1. Recopilación de información histórica

Como se ha demostrado con anterioridad la problemática de las inundaciones en Tula de Allende, se remontan a los problemas de inundaciones en la capital de la Nueva España en el siglo XVI, donde crearon obras para redirigir los escurrimientos de la ciudad, y con el paso del tiempo fueron implementando más obras hidráulicas para mitigar las inundaciones en la ZMVM hasta la actualidad. Lo que ignoraron fue que al mismo tiempo aumentaba la demografía de Tula de Allende, lo provocaría el asentamiento humano en posibles llanuras de inundación en eventos extremos, en este caso a través de desembocar las aguas residuales en el río Tula. Respecto a las inundaciones en Tula del 2005 y del 2008 no generaron gran impacto en la sociedad y **sobre todo** en la acción política por analizar e implementar planes de gestión del territorio para crear ciudades sostenibles y evitar catástrofes.

6.5.2. Recopilación de Información geográfica

El mapa realizado a partir del Censo de Tzu Chi en 2021 se muestra a continuación en la figura 43:

Figura 43. Mapa de los afectados por manzana por la inundación de 2021



Nota: Elaboración propia a partir del Censo de Tzu Chi México 2021.



En el mapa se puede apreciar que las manzanas destinadas para el uso habitacional del norte y sur de la mancha de inundación son las más afectadas, debido a que estas concentran mayor número de viviendas que las destinadas en el centro de Tula. Además, es importante exponer que durante la recopilación de datos se cuantificaron los que están directamente afectados por la inundación, es decir que habitantes en un segundo piso de la vivienda no se contaron ni tampoco los damnificados de unidades económicas.

Se visualiza que las manzanas menos afectadas del centro de Tula tienen baja incidencia debido a que estas están destinadas para uso comercial a través de unidades económicas.

6.5.3. Recopilación de información de campo

6.5.3.1. Enfermedades relacionadas con la inundación de aguas negras

Además de la información requerida sobre las coordenadas de campo y la altura del nivel del agua mediante el formulario, y que este proceso será explicado en el proceso del *análisis del peligro*, también se les pregunto a la población afectada si la inundación por aguas negras tuvo repercusiones en su salud, las respuestas comunes fueron:

- ❖ Dolor de estómago (Diarrea)
- ❖ Sarpullido
- ❖ Conjuntivitis

Estas declaraciones en campo y documentadas en la recopilación de información de campo son un problema más causado por las inundaciones, y que es importante tratar debido al contexto de los afluentes del río Tula se ha constatado que hay concentraciones de químicos y microbiológicos, además de obtener beneficios al tratar aguas residuales, Sánchez (2025) explica que es importante tratar las aguas antes de introducirse en el suelo, en este caso, primeramente, al cuerpo de agua.

Al mismo tiempo es importante destacar la inundación del Hospital No. 5 del IMSS en Tula, donde desafortunadamente la inundación provocó el fallecimiento de 17 pacientes, según las fuentes oficiales.



6.5.3.2. Tiempo en que bajo el nivel de la inundación

En las prácticas de campo se entrevistó a algunas personas afectadas por la inundación sobre el tiempo transcurrido en que tardo en bajar el nivel del agua, estas respondieron de 2 a 7 días dependiendo la zona, siendo los tiempos más comunes que obtuvimos por parte de la población.

6.4.1. Causas de las inundaciones en Tula de Allende

6.4.1.1. Causas de origen político en la gestión de aguas residuales y pluviales

De acuerdo con la investigación documental forense, en la sección de *recopilación e integración de información*, la principal causa que le atribuyo al riesgo de inundaciones primeramente es atribuido a la pésima gestión por parte de la CONAGUA y el SACMEX de debido a que estas aguas residuales y pluviales del río Tula provienen de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Además, la decisión de exceder el caudal del Río Tula fue una decisión tomada por la CONAGUA y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), debido a que prefirieron inundar varios municipios del valle del mezquital, exponiendo aquellas zonas con menos plusvalía y desarrollo, y aun disminuyendo estos factores después de la inundación.

La razón principal para que el riesgo de inundaciones no hubiera sucedido en Tula de Allende, se pudieron cerrar las compuertas del drenaje profundo, sin embargo, esta inundación habría ocurrido en la Ciudad de México, por lo que la CONAGUA y el SACMEX prefirió trasladar la inundación y así proteger su jerarquía económica, política y con mayor demografía que caracteriza a la capital del país cediéndole los efectos de esta decisión al Valle del Mezquital y por supuesto siendo Tula de Allende el Municipio más afectado.

Es importante destacar que el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, no impidió las inundaciones en dicha ciudad, por lo que este SDP no fue una solución a largo plazo, y es suficiente evidencia para destacar que no basta con crear más túneles de drenaje o rediseñar ríos para que aumenten su capacidad.



6.4.1.2. Causas Históricas y relación con el Drenaje Profundo de la Ciudad de México

Así mismo el crecimiento poblacional en la ciudad de México y la problemática de las inundaciones dio lugar a necesidad de contar con más obras como el Gran Canal de Desagüe.

Es cierto que al inicio de la ejecución de las obras hidráulicas para redirigir la esorrentía de las inundaciones en la Capital de la Nueva España en el siglo XVI, se tenía menos población expuesta en Tula de Allende, y en todos sitios, así mismo era menor el caudal que transitaba comparado con el de la actualidad, sin embargo, se debió prever el crecimiento de la población, la creación y aplicación de planes de ordenamiento territorial y sostenible y atlas de riesgos, para no trasladar el problema de las inundaciones hacia el valle del Mezquital.

6.4.1.2. Crecimiento poblacional y poca eficiencia en el ordenamiento territorial y empleo de atlas de riesgo.

El crecimiento poblacional es un proceso natural en el cual, debido al aumento en la densidad poblacional de cualquier ciudad, es necesario el cambio y uso de suelo con el fin de implementar el uso habitacional, por lo que es necesario la gestión del territorio, esto incluye la creación de planes de desarrollo municipal, atlas de riesgos que se apliquen correctamente, con el fin de evitar que la población se asiente en lugares con la probabilidad de daños futuros. Sin seguir el viejo y obsoleto modelo de gestión reactiva que agobia a México, como lo mostrado en el informe de actividades del regidor del H. Ayuntamiento de Tula de Allende 2020 - 2024, que menciona y expone la entrega de canastas básicas a los afectados, sin embargo, no se menciona ni una palabra de la creación e implementación de atlas de riesgos para su localidad más afectada.

Sin embargo, a través de la inundación del 2021, se han generado y expuesto estudios sobre la situación en Tula, esperamos que con el tiempo los organismos gubernamentales apliquen toda la información referente a la gestión del riesgo en Tula de Allende, y atacar al problema de raíz con origen en las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Al menos en el Plan Municipal de Desarrollo de Tula de Allende 2024 – 2027, ya se aborda la intención de promover la gestión integral de riesgos a través de los atlas de riesgos por entidad y a nivel municipal, esperamos no se quede esta intención en un papel. Además, en el plan municipal de desarrollo del 2012 – 2016 de Tula de Allende, se le dedicaba aún menos



interés a las inundaciones, debido a que, en sus líneas de acción, solo le dedican siete palabras a este gran problema, estas son:

- ❖ Realizar trabajos de desazolve para prevenir inundaciones.

(Gobierno municipal de Tula de Allende, s.f.)

Es importante destacar que, en el Plan Especial Municipal ante la temporada de ciclones de 2023, ya abordan el problema de las inundaciones con un énfasis histórico, y teniendo en cuenta la reducción del riesgo de inundaciones como se declara en su objetivo general en conformidad con Protección Civil de Tula de Allende (2023):

El objetivo general es conseguir que no se incremente el riesgo de inundación actualmente existente y que, en lo posible, se reduzca a través de las distintas medidas, que deberán tener en cuenta todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana, y teniendo en cuenta las características de la cuenca o subcuenca hidrográfica consideradas, lo cual adquiere más importancia al contemplar los posibles efectos del cambio climático. (p. 14)



Capítulo 7. Medidas de Gestión del Riesgo ante Inundaciones

7.1. Medidas recomendadas para gestionar el riesgo ante inundaciones en Tula de Allende

7.1.1. Medida 1: Gestión de aguas residuales y pluviales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

El agua residual generada en la Ciudad de México debería ser sometida a procesos de tratamiento de aguas residuales para su mismo uso, de acuerdo con el SACMEX (2024), la CDMX enfrenta algunos desafíos:

- ❖ Disponibilidad del recurso hídrico: la ciudad se encuentra en una región que enfrenta una creciente demanda de agua debido a su gran población y actividad económica, lo que dificulta garantizar un suministro suficiente.
- ❖ Contaminación y disminución de recargas de fuentes de abastecimiento: la contaminación de fuentes de agua superficiales y subterráneas dificulta su tratamiento y afecta la calidad del agua potable. La extracción sumatoria de agua subterránea ha provocado la disminución de los niveles de los acuíferos, lo que afecta la disponibilidad futura de este recurso.

Además, es contradictorio que el SACMEX exponga la necesidad del recurso para las actividades económicas de la CDMX y al mismo tiempo ellos promuevan que las aguas negras desemboquen en el Río Tula sin tratar y continuar con la contaminación de los cuerpos de agua.

Por lo que lo más lógico sería tratar el agua residual y pluvial dándole continuos usos necesarios en la CDMX y el caudal que no sea necesario para las actividades de la metrópoli desembocar en ríos para restaurar su entorno ecológico y además de favorecer la infiltración a los acuíferos.

7.1.2. Medida 2: Sistema de Alerta Temprana

De acuerdo con el PNUD (2025) los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) son: “sistemas integrales diseñados para brindar advertencias oportunas que permiten a las personas tomar medidas preventivas ante los peligros inminentes de los fenómenos climáticos como huracanes, inundaciones, sequías, olas de calor o incendios forestales”.

En México ya existen un sinnúmero de soluciones medioambientales, éstas se ven detenidas u ocultas para no ser implementadas debido a la corrupción histórica y actual del país y la falta de voluntad política y de recursos humanos poco capacitados.

En Tula de Allende existen reglas graduadas pintadas en cimientos y pilares de los puentes (figura 44) que indica el caudal en dicha sección, cuyo fin es visualizar y monitorear la creciente para alertar sobre un posible desbordamiento a la población de Tula.

Figura 44. Regleta de medición establecida por la CONAGUA



Nota: El nuevo registro proporcionado por la Comisión Nacional del Agua, el nivel crítico se ajustará a 20–22–00, esta modificación tiene el objetivo de asegurar la comunidad de los tulenses. De Tula de Allende: Cambiaron regleta de medición del puente Metlac. Martínez, 2023, El Sol de Hidalgo. (<https://oem.com.mx/elsoldehidalgo/local/tula-de->



Sin embargo, lo ideal sería el monitoreo de las condiciones hidrometeorológicas de las cuencas que aportan caudal al río Tula, esto incluye a la cuenca del Valle de México y la aplicación de un monitoreo automático de los niveles del agua en distintos tramos del río Tula, incluso en el portal de salida del TEC y el TEO, para conocer si se rebasa el umbral en aguas arriba.

Además la población de Tula de Allende ha diseñado un sistema de alerta temprana con los medios propios y la atención de la población, su sistema consta de avisos por parte de CONAGUA hacia Protección Civil, y a su vez, Protección Civil se mantiene en comunicación con el medio en Facebook: Gran Asamblea De Damnificados Tula 2021, que transmite en vivo si hay un torrente adicional en el Río Tula, así mismo algunos pobladores designados verifican que el nivel del agua no suba y si lo hace, se alerta a la población mediante esta página de Facebook y en grupos de WhatsApp.

Es importante destacar que la intención de este SAT es alertar a la mayor cantidad de personas ante una inundación, también es preocupante que no todas las personas tengan acceso a el aviso por falta de medios electrónicos, señal u otro motivo.

Las “soluciones” por parte de CONAGUA para disminuir el riesgo de inundaciones se baso en la infraestructura del revestimiento del río y desazolvé, por lo que no han tratado el problema de raíz de las aguas residuales de la CDMX desembocadas en el río Tula, por lo que nuestro problema de las inundaciones sigue latente, por lo que se proponen medidas de adaptación y mitigación del riesgo de inundaciones a través de la implementación de un Sistema de Alerta Temprana. Los SAT (figura 45) tienen la finalidad de monitorear, detectar, predecir y comunicar a la población por una inundación inminente para la ejecución de planes de evacuación.

Figura 45. Componentes de un sistema de alerta temprana



Nota: Elaboración propia.

Por lo que un estudio detallado de las herramientas de monitoreo, lugares de instalación, método de difusión y creación de planes de evacuación ante inundaciones son un tema inmenso que contempla un reto por parte de los habitantes de Tula de Allende y los organismos encargados de asegurar el bienestar de la comunidad.

7.1.3. Medida 3: Campaña permanente de limpieza de residuos sólidos y desazolve del río

De acuerdo con Sondex (2024) “la presencia de basura en los sistemas de drenaje contribuye significativamente a las inundaciones. Un mantenimiento apropiado puede controlar este problema de manera eficaz”.

La implementación de limpieza y desazolve de residuos sólidos representa una medida que adecuada par aprevenir obstrucciones en el flujo en el sistema de drenaje. Estas obstrucciones de acuerdo con Sondex (2024), provocan afectaciones en el ambiente y en la salud como:



- ❖ Estragos en edificios, viviendas y bienes personales, causando caños costosos y trastornos significativos.
- ❖ Riesgos para la salud: El agua estancada puede volverse un foco de enfermedades, propagando y atrayendo plagas e infecciones.
- ❖ Impacto económico: Costos en reparación, limpieza y reconstrucción.
- ❖ Interrupción de servicios: las inundaciones pueden afectar el suministro de servicios esenciales, como electricidad y transporte. (Sondex, 2024)

Este es un gran problema, debido que en el río Tula transitan residuos sólidos, por lo que sería necesario también un plan de manejo y gestión de residuos sólidos, además de concientizar a la población del problema que se genera al no disponer la basura en lugares destinados para su tratamiento. Basta con visitar la presa Endhó para evidenciar la problemática de los residuos sólidos en el río Tula.

En consecuencia es importante aclarar que las medidas propuestas están a discusión y a implementarse por parte de las autoridades correspondientes como los es la CONAGUA y Protección Civil de Hidalgo y a nivel municipal. Debido a que la planeación y aplicación de estas medidas de mitigación del riesgo dependen de los recursos destinados y de la participación ciudadana.

7.2. Medidas implementadas por la CONAGUA

7.2.1. Ampliación y revestimiento del río Tula

De acuerdo con Islas (2023) “Para la rectificación y revestimiento (figura 46) del río Tula, este año el gobierno invierte 700 millones de pesos, lo que incluye incrementar a 500 metros cúbicos por segundo la capacidad de conducción hidráulica”.

Figura 46. Revestimiento en el río Tula



Nota: Revestimiento de concreto en los márgenes del río Tula para el aumento en su capacidad de tránsito del agua residual y pluvial. De La silla rota, 2023.

Como se observa con las obras de revestimiento y desazolve del río Tula, lo que se propone e implementa por parte de la CONAGUA, es aumentar la capacidad del río Tula, con el fin de que pueda aumentar el tránsito de las aguas residuales sin atacar el problema de raíz. Por lo que a continuación se presentan los trabajos realizados por la CONAGUA:

Los trabajos que ejecuta la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) iniciaron el pasado 8 de junio y hasta el corte del 31 de julio presentan un avance del 9.97 por



ciento. El proyecto contempla el revestimiento de 3.8 kilómetros del río Tula, a concluir el 21 de diciembre de este año.

La intervención requerida por el gobierno de Hidalgo para la ejecución de los trabajos de rectificación y revestimiento del Río Tula se basa en sensibilizar a la población a efecto de que otorguen las facilidades para la ejecución de los trabajos en la zona federal, coadyuvar en la atención a grupos sociales opositores a la ejecución de los trabajos (ambientalistas, asamblea de damnificados por Tula, etc.).

Además de coordinar con el gobierno municipal la elaboración de un proyecto integral de colectores marginales para la captación de las descargas a lo largo del cauce del Río Tula (lo cual le corresponde al ayuntamiento) y apoyar con el encarpetamiento de las vialidades que confluyen a las zonas de obra.

En total, el Gobierno de Hidalgo y la Conagua efectúan trabajos por una inversión de mil 155 millones de pesos para el revestimiento del Río Tula en una longitud total de 3.8 km, lo que incluye el subtramo 1, en una longitud de mil 940 metros, ampliación de la sección hidráulica de los puentes Zaragoza, Melchor Ocampo y Metlac, y el subtramo 2, en una longitud de mil 840 metros.

(Islas, 2023)

Sin embargo, desde el punto de vista de los grupos ambientalistas y de los movimientos sociales de los afectados y personal, se expresa el desagrado de que la solución no es aumentar la capacidad del río, si no tratar las aguas residuales y restaurar el río en términos ecológicos, simplemente porque se ha evidenciado que las obras históricas desde la Nueva España a la actualidad con su plan de redirigir los escurrimientos no ha sido una solución a largo plazo, debido a que este caudal será cada vez mayor debido a su demanda de procesos industriales y por el uso debido al crecimiento demográfico de la ZMVM. Por lo que es probable que la nueva capacidad del río Tula se vea superada una vez más, sin embargo, sería ideal que este escenario nunca se materialice en el futuro.



Además, para confirmar su objetivo sobre el aumento de la capacidad del ahora canal, la CONAGUA (2024c) expresa que:

Antes de las obras, puntualizó, el cauce podía conducir $230 \text{ m}^3/\text{s}$ y con los trabajos realizados a lo largo de 3.78 km en la cabecera municipal de Tula, se tendrá capacidad para conducir de forma segura más del doble de su capacidad natural. (p. 2)



Capítulo 8. Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

El análisis de la información física, socioeconómica, y permitió la construcción del escenario de desastres (CED), de acuerdo con la metodología *FORIN*, por lo que representamos espacialmente la extensión y naturaleza del peligro, las condiciones que caracterizan la vulnerabilidad de la población, vivienda y unidades económicas, además de los grados de exposición en función de la altimetría de los elementos expuestos, que son componentes esenciales en la ecuación del riesgo. Por lo que pudimos determinar las zonas de mayor riesgo ante inundaciones, este mapa es capaz de apoyar en planes de evacuación durante emergencias, identificación de la población más vulnerable para la donación de recursos económicos, y la aplicación y localización de obras para la disminución del riesgo de inundaciones además de su utilidad en la gestión del uso de suelo y ordenamiento territorial.

Al recopilar información histórica, política, institucional y ambiental se identificaron las causas de raíz de las inundaciones, estas se atribuyen al deficiente manejo de las aguas residuales y pluviales a través del TEC y TEO principalmente, representando un aporte excesivo en la capacidad del río Tula. Provocando que la Ciudad de Tula de Allende y otros municipios del Valle del Mezquital estén continuamente en alerta por el riesgo de inundaciones, principalmente en la época de lluvias.

En la construcción del escenario de desastres por inundación se determinaron las zonas más afectadas por la inundación del 2021, por lo que se propusieron medidas de gestión para minimizar el riesgo local de inundaciones, estas son en términos generales: *La Gestión de aguas residuales y pluviales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, La implementación de un Sistema de Alerta Temprana y la Campaña permanente de limpieza de residuos sólidos y desazolve del río*, ya que estas acciones tienen un gran impacto en la mitigación del riesgo de inundaciones y en el aumento de la resiliencia de los habitantes de Tula de Allende a través del *SAT*. Además, la CED cumple su fin al informar a la población y gobierno los riesgos existentes y como se comportarían al materializarse, y así, tomar acciones para adaptarse o mitigar el riesgo.



Ya que estas medidas son especializadas y aplicadas en el contexto y entorno de Tula de Allende se promueve la posibilidad de investigar su efectividad y posible aplicación e implementación de estas a los tomadores de decisiones e instituciones que cuentan con los recursos económicos cuando son correctamente gestionados a través de Protección Civil de Tula de Allende y de la CONAGUA.

El conjunto de metodologías propuestas para la caracterización general del riesgo de inundaciones representa también una propuesta para recrear el escenario de desastre e innova con la aplicación del uso y aplicación de métodos topográficos para el mapeo comunitario de la zona de inundación, aunque también se proponen otras técnicas de recopilación y tratamiento de información geoespacial como imágenes de satélite para acelerar el trabajo sobre todo cuando no se destinan gran cantidad de recursos en campo para la obtención de datos.

8.2. Recomendaciones

El uso y difusión de los mapas de peligro y de exposición son esenciales al compartirlos con la población, para informar y determinar la ubicación de zonas libres o seguras ante un evento con intensidad similar, así como el mapa de vulnerabilidad global y riesgos para atender a la población más vulnerable, y apoyar su calidad de vida para disminuir sus condiciones de riesgo, por lo que su difusión es recomendable en Tula de Allende principalmente.

Sería útil contar con un Modelo Digital de Elevaciones de Tula de Allende de buena resolución en centímetros, debido a que se encontraron diferencias topográficas del DEM con los valores de elevación observados en campo, que podrían resultar en modificaciones en mapas de exposición y sobre todo al representar comportamientos diferentes en la aplicación de modelos de simulación hidráulica con los DEM existentes.

Aunando la recomendación anterior, existen diferentes métodos para representar y visualizar las inundaciones, por lo que sería esencial el uso de modelos hidráulicos para conocer nuevos límites o profundidades de inundación al aplicar hidrogramas de diferentes caudales y analizar los resultados para estos caudales máximos en zonas más extensas que las visualizadas en el mapa de peligro de esta investigación, además de contar con datos para



proponer periodos de retorno y analizar las zonas de peligro futuras y tener más fuentes de datos para comparar y corroborar las zonas de inundación. En esta investigación se planeaba contar con modelos de simulación hidráulica sin embargo se contaron con problemas de acceso a la información referente a los hidrogramas debido a que CONAGUA me negó esa información por lo que solo se obtuvo el caudal máximo a través de la información documental en internet.

Además el uso de imágenes satelitales no fueron posibles debido a la insuficiente visibilidad en la mancha de inundaciones, así como por la obstrucción de nubes y debido a que la imagen satelital tiene fecha de su creación dos días después de la inundación, por lo que la extensión y nivel de la inundación ya había cambiado en algunas zonas, por lo que el mapeo comunitario en campo fue una buena herramienta para representar espacialmente la inundación, así como de la recopilación de imágenes de la inundación.

Es importante darle seguimiento a esta problemática de las inundaciones, debido a que hasta la actualidad aún se genera gran información de distinta índole, motivando la posibilidad de investigar a Tula de Allende a través de investigaciones ambientales, políticas, ecológicas, agua superficial y subterránea, fisicoquímicas, cultura y sociedad, debido a que su situación medioambiental sigue marcando a la población al no tratar al problema de raíz.

8.2. Reflexiones finales

Es impactante los efectos que ha generado las problemáticas de las inundaciones Tula de Allende, no solo en temas ambientales, económicos, o al evidenciar la poca voluntad política al gestionar este problema, si no que continúa siendo un tema sensible que ha afectado a la población de Tula de Allende, incluso provocando problemas psicológicos y un proceso de migración climática, debido a que muchas personas han abandonado su hogar debido al miedo e incertidumbre de una experimentar una nueva inundación.

Por lo que se hace un llamado a los actores políticos con la influencia necesaria para mitigar el riesgo de inundaciones a que busquen las herramientas y aumenten su voluntad política para resolver las problemáticas de su jurisdicción, además de convocar a la población a continuar exigiéndole a las autoridades la resolución del problema de raíz.



Todas estas demandas son para mantener y recuperar el equilibrio ecológico del que nos beneficiamos todos y que compartimos como sociedad, ¿qué pasará cuando ya no haya tiempo para reaccionar?, por lo que me permito el fragmento de la canción: ¿Dónde jugarán los niños? de Maná (1992): “*Cuenta el abuelo que de niño él jugó, entre árboles y risas, y alcatraces de color, recuerda un río transparente y sin olor, donde abundaban peces, no sufrían ni un dolor*”. Este fragmento resalta con el propósito de abrir los ojos y exigir un cambio, antes de que la poca calidad de vida y la falta de ambientes sanos solo sean un recuerdo que solo vive en nuestra mente para el bien del presente y del futuro.



9. Referencias Bibliográficas

- Alcántara, I. (2024). *Academia*. Instituto de Geografía UNAM [Archivo PDF]. <http://www.igeograf.unam.mx/archivos/desastres.pdf>
- Archivo General de la Nación. (17 de marzo de 2022). *El Gran Canal de Desagüe del Valle de México: un proyecto que duró casi tres siglos y medio en concretarse*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agn/articulos/el-gran-canal-de-desague-del-valle-de-mexico-un-proyecto-que-duro-casi-tres-siglos-y-medio-en-concretarse?idiom=es#:~:text=El%2017%20de%20marzo%20de,las%20fotografias%20de%20Charles%20B.>
- Bonilla, E. (24 de abril de 2025). *Hidrología forense enfocada a fenómenos hidrometeorológicos*. UDLAP. <https://blogcatedraunesco.udlap.mx/hidrologia-forense-enfocada-a-fenomenos-hidrometeorologicos/>
- Canal NMás. (25 de septiembre de 2021). Enfermedades por aguas negras en inundaciones en Tula, Hidalgo - En Punto. [Archivo de Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=gcQNswvFChg>
- Castañeda, E., Mendoza, Y., Añorve, J., Nieto, S. y Castañeda, A. (2022). Desbordamiento del Río Tula: más allá de las lluvias. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, UAEH*, 10(19), 23-29. [\(PDF\) Desbordamiento del Río Tula: más allá de las Lluvias](#)
- CENAPRED. (2019a). *Mapeo Comunitario*. [Archivo PDF]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/481497/PAT_10_CEMREMC_CO_MO_ELABORAR_UN_MAPA_P1P2_140619.pdf
- CENAPRED. (2019b). Panorama actual de las inundaciones en México. [Archivo PDF]. [Diapositiva 1 \(www.gob.mx\)](#)
- CENAPRED. (2021). *Reporte de avance de actividad Asesoría técnica al SINAPROC. Revisión de atlas y apoyo a los estados*. [Archivo PDF]. https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_SERVICIOS_TECNICOS/SANI/PAT/2021/



[3er%20Terimestre/DI/3er%20Trimestre/09/09-01/RI/210930_RI_Act9-1_SINAPROC_Opiniones%20técnicas_septiembre.pdf](#)

Chávez, Elena. (2020). Metodología para estimar profundidades de Inundación, en un tramo del río Ebro, basada en la utilización de datos de Landsat8, Sentinel-2, Radar Sar (Sentinel-1) y Lidar. [Tesis de Maestría, Universidad de Alcalá, Universidad Rey Juan Carlos]. [TFM Chaves Chaves 2020.pdf](#)

Chávez, J. (2022). Análisis de la Hidrología Forense de la Presa El Carmen, El Marqués, Querétaro. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. [MEMAN-284183.pdf](#)

CIENTEC Instrumentos Científicos. (s.f.). *¿Cómo usar un Nivel Topográfico?*. <https://cientecinstrumentos.cl/como-usar-un-nivel-topografico>

CONABIO. (2025). Portal de Geoinformación 2025. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB).

CONAGUA. (2024a). *Avanza Conagua en la construcción de obras de protección en Tula de Allende: Germán Arturo Martínez Santoyo*. [Archivo PDF]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/928347/Comunicado_de_Prensa_0488-24.pdf

CONAGUA. (2024b). Diagnóstico de Calidad del Agua del Río Tula, La Presa Endhó y sus Principales Afluentes en Los Estados de México e Hidalgo. [Archivo PDF]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/970252/RioTula_y_afluentes_2012_2023.pdf

CONAGUA. (2024c). *Conagua refrenda compromiso de proteger a la población de Tula de Allende, Hidalgo. Comunicado de prensa*. [Archivo PDF]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/932814/Comunicado_de_Prensa_0519-24.pdf

Confederación hidrográfica del Cantábrico. (20 de febrero de 2025). ¿Qué es el Riesgo de Inundación? [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=sAn-i94M5uk>



- Congreso de la Unión. (2012). *Ley General de Protección Civil*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC.pdf>
- Coordinación General de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos y Coordinación de Protección Civil Y Bomberos de Toluca. (2024). Atlas de Riesgos Toluca. 2022-2024. [Archivo PDF]. https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2024/10/VF_Toluca_Atlas_Riesgo_2024_C.pdf
- Courty, L., Centeno, J. y Pedrozo Adrián. (2021). Las inundaciones en el valle del Mezquital: un síntoma de los límites de la ingeniería convencional. [Archivo PDF]. <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-36>
- ESRI. (2025a). *¿Qué es el álgebra de mapas?*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/map-algebra/what-is-map-algebra.htm>
- ESRI. (2025b). *Cómo funciona Kriging*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- García, J. y Molina, J. (2024). Revisión hidráulica e hidrológica de la lluvia del 22 de octubre de 2018 en Morelia empleando análisis forense. *Ciencia Nicolaita* 90, 127-142. <https://doi.org/10.35830/cn.vi90.744>
- Geolat. (2025). *La fórmula del riesgo*. https://geolat.es/la-formula-del-riesgo-conceptos/#La_formula_del_riesgo
- Gobierno Municipal de Tula de Allende. (s.f). *Plan Municipal de Desarrollo*. [Archivo PDF]. <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tula-De-Allende-Plan-Municipal-De-Desarrollo-2012-2016.pdf>
- González, M., Lizárraga, L. y Rangel, Y. (2014). Visita a la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco de Tula, Hidalgo. Boletín científico de Ciencias Básicas e Ingenierías de ICBI 2(3). <https://doi.org/10.29057/icbi.v2i3.534>
- Grupo HEH Consultoría. (2021). Hidrología y su importancia. Recuperado el 18 de octubre de 2023 de <https://www.grupoheh.com.mx/la-hidrologia-y-su-importancia>



- Gutiérrez, A. (2022). Guía metodológica de hidrología forense. *Agua.*, 14, 3863.
<https://doi.org/10.3390/w14233863>
- Hernández, A., Otazo, E., Román, A. y Romo, C. (2021). El sistema de drenaje de la Ciudad de México. *Boletín científico de Ciencias Básicas e Ingenierías de ICBI*, 9(17). 24-30. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive>
- INECC. (2016). Vulnerabilidad al cambio climático. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-80125#:~:text=Para%20el%20Grupo%20Intergubernamental%20de,clima%20y%20los%20fenómenos%20extremos.>
- INEGI. (2024). Estudio de información integrada de la cuenca Río Pánuco. [Archivo PDF]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463912521.pdf
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf
- Islas, M. (2023). *Así van los trabajos del revestimiento del Río Tula, buscan evitar inundaciones.* <https://lasillarota.com/hidalgo/estado/2023/8/2/asi-van-los-trabajos-del-revestimiento-del-rio-tula-buscan-evitar-inundaciones-441027.html>
- Jandete, C. (2025). Tula: la otra cara del agua. *ECOSS, Revista Iberoamericana de Economía Social y Solidaria*, 4(6), 73-89.
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjYg4SOiP2QAxVQMEQIHSLOFAIQFnoECDMQAAQ&url=https%3A%2F%2Fecoss.iberomx.com%2Findex.php%2Fecoss%2Farticle%2Fdownload%2F67%2F70%2F592&usg=AOvVaw11NSeGRMWwnAIIXyLVLCrFC&opi=89978449>



La Gran Asamblea de Damnificados de Tula 2021. (27 de septiembre de 2022). *Foto de perfil de* *Facebook.*

<https://www.facebook.com/photo/?fbid=153165667352007&set=a.15316565735200>

8

La Jornada. (2022). Edil que donó 763 colchones podridos gastó un millón 692 mil pesos.

<https://www.jornada.com.mx/notas/2022/02/10/estados/edil-que-dono-763-colchones-podridos-gasto-un-millon-692-mil-pesos/>

López, A. (7 de septiembre de 2021). *Gobierno federal atiende afectaciones por inundaciones en Tula, Hidalgo. Conferencia presidente AMLO.* [Archivo de Vídeo].

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=J21odv5zEV8>

López, Y. (2019). Estimación de Vulnerabilidad por Inundación en Zonas Urbanas: Caso de Estudio de Subcuencas del Valle de México. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].

ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105129/Tesis_Yoandy_Lopez_noviembre_2019.pdf?sequence=1

Maná. (1992). ¿Dónde jugarán los niños? [Canción]. En *¿Dónde jugarán los niños?*. Warner Music.

https://music.youtube.com/watch?v=KNo2o_TJF0I&si=zOxoLzVhgiMtjvwP

Martínez, C. (11 de septiembre de 2023). *Tula de Allende: Cambiaron regleta de medición del puente Métlac. El Sol de Hidalgo.* <https://oem.com.mx/elsoldehidalgo/local/tula-de-allende-cambiaron-regleta-de-medicion-del-puente-metlac-17485475>

Mejía, J. (2019). Técnicas de fitorremediación como elementos de conformación de paisaje aplicados a sistemas lacustres. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. [Tesis Digital](#)

Mendoza, T. (2019). Forensic Investigation of Post-Flood Damage Data to Support Spatial Planning. [Tesis de Doctorado, Politecnico di Milano].

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHqK3DuImRAxV7L0QIHfVLHogQFnoECBgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.politesi.polimi.it%2Fretrieve%2Fa81cb05d-17ee-616b-e053->



[1605fe0a889a%2F2019_03_PhD_Mendoza.pdf&usg=AOvVaw2pTQeG5zB-ldXQh4XBgbkt&opi=89978449](#)

Navarro, S. (2010). Nivelación. Topografía II – Altimetría. [Archivo PDF].
<https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/unidad-i-altimetria1.pdf>

Nueva Escuela Mexicana. (2 de agosto de 2022). *Los climas del mundo*. Nueva Escuela Mexicana SEP-GOB. Recuperado el 2 de mayo de 2024.
<https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/detalle-ficha/4700/>

Oliver, A., Alcántara, I., Burton, I. y Lavell, A. (2016). *Investigación Forense de Desastres (FORIN): Un marco conceptual y guía para la investigación*, Integrated Research on Disaster Risk/Instituto de Geografía, UNAM, pp. 104. [PDF visualización del fichero Investigación forense de desastres](#)

Palacios, I. (2018). Aplicación del modelo de Christaller para la distribución espacial de supermercados. *MASKANA, Universidad de Cuenca*, 9(2), 9 - 16.
<https://doi.org/10.18537/mskn.09.02.02>

Pirani. (22 de abril de 2025). *Exposición al Riesgo: Gestión y estrategias eficaces*.
<https://www.piranirisk.com/es/blog/exposicion-al-riesgo-gestion-y-estrategias-eficaces>

PNUD. (2025). ¿Qué son los sistemas de alerta temprana y por qué son importantes para la acción climática? Climate Promise. [¿Qué son los sistemas de alerta temprana y por qué son importantes para la acción climática? | UNDP Climate Promise](#)

Protección Civil de Tula de Allende. (2023). *Plan especial Municipal ante temporada de ciclones 2023. Protección Civil y Bomberos Tula de Allende, Hgo. Coordinación de Planeación*. [Archivo PDF].
<https://tula.gob.mx/2023/Programa%20especial%20municipal%20lluvias%20y%20ciclones%202023.pdf>

Protección Civil de Veracruz. (2023). Recomendaciones y medidas de protección civil. [Archivo PDF] <http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wp->



[content/uploads/sites/5/2023/05/Avenidas-desbordamientos-e-inundaciones-Recpob.-2023-.pdf](#)

Protección Civil y Bomberos Tula de Allende. (2023). *Plan Especial Municipal ante temporada de ciclones 2022*. [Archivo PDF]. <https://tula.gob.mx/2023/Programa%20especial%20municipal%20lluvias%20y%20ciclones%202023.pdf>

Ramírez, A. y Herrera, A. (2015). Análisis Forense de Inundaciones: Una guía metodológica. *Tecnología y Ciencias del agua*, 6(1), 25-48. [Análisis forense de inundaciones: una guía metodológica](#)

Ramírez, P. (2022). *Ampliación del río Tula, una solución para la CDMX que afecta a Hidalgo*. <https://causanaturamedia.com/es/notas/ampliacion-del-rio-tula-una-solucion-para-la-cdmx-que-afecta-a-hidalgo>

Ready. (2024). *Inundaciones*. <https://www.ready.gov/es/inundaciones>

Renda, E., Rozas, M., Moscardini, O. y Torchia, N. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo, Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y catástrofes, Ministerio de Seguridad – Presidencia de la Nación. [Archivo PDF]. <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/Manual-elaboracion-mapas-riesgo.pdf>

SACMEX. (2024). Desafíos y logros de la gestión del agua en la capital. *H₂O*, (35), 1 -42. [H2O-35, abril 2024](#)

Sánchez, C. (1 de junio de 2025). Río Tula, uno de los desagües más importantes de la zona centro de México. *Gaceta AUEH*. <https://www.uaeh.edu.mx/gaceta/3/numero32/octubre/rio-tula.html>

Sánchez, C. (2025). *Río Tula, uno de los desagües más importantes de la zona centro de México*. *Gaceta de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. <https://www.uaeh.edu.mx/gaceta/3/numero32/octubre/rio-tula.html>



- Secretaria de Medio Ambiente y Recurso Naturales. (2015). Atlas digital geográfico. https://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/atlas2015/agua_rh.html
- Secretaria de Medio Ambiente. (2024). *Características de los tipos y subtipos de climas*. [Archivo PDF]. https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/06/Cuadro_6_Descripcion_de_los_Tipos_de_Climas.pdf
- Secretaria de Planeación, Desarrollo Regional y Metropolitano. (2011). Enciclopedia de los municipios del Estado de Hidalgo. [Archivo PDF]. <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tula-De-Allende-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>
- SEMARNAT. (2007). El Túnel Emisor Oriente duplicará la capacidad del drenaje profundo del Valle de México Conagua. [Archivo PDF]. <https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Folletería/TunelEmisorOriente.pdf>
- Sondex. (15 de julio de 2024). *La Importancia del Desazolve*. <https://www.sondex.com.mx/post/la-importancia-del-desazolve>
- Tegos, A., Ziogas, A., Bellos, V. y Tzimas, A. (2022). Forensic Hydrology: A Complete Reconstruction of an Extreme Flood Event in Data-Scarce Area. *Hydrology*, 9(5), 93. <https://doi.org/10.3390/hydrology9050093>
- Tzu Chi. (1 de mayo de 2025). *Palabras de nuestro CEO*. <https://global.tzuchi.org/words-from-our-ceo>
- UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2021). Inundaciones en el valle del mezquital, una responsabilidad compartida. [Gaceta :: Inundaciones en el Valle del Mezquital, una responsabilidad compartida \(uaeh.edu.mx\)](http://gaceta.uaeh.edu.mx/Inundaciones-en-el-Valle-del-Mezquital-una-responsabilidad-compartida)
- Vázquez, R., Manrique, I. y Ramos, R. (2014). SIG aplicado a la evaluación de vulnerabilidad por inundación en la ciudad de Tixtla, Guerrero. México. *Tecnologías*



de la información para nuevas formas de ver el territorio: XVI Congreso Nacional de Tecnologías de Información Geográfica, 153-162.
<https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/7d2d75cb-ff28-4f1f-8e4b-c966f2106441/content>

Zrinjski, M., Barković, D. y Baričević, S. (2018). Accuracy Analysis of Geometric, Trigonometric and GNSS Height Difference Levelling.
https://www.researchgate.net/publication/326560294_Accuracy_Analysis_of_Geometric_Trigonometric_and_GNSS_Height_Difference_Levelling



10. Anexos

10.1. Tabla de la profundidad de inundación en Tula de Allende con coordenadas.

Tabla 25. Coordenadas y profundidades de inundación de Tula de Allende

ID	depth	X	Y
1	0	464661.869	2216309
2	0	464634.503	2216312.22
3	0	464681.276	2216307.91
4	0	464704.664	2216306.28
5	0	464726.566	2216308.35
6	0	464744.478	2216306.2
7	0	464771.851	2216306.67
8	0	464796.736	2216307.15
9	0	464817.133	2216302.9
10	0	464831.949	2216314.53
11	0	464833.338	2216364.3
12	0	464832.741	2216387.83
13	0	464816.395	2216429.45
14	0	464788.397	2216444.51
15	0	464749.776	2216463.33
16	0	464730.164	2216483.15
17	0	464737.426	2216497.72
18	0	464749.754	2216502.97
19	0	464791.064	2216504.46
20	0	464821.822	2216517.3
21	0	464832.67	2216529.26
22	0	464841.113	2216557.5
23	0	464844.935	2216602.23
24	0	464847.47	2216625.27
25	0	464834.447	2216645.7
26	0	464831.762	2216702.65
27	0	464859.178	2216724.32
28	0	464892.072	2216804.31
29	0	464900.146	2216859.59
30	0	464939.111	2216932.71
31	0	464963.783	2216970.39
32	0	464995.274	2217039.84
33	0	465001.382	2217107.76
34	0	464946.761	2217152.51
35	0	464888.537	2217202.97
36	0	464876.01	2217209.95
37	0	464870.097	2217239.45
38	0	464861.585	2217263.06
39	0	464857.835	2217288.63



40	0	464861.36	2217309.42
41	0	464871.363	2217334.16
42	0	464868.185	2217362.6
43	0	464872.228	2217393.14
44	0	464872.256	2217407.36
45	0	464872.586	2217426.85
46	0	464864.192	2217459.52
47	0	464842.887	2217506.43
48	0	464808.138	2217549.16
49	0	464779.325	2217573.97
50	0	464717.667	2217598.85
51	0	464699.572	2217599.75
52	0	464683.962	2217607.58
53	0	464666.657	2217613.93
54	0	464648.057	2217619.87
55	0	464610.43	2217639.17
56	0	464578.114	2217653.98
57	0	464549.284	2217670.62
58	0	464531.894	2217683.83
59	0	464527.192	2217696.47
60	0	464514.531	2217710.98
61	0	464505.898	2217732.8
62	0	464480.951	2217762.08
63	0	464486.324	2217834.75
64	0	464506.594	2217891.58
65	0	464509.989	2217909.35
66	0	464516.244	2217940.57
67	0	464518.799	2217973.48
68	0	464536.285	2218007.67
69	0	464545.696	2218047.15
70	0	464532.185	2218132.76
71	0	464514.799	2218147.93
72	0	464485.896	2218168.99
73	0	464440.455	2218214.11
74	0	464403.217	2218255.26
75	0	464388.35	2218285.31
76	0	464323.424	2218292.55
77	0	464249.515	2218286.39
78	0	464212.889	2218261.97
79	0	464186.681	2218221.74
80	0	464143.335	2218195.76
81	0	464123.152	2218181.58
82	0	464076.123	2218180.1
83	0	464040.3	2218183.33
84	0	464014.368	2218199.97
85	0	463969.63	2218223.24
86	0	463890.082	2218258.16
87	0	463863.271	2218287.71
88	0	463830.448	2218297.25



89	0	463812.562	2218310.98
90	0	463798.676	2218334.18
91	0	463774.854	2218364.78
92	0	463764.965	2218395.34
93	0	463765.072	2218446.95
94	0	463780.055	2218473.25
95	0	463783.18	2218540.66
96	0	463804.155	2218576.43
97	0	463825.113	2218604.82
98	0	463835.172	2218656.41
99	0	463677.931	2218658.84
100	0	463667.933	2218636.74
101	0	463660.885	2218597.79
102	0	463650.856	2218560.94
103	0	463639.797	2218507.25
104	0	463624.713	2218432.5
105	0	463614.649	2218378.8
106	0	463626.521	2218345.07
107	0	463625.462	2218314.53
108	0	463631.307	2218253.43
109	0	463663.106	2218230.19
110	0	463695.919	2218215.38
111	0	463720.754	2218193.21
112	0	463742.573	2218156.3
113	0	463755.431	2218117.3
114	0	463745.407	2218077.1
115	0	463733.329	2218012.35
116	0	463740.695	2217964.94
117	0	463751.024	2217906.46
118	0	463729.989	2217841.73
119	0	463692.568	2217794.41
120	0	463653.287	2217729.98
121	0	463647.542	2217715.41
122	0	463650.742	2217699.08
123	0	463669.385	2217689.82
124	0	463696.735	2217680.02
125	0	463713.445	2217674.95
126	0	463728.958	2217668.6
127	0	463744.072	2217661.83
128	0	463758.99	2217656.11
129	0	463768.333	2217650.19
130	0	463778.469	2217642.38
131	0	463789.601	2217634.98
132	0	463802.728	2217629.69
133	0	463812.869	2217624.61
134	0	463825.203	2217620.79
135	0	463849.321	2217605.6
136	0	463874.128	2217599.2
137	0	463901.731	2217591.24



138	0	463932.321	2217584.07
139	0	463960.677	2217579.27
140	0	463997.982	2217570.51
141	0	464034.546	2217564.11
142	0	464068.864	2217554.56
143	0	464104.664	2217539.48
144	0	464133.003	2217526.78
145	0	464156.869	2217516.46
146	0	464176.991	2217500.62
147	0	464188.88	2217473.74
148	0	464283.354	2217313.19
149	0	464313.204	2217309.18
150	0	464340.058	2217299.64
151	0	464399.744	2217283.72
152	0	464422.721	2217274.5
153	0	464450.069	2217263.25
154	0	464491.717	2217248.03
155	0	464521.568	2217244.02
156	0	464546.442	2217240.02
157	0	464574.423	2217234.04
158	0	464604.898	2217230.68
159	0	464629.132	2217217.47
160	0	464638.42	2217196.39
161	0	464633.387	2217168.75
162	0	464622.767	2217146.39
163	0	464614.633	2217123.36
164	0	464610.842	2217094.41
165	0	464608.298	2217066.76
166	0	464610.142	2217055.57
167	0	464609.525	2217024.61
168	0	464613.149	2216970.89
169	0	464616.776	2216918.74
170	0	464621.896	2216866.6
171	0	464621.039	2216812.09
172	0	464606.672	2216721.28
173	0	464624.516	2216685.69
174	0	464636.997	2216669.18
175	0	464651.885	2216648.61
176	0	464662.288	2216624.89
177	0	464658.742	2216593.82
178	0	464651.721	2216567.51
179	0	464641.704	2216535.93
180	0	464631.696	2216509.09
181	0	464628.169	2216487.51
182	0	464631.119	2216470.12
183	0	464640.532	2216448.51
184	0	464654.417	2216424.26
185	0	464670.295	2216400.53
186	0	464673.587	2216392.61



187	0	464678.03	2216374.69
188	0	464676.02	2216365.22
189	0	464667.544	2216357.86
190	0	464658.067	2216347.35
191	0	464649.342	2216339.73
192	0	464635.642	2216332.91
193	0	464626.415	2216322.66
194	0	464622.165	2216312.93
195	0	464448.562	2218092.35
196	0	464913.466	2217184.79
197	0	464934.329	2217165.79
198	0	464965.127	2217137.29
199	0	464984.008	2217122.51
200	0	464992.896	2217087.73
201	0	464991.857	2217065.61
202	0	464986.802	2217026.65
203	0	464973.823	2217006.67
204	0	464951.835	2216961.42
205	0	464930.838	2216914.06
206	0	464922.821	2216886.7
207	0	463744.239	2218055.62
208	0	463742.212	2218037.71
209	0	463752.943	2217933.42
210	0	463738.113	2217980.85
211	0	463750.845	2217881.81
212	0	463716.882	2217821.85
213	0	463745.834	2217864.97
214	0	463990.456	2217587.34
215	0	463977.569	2217612.65
216	0	463962.688	2217635.85
217	0	463952.785	2217660.09
218	0	463924.967	2217684.38
219	0	463890.191	2217712.89
220	0	463872.339	2217743.47
221	0	463847.536	2217781.44
222	0	463825.651	2217786.75
223	0	464002.518	2217654.91
224	0	464031.143	2217660.12
225	0	464059.76	2217661.38
226	0	464073.434	2217656.08
227	0	464098.278	2217637.6
228	0	464125.635	2217630.96
229	0	464130.571	2217611.2
230	0	464142.971	2217591.43
231	0	464151.618	2217561.13
232	0	464131.739	2217574.33
233	0	464103.193	2217607.31
234	0	464094.514	2217621.81
235	0	464052.238	2217633.74



236	0	464011.183	2217633.83
237	0	464033.539	2217615.35
238	0	464065.864	2217604.75
239	0	464083.252	2217590.23
240	0	464141.3	2217686.33
241	0	464151.686	2217654.71
242	0	464162.055	2217615.2
243	0	#iNUM!	#iNUM!
244	0	464182.148	2217706.26
245	0	464188.046	2217670.44
246	0	464190.928	2217619.88
247	0	464185.865	2217577.76
248	0	464190.969	2217391.37
249	0	464177.957	2217416.41
250	0	464181.752	2217446.68
251	0	464189.065	2217372.94
252	0	464194.623	2217353.18
253	0	464203.305	2217339.99
254	0	464225.042	2217322.83
255	0	464244.923	2217310.28
256	0	464270.427	2217310.23
257	0.2	464353	2218262
258	0.3	464108	2218175
259	0.3	464917.787	2216920.15
260	0.3	464965.805	2217040.91
261	0.3	464927.957	2217152.37
262	0.333	464049.314	2217784.37
263	0.333	464207.491	2217749.28
264	0.333	464114.19	2217752.64
265	0.333	464095.532	2217754.25
266	0.333	464038.091	2217771.75
267	0.5	463705	2218271
268	0.5	464499.854	2218110.16
269	0.5	463778.026	2218030.27
270	0.5	463729.803	2217813.39
271	0.5	464202.188	2217832.77
272	0.5	464151.304	2217771.78
273	0.555	463936.002	2217706.26
274	0.666	463814.938	2218072.32
275	0.666	463829.38	2217837.41
276	0.666	463728.759	2217790.22
277	0.8	464068	2217718
278	0.888	463947.968	2217717.3
279	0.888	463964.405	2217724.37
280	1	463784.29	2218333.47
281	1	463916.92	2218219.44
282	1	464814.011	2216542.76
283	1	464814.455	2216392.67
284	1	464724.272	2216464.73



285	1	464702.469	2216388.15
286	1	463988.399	2217776.46
287	1	463920.633	2217854.81
288	1	463953.291	2217764.68
289	1	464023.18	2217780.47
290	1	464559.337	2217338.28
291	1.34	464399	2218235
292	1.4	464178	2218173
293	1.46	464461	2218113
294	1.46	464399	2218235
295	1.5	464890.765	2217032.11
296	1.5	464843.93	2217252.08
297	1.5	464831.535	2216718.88
298	1.55	463864	2218254
299	1.555	463937.311	2217978.79
300	1.6	463884	2218224
301	1.63	464428	2217342
302	1.666	464539.832	2217402.19
303	1.72	464156	2218020
304	1.86	464275	2218200
305	1.888	464368.616	2218091.91
306	1.888	464297.753	2218115.75
307	2	464504.396	2218018.78
308	2	464142.125	2218081.79
309	2	464814.179	2217182.36
310	2	464792.677	2216884.59
311	2	464684.015	2216491.67
312	2	464776.288	2216345.35
313	2	464671.93	2216422.18
314	2	464639.645	2216699.52
315	2	464632.668	2216941.13
316	2	463975.357	2217967.66
317	2	463938.644	2217901.38
318	2	464125.589	2218062.93
319	2	464105.19	2217943.69
320	2	464358.706	2218051.66
321	2	464231.035	2218037.7
322	2	464223.225	2217868.67
323	2	464244.434	2218019.5
324	2	464279.993	2217613.37
325	2	464362.502	2217320.4
326	2	464658.068	2217276.64
327	2.05	463965	2218192
328	2.05	464066.983	2218142.64
329	2.099	463875.392	2218068.51
330	2.111	463843.357	2218098.59
331	2.12	463844	2218250
332	2.15	464344	2217394
333	2.333	464226.434	2217977.67



334	2.333	464242.54	2217823.6
335	2.333	464317.227	2217843.99
336	2.333	464234.614	2217962.65
337	2.333	464283.046	2217919.89
338	2.333	464272.406	2217827.49
339	2.5	463714.499	2218632.88
340	2.54	463763.62	2218204.22
341	2.555	463986.633	2218006.34
342	2.555	464026.075	2217947.8
343	2.555	463998.202	2217824.63
344	2.555	464097.104	2218004.53
345	2.555	464076.752	2217908.2
346	2.555	464062.395	2217823.71
347	2.555	464066.1	2217810.27
348	2.555	464417.594	2217492.23
349	2.555	464444.964	2217492.17
350	2.6	464358	2217798
351	2.6	464068	2217943
352	2.6	464228	2217391
353	2.6	464631	2216736
354	2.61	464049	2217892
355	2.65	464378	2217511
356	2.666	464035.756	2217936.72
357	2.666	464040.93	2217912.22
358	2.666	464379.985	2217931.94
359	2.666	464386.474	2217758.79
360	2.666	464405.968	2217862.11
361	2.666	464356.987	2217940.54
362	2.666	464671.254	2217423.25
363	2.666	464478.654	2217540.82
364	2.7	464745	2217401
365	2.74	463792	2218307
366	2.75	464496.181	2217629.26
367	2.777	464679.086	2216638.62
368	2.777	464644.486	2217555.32
369	2.8	463818.208	2218251.51
370	2.85	464705	2216760
371	2.9	463869.145	2218217.96
372	3	464228	2217391
373	3	463693.453	2218562.61
374	3	464025.174	2218078.08
375	3	464691.349	2217551.45
376	3	464809.324	2217444.57
377	3	464818.118	2217285.04
378	3	464759.661	2216985.24
379	3	464801.794	2216778.19
380	3	464785.067	2216627.34
381	3	464665.504	2216566.76
382	3	464752.4	2216715.88

383	3	464704.805	2216806.03
384	3.12	464273	2217378
385	3.12	463672.306	2218324.49
391	3.455	464748.332	2217228.31
392	3.455	464723.827	2217045.61
393	3.455	464698.728	2216938.49
394	3.455	464725.405	2216841.28
395	3.455	464780.647	2216656.58
396	3.455	464674.09	2217121.29
397	3.455	464652.827	2216942.8
398	3.455	464702.104	2217255.02
399	3.455	464742.483	2217288.91
386	3.5	464741.096	2217033.47
387	3.5	464796.526	2216756.87
388	3.666	464239.363	2217456.52
389	3.666	464249.176	2217388.04
390	3.85	464253	2217372

Figura 47. Marcas de humedad del nivel del agua a y b



Nota: Foto en campo en marzo de 2025.

Figura 48. Recolección de datos in situ



Nota: Intersección del traslado del nivel con el suelo.

Figura 49. Foto con el equipo de inundaciones en el Centro de Tula de Allende



Nota: Foto en campo en marzo de 2025.