



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**COLEGIO DE INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA**

TESIS

EVALUACIÓN DE LA ZONA URBANA EN RIESGO DE INUNDACIÓN DEL
MUNICIPIO DE CÁRDENAS, TABASCO MEDIANTE EL USO
DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Que para obtener el Título de:

INGENIERO TOPÓGRAFO GEODESTA

Presenta:

Elisa López Gamas

Asesor:

M.I. José Abraham Torres Méndez

PUEBLA, PUE.

MAYO 2022

Agradecimientos

Miro hacia atrás y me doy cuenta de la madurez y conocimiento que he adquirido a lo largo de este proyecto, el amor e interés sobre el tema me impulsaron a conseguir lo que un día soñé como algo imposible.

Sin embargo, me siento agradecida y suspiro de felicidad porque todo el esfuerzo de mis padres se ve reflejado en cada éxito de mi carrera profesional, su apoyo y amor incondicional me ayudaron a forjar mi carácter.

Le dedico este trabajo a mis hermanos, como inspiración para lograr todo lo que se propongan, una muestra de que todo es posible.

Durante el recorrido muchas veces queremos darnos por vencidos y dejar a un lado todo el esfuerzo que hemos puesto para lograr nuestros objetivos, por eso agradezco profundamente a Fidel quien nunca permitió que me diera por vencida y me alentó cada día a cumplir esta meta.

Agradezco el gesto de solidaridad y complicidad entre mis compañeros de carrera, quienes hicieron agradable la estancia en la universidad, sobre todo mi amigo César Méndez por compartir su amistad y apoyo siempre.

Al M.I. J. Abraham Torres Méndez, una gran persona, quien desde el primer momento que me acerqué a él no me dejó sola y me mostró su apoyo, paciencia y disponibilidad para realizar este trabajo.

A cada uno de los profesores de carrera que nunca dudaron en compartir sus conocimientos cada vez que recurrí a ellos: M.I. Marcos Arellano Díaz, Ing. Joel Panohaya Analco, M.C. Máximo Ávila Cruz, M.I. Juan J. Benítez Suárez, M.C. José de la Luz Ramírez Mendoza, M.I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora, Ing. J. Irving Carcaño Soriano.

A mis amigos de la Talavera que siempre me recibieron con alegría y me dejaron trabajar con ellos a pesar de ser estudiante.

ÍNDICE

M.I. José Abraham Torres Méndez	1
Agradecimientos	2
Índice de Ilustraciones.....	I
Índice de Tablas	III
Planteamiento del Problema.....	1
Marco Teórico.....	3
Justificación.....	5
Hipótesis	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos:.....	6
Capítulo I. Zona de Estudio.....	7
1.1 Ubicación Geográfica del Estado de Tabasco, México.....	7
1.2 Localización Geográfica de Cárdenas, Tabasco	8
1.3 Hidrología.....	9
1.3.1 Cuencas en Tabasco.....	11
1.3 Clima	12
1.4 Precipitación.....	13
1.5 Geología	15
1.6 Uso de suelo y Vegetación	17
1.7 Población y Economía.....	19
1.8 Reseña Histórica de Tabasco.....	21
1.8.1 Antecedentes de inundaciones en Tabasco.....	22
1.8.2 Inundaciones históricas en el estado de Tabasco.....	23
Capítulo II. La Ingeniería Topográfica desde los Sistemas de Información Geográfica	25
2.1 Generalidades de la Ingeniería Topográfica.....	25
2.2 Geodesia	27
2.2.1 Sistemas de Coordenadas	27
2.2.2 Sistemas de referencia	29
2.3 Sistemas de Información Geográfica	31
2.3.2 Componentes fundamentales de un SIG.....	33
2.3.4 Formatos de datos geográficos	36
2.3.5 Softwares utilizados para el manejo de los SIG	37

2.3.6 Modelos Digitales de Elevación	39
2.4 Hidrología.....	41
2.4.1 Cuenca hidrológica.....	43
Capítulo III. Factores relacionados con los desastres naturales	48
3.1 Riesgo.....	48
3.2 Vulnerabilidad.....	52
3.3 Peligro	54
3.3 Desastres naturales	54
3.4 Cambio climático	58
3.4.1 Inundaciones.....	61
3.5 Marco normativo relativo al estudio de riesgos hidrológicos en Cárdenas, Tabasco	64
3.5.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	65
3.5.2 Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento	65
3.5.3 Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	65
3.5.4 Ley de Vivienda.....	66
3.5.5 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	67
3.5.6 Ley General de Protección Civil	67
3.5.7 Ley General de Cambio Climático	68
3.5.8 Ley de Expropiación.....	69
3.5.9 Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Tabasco.....	69
3.5.10 Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024	70
3.5.11 Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021.....	71
3.5.12 Reglamento de Construcciones del estado de Tabasco	71
Capítulo IV. Análisis espacial de la zona urbana de Cárdenas en riesgo de inundación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.....	72
4.1 Particularidades Generales de la Zona de Estudio	72
4.1.1 Análisis del municipio de Cárdenas	74
4.1.2 Hidrología e Hidrografía	77

4.2 Análisis e interpretación del Peligro por inundación	77
4.2.1 Diseño de Gasto.....	78
4.2.2 Hidrograma Unitario Adimensional	80
4.2.3 Simulación del Hidrograma Unitario Adimensional.....	81
4.3 Análisis de la Vulnerabilidad	82
4.3.1 Clasificación del tipo de viviendas.....	83
4.3.2 Porcentaje de daños de acuerdo con el tipo de bienes dentro de una vivienda	84
4.4 Análisis del Riesgo.....	87
Capítulo V. Mapas temáticos de Cárdenas, Tabasco	90
5.1 Análisis del mapa de Peligro por inundación.....	90
5.1.1 Mapa de Peligro por inundación.....	91
5.2 Análisis del mapa de Vulnerabilidad por inundación	92
5.2.1 Mapa de Vulnerabilidad	93
5.3 Análisis del mapa de Riesgo por inundación	94
5.3.1 Mapa de Riesgo	96
Conclusión y Recomendaciones.....	97
Conclusiones.....	97
Recomendaciones	99
Anexos.....	100
Bibliografía.....	102

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Subregiones del Estado de Tabasco. INEGI, 2014.	8
Ilustración 2. Localización del municipio de Cárdenas, Tabasco, México. Imagen satelital de Google Earth, 2020.	9
Ilustración 3. División hidrográfica de subcuencas de Tabasco, México. SIATL, 2010.	11
Ilustración 4. Comparación de la precipitación media anual de Tabasco con datos de lustro-año. Servicio Meteorológico Nacional, 2020.	13
Ilustración 5. Precipitación acumulada en el sureste de la República Mexicana debido al paso del huracán Eta en noviembre del 2020. INEGI, 2021.	14
Ilustración 6. Temperatura y Precipitación media de la zona urbana de Cárdenas, Tabasco, de los años 1955 al 2019. CONAGUA, 2020.	14
Ilustración 7. Mapa Edafológico. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.	16
Ilustración 8. Mapa de Uso de Suelo. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.	17
Ilustración 9. Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal al 1er Trimestre de 2020. INEGI, 2021.	20
Ilustración 10. Composición de las desviaciones antropogénicas en el río Mezcalapa realizadas a partir del municipio de Huimanguillo. ArcGIS, 2021.	22
Ilustración 11. Cuadro Sinóptico de algunas disciplinas relacionadas con la Ingeniería Topográfica. Técnicas modernas en Topografía, 2002.	26
Ilustración 12. Representación de la Latitud y Longitud. Elaboración propia, 2021.	28
Ilustración 13. Representación del Sistema de Coordenadas Polares. Elaboración propia, 2021.	28
Ilustración 14. Integración de la función de los SIG. CIC Consulting Informático, 2021.	32
Ilustración 15. Ejemplificación de cómo se representa una superficie a través de los modelos Ráster y Vectorial. Uribe, 2014.	35
Ilustración 16. Aplicaciones para el manejo de SIG, 2021. Elaboración propia, 2021.	39
Ilustración 17. Modelo digital de Terreno. INEGI, 2021.	40
Ilustración 18. Modelo Digital de Superficie. INEGI, 2021.	41
Ilustración 19. Ejemplo de un Hidrograma. Curso de Hidrología Aplicada, 2014.	46
Ilustración 21. Fenómenos naturales en el mundo. Saldaña, 2007.	55

Ilustración 22. Promedio del cambio climático en el mundo. IRC Germanwatch, 2021.	56
Ilustración 23. Componentes atribuidos al cambio climático. Fuente: https://cambioclimatico.gob.mx/ , 2021.	58
Ilustración 24. Comparación del aumento del calentamiento global en los últimos 20 años (lado izquierdo año 2000 y lado derecho año 2020). Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2021.....	59
Ilustración 25. Anomalía de la temperatura a nivel global. Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2021.	60
Ilustración 26. Extracción de agua pluvial en la colonia El Palmar en Cárdenas Tabasco. Trabuco Noticias, 2020.	62
Ilustración 27. Desbordamiento del Río Santa Ana en la Ranchería El Golpe, Cárdenas, Tabasco. Trabuco Noticias, 2021.....	63
Ilustración 28. Inundación como consecuencia del desagüe de la presa "Peñitas" en noviembre del 2020. Periódico La jornada, fotografía por Gerardo Zentella Falcón, 2020.....	64
Ilustración 29. Mapa de curvas de nivel del estado de Tabasco. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.....	72
Ilustración 30. Mapa de pendientes del estado de Tabasco. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.....	73
Ilustración 31. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Heroica Cárdenas en los años de 1984 a 2021. Google Earth, 2021.....	74
Ilustración 32. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Elaboración propia, 2021.....	75
Ilustración 33. Mapa de elevaciones. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.	76
Ilustración 34. Mapa de la Red hidrográfica de subcuencas. Elaboración propia con base de datos del INEGI, 2021.....	77
Ilustración 35. Delimitación del antiguo Río Seco. Elaboración propia a través de ArcGIS, 2021.	78
Ilustración 36. Representación gráfica del Gasto pico del caudal en m ³ /hr para un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.	80
Ilustración 37. Identificación del eje central del antiguo cauce dentro de la zona de estudio mediante el software HEC-RAS. Elaboración propia, 2021.....	81
Ilustración 38. Portal SCITEL del Censo de Población y Vivienda 2020. INEGI, 2020.	82

Ilustración 39. Inundación en la calle Central Camionera a un costado de la Central de Autobuses de la ciudad de Cárdenas, Tabasco, (esta área forma parte del antiguo Rio Seco). El Heroico Cárdenas, 2020.....	90
Ilustración 40. Mapa de Peligro con un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.	91
Ilustración 41. Vivienda de tipo III expuesta ante una inundación. El Heroico Cárdenas, 2020.	92
Ilustración 42. Mapa de Vulnerabilidad debido a inundaciones. Elaboración propia con datos del INEGI, 2020.....	93
Ilustración 43. Socavón en la carretera Villahermosa-Cárdenas. Trabuco Noticias, 2020.....	95
Ilustración 44. Socavón en la colonia José Eduardo en Cárdenas, Tabasco. Fuente propia de la investigación, 2020.	95
Ilustración 45. Mapa de Riesgo para un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.	96

Índice de Tablas

Tabla 1. Temperatura media del estado de Tabasco del año 1985 hasta el año 2020. Servicio Meteorológico Nacional, 2020.....	12
Tabla 2. Composición Geológica del Estado de Tabasco, INEGI, 2020.....	15
Tabla 3. Clasificación del tipo de vegetación que cubre al estado de Tabasco. INEGI, 2021.	18
Tabla 4. Comparación de algunos softwares utilizados para el análisis de información geográfica.	38
Tabla 5. Distribución del agua en el planeta Tierra. Germán Sáenz Monsalve, 1999.....	42
Tabla 6. Fórmulas de Riesgo. Revista “Recursos Naturales y Sociedad”, 2018.	50
Tabla 7. Clasificación del índice de Riesgo. CENAPRED, 2014.....	51
Tabla 8. Características de las viviendas en México. CENAPRED, 2007.	53
Tabla 9. Clasificación de pendientes en porcentaje. INEGI, 2021	73
Tabla 10. Características de la mancha urbana de Cárdenas, Tabasco. Elaboración propia, 2021.	75
Tabla 11. Materiales usualmente utilizados para la construcción de viviendas en México. INEGI, 2021.....	83

Tabla 12. Grado de Vulnerabilidad. CENAPRED, 2021.....	83
Tabla 13. Vulnerabilidad para vivienda de tipo I. CENAPRED, 2011.	84
Tabla 14. Vulnerabilidad para vivienda de tipo II. CENAPRED, 2011.	84
Tabla 15. Vulnerabilidad para vivienda de tipo III. CENAPRED, 2011.....	85
Tabla 16. Vulnerabilidad para vivienda de tipo IV. CENAPRED, 2011.	85
Tabla 17. Grado de Riesgo representado en porcentajes de acuerdo al tipo de vivienda, para un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.	87
Tabla 18. Índice de Riesgo de por AGEB. Elaboración propia, 2021.....	88
Tabla 19. Parámetros de Riesgo. CENAPRED, 2011.	89
Anexo1. Tabla 20. Características del Hidrograma Unitario Adimensional.	100

Planteamiento del Problema

Las inundaciones son un fenómeno natural que se observa en todo el mundo no importa en que continente nos encontremos están presentes ya sea de manera natural o incluso por cuestiones antropogénicas. Debido al comportamiento de los diversos fenómenos naturales se ha detectado que el planeta cumple con ciertos ciclos naturales en los que se demuestra su aparición en ciertas temporadas del año como lo son incendios, sequías, inundaciones, sismos, huracanes, etc., sin embargo, en las últimas décadas el patrón climático se ha visto afectado de manera poco habitual por lo que se le ha atribuido este cambio al calentamiento global.

Se estima que alrededor del mundo han sido afectadas más de 250 millones de personas en los últimos 20 años debido a la falta de información acerca del territorio en el que pueden crear asentamientos, asimismo se le suma la alta deforestación de la vegetación y erosión de suelos que provoca catástrofes en periodos de lluvia como fenómenos meteorológicos de manera aleatoria.

Al menos el 90% de las inundaciones que sucedieron durante el año 2020 tuvieron lugar en Asia siendo la India el país más afectado con 5 millones de personas seguido por países como Bangladesh, China y Vietnam. Sin embargo, no deja de tener importancia lo que ocurre en países de América Latina, lo cual mostró un alto índice de vulnerabilidad durante el paso del huracán Eta afectando a más de 7 países en los que destacan Honduras, Guatemala, Nicaragua, Uruguay, Belice, Costa rica, Panamá, Colombia, El Salvador, entre otros menos afectados siendo México uno de estos.

En México se creó una asociación encargada de monitorear el comportamiento de diferentes fenómenos naturales llamado Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el cual se encarga de realizar mapas de riesgo y vulnerabilidad ante diversos desastres naturales que permiten al gobierno y a la población tener conocimiento de los puntos críticos que son afectados, sin embargo la información que se comparte hace un énfasis general dejando un vacío de información en distintos estados y municipios que no son considerados vulnerables pero que realmente se encuentran aquejados por la periodicidad con la que acontecen los fenómenos naturales.

En México existen algunos estados con mayor probabilidad a ser afectados por inundaciones en los que se encuentra Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Tabasco, este último se ha visto afectado mayormente por factores naturales meteorológicos, hidrológicos, alteraciones por el hombre, la altura con respecto al mar, el insuficiente sistema de drenaje, el acrecentamiento del nivel del mar entre otros, no es el único estado que enfrenta estos fenómenos pero es uno de los principales en mostrar afectaciones frecuentes en cuanto a inundaciones.

El libro “Reseñas de Tabasco” (Palafox, 2019) habla sobre distintos hechos históricos del estado de Tabasco donde se puede encontrar información sobre las inundaciones más importantes por las que ha atravesado el estado y datan de 1782. Recientemente se ha observado una mayor incidencia de este fenómeno debido a las temporadas de lluvias que como mencionamos anteriormente se le atribuyen al comportamiento del cambio climático y como consecuencia afecta a la mayor parte de sus municipios dentro de los que se encuentra Cárdenas, uno de los municipios más importantes del estado.

El municipio de Cárdenas se ve afectado en temporadas de lluvias debido al sendero que atraviesa la ciudad como marca de un antiguo río que fue desviado y muestra rastros de agua que sobresalen en temporada de lluvias lo cual afecta a la población que se encuentra situada dentro de las zonas donde transitaba el río y a sus alrededores, lo que ocasiona pérdidas materiales a la población

Debido a la falta de información sobre las zonas de riesgo ante inundaciones dentro del municipio, la población padece cada año las consecuencias de este fenómeno que ocurre de forma natural y no dejará de suceder, al contrario, existe la posibilidad que aumente el número de incidencia y la magnitud en la que se presente, sin embargo no hay un mapa de riesgo que muestre a la población el grado de exposición en el que se encuentran tanto sus viviendas como el municipio en general; asimismo las recomendaciones necesarias que deben seguir para aminorar pérdidas tanto materiales como humanas.

Marco Teórico

De acuerdo con el Federal Council for Science and Technology (1962) la hidrología trata sobre el agua y la distribución sobre la Tierra, sus propiedades físicas y químicas, como influye sobre el medio ambiente y la relación con los seres vivos. Cuando se trata de hidrología el enfoque principal está en el ciclo hidrológico debido a que representa el comportamiento del agua dentro del planeta como consecuencia se han originado diversas derivaciones que estudian desde su punto de vista su proporción y características, cada una de ellas en sus tres fases: líquido, sólido y gaseoso, dentro de estas ramas se introducen ciencias como la meteorología, climatología, hidrometeorología, hidrografía, oceanografía y así un sinnúmero de ramas que se dedican a estudiar este recurso hídrico.

En México existen 446,777 millones de metros cúbicos de agua de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de los cuales el 67% se encuentra en el sureste y el 33% abastece el centro, norte y noreste del país; mientras que en el centro, norte y noreste de la república mexicana la población debe ser consciente del uso racional del agua, en la parte del sureste la situación es preocupante debido al exceso que existe en el territorio provocando repetidas inundaciones.

Las inundaciones son un fenómeno natural producido por cuestiones naturales como la precipitación, deshielo y marea alta, o no naturales ocasionado por la rotura o desfogue de presas y desviación de ríos; sin embargo en las últimas décadas se ha relacionado el incremento del cambio climático con los acontecimientos de este fenómeno que si bien se consideraba una ocurrencia natural, hoy en día se atribuye a la deforestación y degradación de suelos como consecuencia de las actividades antropogénicas que ha provocado el ser humano lo cual va acompañado de una deficiente planeación y estudios hidrológicos para la ejecución de proyectos que eviten daños a la población que habita en el planeta.

Para el análisis del comportamiento del agua se aplican técnicas y conocimientos de la Ingeniería Topográfica que permite la caracterización de los suelos, es decir representar elementos de la superficie terrestre para identificar la manera en la que se desplaza el agua y los componentes por los que se podría ver afectado, por lo que realizar un modelo digital de elevación del terreno mediante la interpolación de las curvas de nivel es un producto necesario para interpretar un mapa topográfico que permita la ejecución de estudios hidrológicos.

A través de la aplicación de Sistemas de Información Geográfica se pueden integrar, interpretar y analizar datos que permiten, en conjunto con la geoestadística, la modelización espacial del comportamiento de fenómenos relacionados con la climatología, biología, hidrología, agricultura y una multitud de ámbitos profesionales que requieren estimar valores con base a otros ya conocidos y obtener productos que permiten ejecutar predicciones y simulaciones de sucesos importantes en cualquier ciencia; al mismo tiempo las técnicas que ofrece la Percepción Remota son de utilidad para analizar áreas y objetos de la superficie terrestre que no se pueden observar a simple vista si no a través de fotografías e imágenes satelitales.

Consecuentemente los resultados que se obtienen del procesamiento de datos mediante los SIG y la Percepción Remota pueden ser interpretados a partir de la Cartografía que permite la representación de valores, datos e información sobre una superficie terrestre mediante mapas o planos georreferenciados a las diferentes proyecciones cartográficas que son utilizadas actualmente alrededor del mundo debido a la forma irregular de la Tierra.

Por otra parte, las ciencias mencionadas en los párrafos anteriores han sido aplicadas en México a través del CENAPRED para difundir información sobre el comportamiento de los fenómenos naturales en el país como sismos, actividad volcánica, inundaciones, incendios entre otros, por esta razón comparte mapas de riesgo de diferentes estados de la república mexicana que evidencian estos desastres.

Para el tema de estudio se aplicarán los procedimientos que comparte esta corporación pública que permita la creación de mapas de riesgos relacionados con las inundaciones, aplicando las metodologías descritas que se comparten en el manual “Metodología para la realización de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas” al estado de Tabasco, que abarca desde el análisis hasta la interpretación con aplicación de métodos tecnológicos.

Aun cuando ya existen mapas de riesgo que exteriorizan el riesgo de inundación en algunos municipios del estado de Tabasco, se pretende recopilar la información necesaria para aplicar la metodología correspondiente especialmente a la zona urbana del municipio de Cárdenas que permita crear un mapa donde se exhiba la vulnerabilidad y el riesgo al cual se encuentra expuesta la población.

Justificación

Actualmente el desarrollo de la tecnología para la identificación de desastres naturales es un avance en la ciencia que permite la predicción y mitigación de eventos naturales, en los que se ha implementado el uso de tecnología satelital desde inteligencia artificial hasta modelaciones numéricas, proporcionando modelación de mapas de alta resolución que facilitan la prevención a la población ante fenómenos hidrológicos, geológicos y atmosféricos. Debido al cambio climático se han presentado fenómenos naturales con magnitudes fuera de lo común y se presentan cada año, por lo que se han constituido instituciones que apoyen a la divulgación de información, mitigación, prevención y preparación que ayude a prevenir a la población de las zonas que están expuestas mediante la aplicación de las tecnologías avanzadas que aporten información sobre estos temas.

En México las instituciones gubernamentales que se encargan de monitorear el desarrollo e impacto económico que ocasionan los desastres naturales dentro del país son principalmente el CENAPRED, la Coordinación Nacional de Protección Civil, la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, Servicio Meteorológico Nacional y algunos menos conocidos.

Durante el año 2020 se registraron alrededor de 435 desastres naturales un 26.9% menos de los ocurridos durante el año 2019 pero que ocasionaron daños en el país, de los cuales el 83.4% fue debido a fenómenos hidrometeorológicos afectando a más de 800,000 ciudadanos. Es importante destacar que al menos el 42.5% de los daños y pérdidas provocadas por este fenómeno se originaron en el estado de Tabasco mientras que en el estado de Chiapas se originaron daños del 20.7%, un 11.8% en el estado de Oaxaca, 4.8% en Veracruz y el 17.5% en el resto del país. Asimismo, se registraron al menos 398 defunciones en todo el país provocadas por desastres naturales de los cuales 17 sucedieron en el estado de Tabasco debido a las inundaciones (CENAPRED, 2021).

Respecto a los acontecimientos experimentados en la república mexicana se ha considerado la importancia de los mapas de riesgo que han sido elaborados con la finalidad de disminuir las pérdidas que ocasionan los desastres naturales, sobre todo los de carácter hidrometeorológicos que se presentan frecuentemente provocando inundaciones en la mayor parte del sureste, aunque ya existen mapas de riesgo que muestran esta información aún faltan municipios por abordar referente a este tema.

De manera que se pretende realizar un análisis del peligro y vulnerabilidad dentro de la zona urbana del municipio de Cárdenas en el estado de Tabasco con la finalidad de crear un mapa de riesgo que exteriorice las zonas que se encuentran expuestas ante inundaciones durante el periodo de precipitaciones y compartir la información recabada a las instituciones correspondientes que puedan difundir el presente estudio a la población para proteger el entorno en el que se desarrollan, su patrimonio económico y sobre todo sus vidas, fomentado la cultura de prevención y aportar resultados para la elaboración de mapas de riesgo que comparte el CENAPRED.

Hipótesis

¿Empleando SIG se podrá generar mapas temáticos que permitan medir el riesgo y la vulnerabilidad en la que se encuentra la zona urbana de Cárdenas, Tabasco ante fenómenos hidrometeorológicos?

Objetivo General

Analizar el espacio geográfico de la zona urbana del municipio de Cárdenas Tabasco a través del uso de Sistemas de Información Geográfica para identificar las zonas que se encuentran vulnerables antes una inundación y plasmar esta información mediante un mapa de riesgo.

Objetivos Específicos:

- Identificar el peligro de una inundación a través de estudios hidrológicos con ayuda de Sistemas de Información Geográfica.
- Generar una simulación hidrónica con ayuda de softwares académicos que permiten modelar flujos hidrónicos mediante hidrogramas de la zona de estudio para identificar el peligro.
- Clasificar las zonas vulnerables ante una inundación en el municipio de Cárdenas Tabasco mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.
- Elaborar un mapa de riesgo y vulnerabilidad de la zona urbana de Cárdenas, Tabasco mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

Capítulo I. Zona de Estudio

1.1 Ubicación Geográfica del Estado de Tabasco, México.

El espacio geográfico nos permite conocer la organización de los aspectos sociales y naturales que lo conforman. Todos los lugares en el mundo están identificados de una u otra forma, con la finalidad de dar a conocer el lugar que ocupan en la tierra. Es así como México, está organizado a través del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), dividido en estados, municipios y localidades. La república mexicana está ordenada para que cada lugar que conforma al país sea identificado por lo que se divide a través de estados, municipios y localidades. Debido a la larga historia de México desde la llegada de los españoles, hasta la independencia del país, dando lugar a la división del territorio que conocemos hoy en día (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2020).

Se trataba de una distribución territorial nacida de los requerimientos de orden y organización impuestos por la geografía a los intentos coloniales por explorarla y dominarla. En ese sentido, puede decirse que durante toda la época colonial los arreglos territoriales tuvieron una función puramente administrativa y organizativa.

Las fragmentaciones del territorio carecían del aspecto formal, es decir, la fijación de límites precisos no se fundamentaba en leyes que lo definieran como figura jurídica con derecho de soberanía sobre su extensión. En cambio, al convertirse México en una república independiente, la misma división adquiere fundamento en un régimen jurídico, que le da personalidad, individualidad y, cuando ese sistema es federal, soberanía a cada una de las fracciones que la forman (INEGI, 2020).

Tabasco es una de las 32 entidades federativas que se encuentra al sureste del territorio mexicano y está delimitado por la litoral del Golfo de México y los estados de Veracruz, Chiapas, Campeche y al sur de México lo delimita Guatemala un país vecino de América Central. Cuenta con 17 municipios los cuales están organizados en dos regiones: Región Grijalva y Región Usumacinta que a su vez se dividen en subregiones.

Las subregiones del estado de Tabasco se encuentran clasificados como podemos ver en la Figura 1 de la siguiente manera: Chontalpa color rojo, Centro color amarillo, Ríos color morado, Sierra color verde y Pantanos color azul.

- Centro
 - Centro (Villahermosa)
 - Jalpa de Méndez
 - Nacajuca

- Chontalpa
 - Huimanguillo
 - Cárdenas
 - Cunduacán
 - Paraíso
 - Comalcalco

- Sierra
 - Teapa
 - Jalapa
 - Tacotalpa

- Pantanos
 - Balancán
 - Emiliano zapata
 - Tenosique

- Ríos
 - Macuspana
 - Jonuta
 - Centla



Ilustración 1. Subregiones del Estado de Tabasco. INEGI, 2014.

1.2 Localización Geográfica de Cárdenas, Tabasco

El municipio de Cárdenas se considera la segunda ciudad de mayor importancia del estado de Tabasco; se encuentra dentro de la región de la Chontalpa con coordenadas 18°0'4" N y 93°22'35" W; colindado al lado Norte con los municipios de Comalcalco y Paraíso, el Golfo de México en una costa de 66 kilómetros de largo, al sur con el municipio de Huimanguillo, al Este con parte de Comalcalco, Cunduacán, el estado de Chiapas y al Oeste otra vez con Huimanguillo, Coatzacoalcos, Veracruz y el Golfo de México (Gobierno del Estado de Tabasco, 2020). Cuenta con una extensión territorial de aproximadamente 2,049.24 km² y alcanza un promedio de 10 metros sobre el nivel del mar, debido al relieve llano, ocasionando que se formen zonas pantanosas. Está conformado por una ciudad, 2 villas, 20 pueblos, 27 rancherías, 65 ejidos, 40 colonias urbanas, 4 fraccionamientos y 2 lagunas.

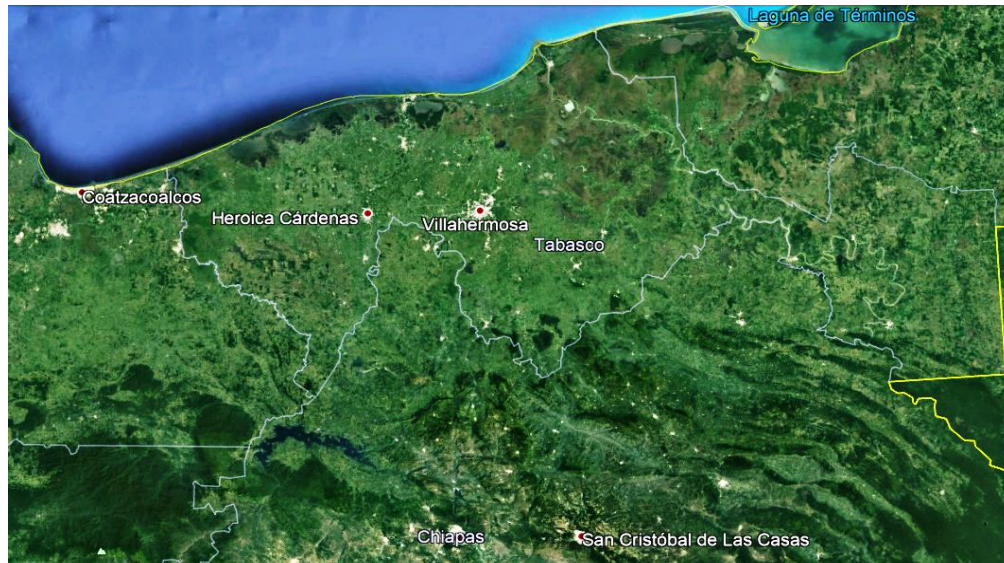


Ilustración 2. Localización del municipio de Cárdenas, Tabasco, México. Imagen satelital de Google Earth, 2020.

1.3 Hidrología

El estado de Tabasco cuenta con una red hidrográfica muy compleja debido al exceso de agua que se genera por frecuentes precipitaciones, la ubicación cerca del Golfo de México, la altura a la que se encuentra, el sistema de drenaje insuficiente para drenar el agua, escurrimientos del estado vecino Chiapas, motivos biológicos, geológicos, generando abundantes infiltraciones de agua y escasez para drenarla.

El río Mezcalapa-Grijalva y el río Usumacinta son parte del estado y son dos de los principales ríos del país, a ellos se le suman las regiones hidrológicas de Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta. Podemos mencionar que el 30% del escurrimiento de la república mexicana sucede en el estado y consecuentemente se forman pantanos, marismas, esteros y sistemas lagunares que resguardan la cantidad excesiva de agua (CENAPRED, 2009).

Río Grijalva

El río Grijalva o también llamado río Mezcalapa nace en la sierra de Guatemala, a 70 kilómetros de Chiapas; es el segundo río más caudaloso de México además de proveer gran parte de energía hidroeléctrica al país, con una longitud de 700 km; es uno de los principales ríos que forma parte del estado de Tabasco y atraviesa una parte considerable de su territorio.

En territorio guatemalteco es llamado río Selegua pero al ingresar en territorio mexicano se denomina Rincón Tigre en la sierra de Chiapas, tomando lugar en el embalse de la presa la Angostura, después llega a Tuxtla Gutiérrez y atraviesa el Cañón del Sumidero para dirigirse a la presa Chicoasén (Gobierno del Estado de Tabasco, 2020).

Una vez en el embalse de Chicoasén el río se dirige al noroeste y entra a la presa de Malpaso, seguidamente cambia su rumbo hacia el norte y comienza a recibir agua del río La Venta, continúa hasta llegar a la presa Peñitas, pasando el embalse de esta presa comienza a formar un límite de territorio entre el estado de Chiapas y Tabasco.

Finalmente se introduce en el estado de Tabasco; cabe destacar que este río fue desviado hace años por el río Viejo Mezcalapa en Nueva Zelanda, una localidad en el municipio de Cárdenas; dirigiéndose a la capital del estado donde se le unen los ríos Puyacatengo, Carrizal, Pichucalco, Samaria, Teapa, La Sierra, Chilapa y finalmente el río Usumacinta desembocando en el Golfo de México (Organización Meteorológica Mundial, 2006).

Río Usumacinta

El río Usumacinta nace en la Sierra de Guatemala, cuenta con una extensión territorial de aproximadamente 106 kilómetros cuadrados y una longitud de 1200 kilómetros desde Guatemala hasta México, es considerado como el río más caudaloso de México y el más largo de Centroamérica.

Este río ocupa alrededor de 300 km para hacer frontera con México hasta adentrarse en el territorio mexicano por el estado de Tabasco, pasando por los municipios de Emiliano Zapata, Balancán, Tenosique y Centla; este río se junta con el Grijalva y el río La Sierra, en una zona llamada Tres Brazos, donde se forma un delta pantanoso nombrado Pantanos de Centla (decretado como Reserva de la Biósfera) el cual finalmente desemboca en el Golfo de México (CONAGUA, 2014).

1.3.1 Cuencas en Tabasco

Región Hidrológica Coatzacoalcos (RH 29). De acuerdo con la información que comparte el INEGI, la región hidrológica (RH 29) Coatzacoalcos está constituida por la cuenca del (RH 29) Río Tonalá y la Laguna del Carmen y Machona con un área de 8,274.02 kilómetros cuadrados.

Dentro de esta cuenca se encuentran los ríos Tonalá, El Naranjeño, Santana, Las Flores y las lagunas El Carmen y la Machona, estos últimos son parte de la costa chica del municipio de Cárdenas, de la misma forma además el río Tonalá hace frontera con el estado de Veracruz y cuenta con una longitud de 33.69 kilómetros (SIATL, 2010).



Ilustración 3. División hidrográfica de subcuencas de Tabasco, México. SIATL, 2010.

Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH 30). Dentro de esta región se encuentra ubicada la cuenca Grijalva-Villahermosa que abarca un área de 22,805.97 kilómetros cuadrados, internamente se encuentran los ríos Nacajuca, Samaria, La Sierra, Teapa, Puyacatengo, Tlacotalpa, Puxcatán, Grijalva, Cuxcuchapa, la Laguna Mecocacán, Laguna Santa Anita, Laguna Ismate Chilapilla, Laguna El Viento y río Tepetitán-Chilapa (SIATL, 2010).

La mayor parte del territorio de la zona de estudio se encuentra dentro de la subcuenca Río Cunduacán (RH30Dy), parte de la cuenca Río Grijalva-Villahermosa, el cual se une con los ríos Samaria, Carrizal y el Cuxcuchapa; otra parte del área urbana de Cárdenas se encuentra en la subcuenca río Cuxcuchapa (RH30Dz) la cual desemboca en el Golfo de México y finalmente la subcuenca del río Santa Ana (RH29Ab) que forma parte de la cuenca del Río Tonalá y Laguna del Carmen y Machona.

1.3 Clima

El clima de Tabasco presenta un clima cálido húmedo durante todo el año donde las temperaturas no bajan de los 18°C, aproximadamente el 95.5% del territorio presenta este tipo de clima y el porcentaje restante presenta un clima cálido subhúmedo en la sierra del estado (INEGI, 2020).

La temperatura media anual de la entidad es de 27°C mientras que la temperatura media máxima durante el año es de 32.3°C en la época de primavera-verano, que abarca el mes de mayo hasta el mes de agosto, y la temperatura media mínima es de 21.8°C en la temporada de invierno en los meses de diciembre y enero, estos datos fueron obtenidos comparando la temperatura de 35 años atrás como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Temperatura media del estado de Tabasco del año 1985 hasta el año 2020. Servicio Meteorológico Nacional, 2020.

Año	Temperatura Media Máxima	Temperatura Media Mínima	Temperatura Media Anual
2020	33.1	23.2	28.1
2015	32.1	22.5	27.3
2010	30.9	21.3	26.1
2005	33.4	22.4	27.9
2000	31.2	20.9	26
1995	33	21.8	27.4
1990	32.7	21.6	27.1
1985	32.3	21.3	26.8

1.4 Precipitación

Debido al tipo de clima del estado se presentan lluvias durante la mayor parte del año, lloviendo por lo menos 9 meses, intensificándose en junio hasta noviembre y se mantiene seco en los meses de marzo, abril y mayo, donde comienza la temporada de primavera.

Las precipitaciones que se presentan durante el año se pueden ver influenciadas por eventos meteorológicos como tormentas y ciclones tropicales que provienen del Golfo de México, Mar Caribe y del Océano Pacífico reportado por el Servicio Meteorológico Nacional; la precipitación media anual que se registra en el estado es de 2500 mm, con un promedio máximo mensual de 407.36 mm registrado en el mes de septiembre y un promedio mínimo mensual de 72 mm en el mes de marzo (Servicio Meteorológico Nacional, 2020).

Existen alrededor de 5,500 estaciones climatológicas implementadas en toda la república mexicana monitoreadas por CONAGUA de las cuales 96 están operando en todo el estado mostrando registros de precipitación, temperatura y otros factores, desde 1950 hasta la información más reciente que se actualiza constantemente. En la siguiente gráfica se puede observar que durante el año de 1995 hubo precipitaciones que alcanzaron los 4000 mm aproximadamente, mientras que en el año 2005 se registró una mínima de 2000 mm.

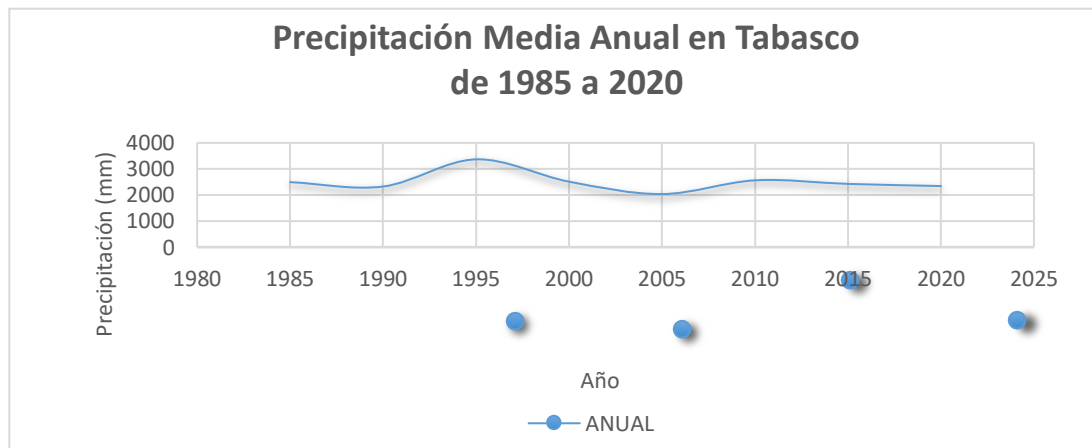


Ilustración 4. Comparación de la precipitación media anual de Tabasco con datos de lustro-año. Servicio Meteorológico Nacional, 2020.

En la siguiente imagen se muestra la precipitación máxima en el estado de Tabasco durante el mes de noviembre, sobrepasando los 400 mm de agua en solo 4 días, esto influenciado por el paso del huracán Eta provocando pérdidas severas.

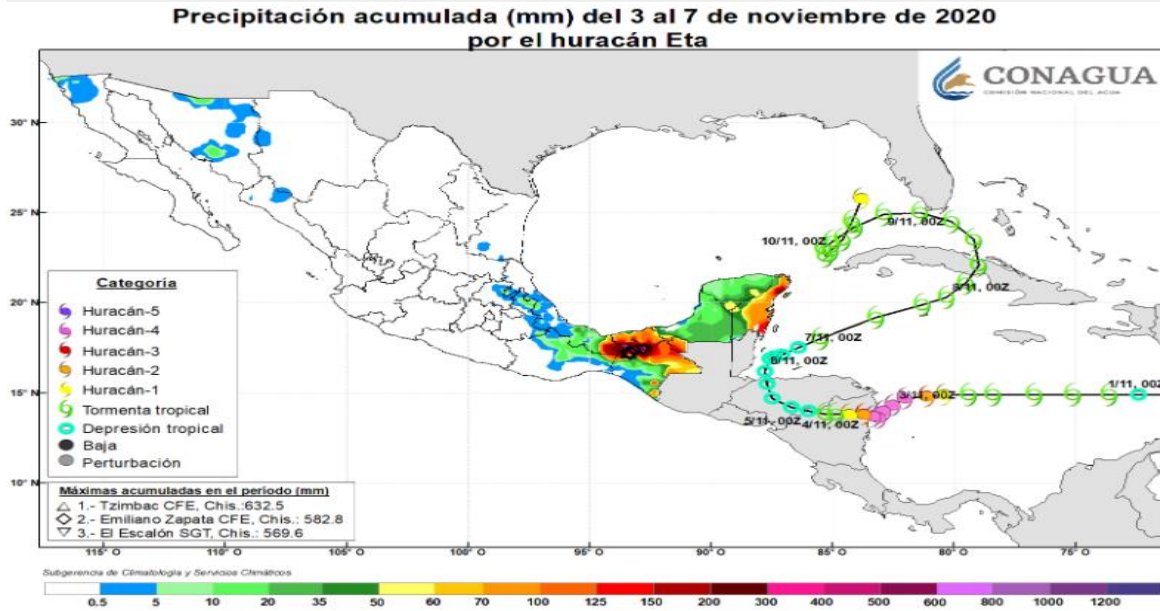


Ilustración 5. Precipitación acumulada en el sureste de la República Mexicana debido al paso del huracán Eta en noviembre del 2020. INEGI, 2021.

El área urbana del municipio de Cárdenas cuenta con una estación climatológica CARDENAS 27008; sus registros datan de 1955 hasta el 2019, presentándose en 1970 la mayor precipitación en el municipio con un promedio máximo de 327.6 mm. La precipitación máxima ocurre en el mes de octubre con un promedio de 11.3 mm y una mínima en el mes de marzo con promedio de 1.4 mm, es el único periodo en el que se presentan las sequías del área urbana, sin embargo, no deja de llover durante todo el año.

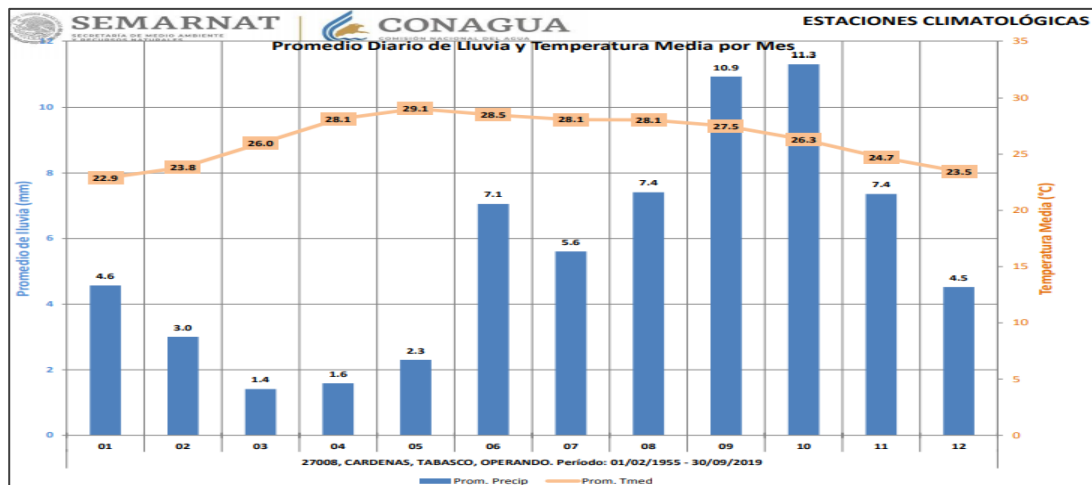


Ilustración 6. Temperatura y Precipitación media de la zona urbana de Cárdenas, Tabasco, de los años 1955 al 2019. CONAGUA, 2020.

1.5 Geología

La composición geológica del estado de Tabasco forma parte de la era del Cenozoico; durante el periodo Cuaternario surgió la llanura costera del Golfo sur, la sierra de Chiapas y Guatemala, experimentando cambios en el nivel del mar debido a las glaciaciones y al movimiento lento de los continentes, creando la mayor parte del territorio tabasqueño, mientras que el 0.27% se formó durante el periodo Neógeno, dándoles lugar a la unión de América del Norte con América del Sur.

Las rocas sedimentarias del territorio se formaron debido a las precipitaciones y al mismo tiempo mediante el arrastre de sedimentos hacia la zona costera, creando capas a través de procesos físicos y químicos, dando lugar a rocas arcillosas, areniscas y conglomerados, como se muestra en la siguiente tabla (Servicio Geológico Mexicano, 2020). Existe en el estado una variedad de suelos, esto debido a la desviación forzada de los ríos ocasionado por el periodo Cuaternario, creando aluviones como fluviosoles, vertisoles, gleysoles, cambisoles y regosoles además de los acrisoles y luvisoles.

Tabla 2. Composición Geológica del Estado de Tabasco, INEGI, 2020.

Era	Periodo	Entidad Litológica	Clase de Roca	Tipo	Proporción de la superficie
Cenozoico	Neógeno	Unidad cronoestratigráfica	Ígnea extrusiva	Andesita	0.27
	Terciario	Unidad cronoestratigráfica	Sedimentaria	Arenisca	15.65
				Caliza	7.67
				Conglomerado	*0.00
				Lutita-Arenisca	2.66
	Cuaternario	Unidad cronoestratigráfica	Sedimentaria	Caliche	0.08
				Conglomerado	2.75
				Aluvial-Palustre y Lacustre Litoral	69.41
Mesozoico	Cretácico	Unidad cronoestratigráfica	Sedimentaria	Caliza	1.28
N/A	N/A	N/A	N/A	Cuerpo de agua	0.23

Nota. Porcentaje menor a 0.01%. INEGI, 2021.

El relieve del estado que se encuentra al nivel del mar, los materiales permeables que son parte del suelo, el clima y la numerosa cantidad de ríos que hay en el estado propician a que el manto freático se encuentre a nivel de la superficie dando paso a inundaciones. Además, el drenaje ineficaz ha creado la disminución de oxígeno formando un color azulado o gris en el suelo, a este proceso se le llama gleyzación.

El suelo Gleysol es formado por humedales que le dan un color azul o verdoso a la tierra y al evaporarse esta humedad puede cambiar a un color rojizo formándose en zonas pantanosas y en manglares del estado, aunque es parte del suelo tabasqueño, se encuentra en escasas cantidades.

Cerca de la sierra del estado de Chiapas y Guatemala se pueden encontrar suelos maduros como acrisoles y luvisoles; jóvenes como fluviosoles, rendzinas y más importantes como gleysoles, regosoles y luvisoles, debido a la forma y tamaño del territorio además de ser suelos someros y frescos como consecuencia del periodo en el que se crearon. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) el municipio de Cárdenas es dominado por suelo de tipo Gleysol mientras que el área urbana es de tipo Cambisol (SEMARNAT, 2013).

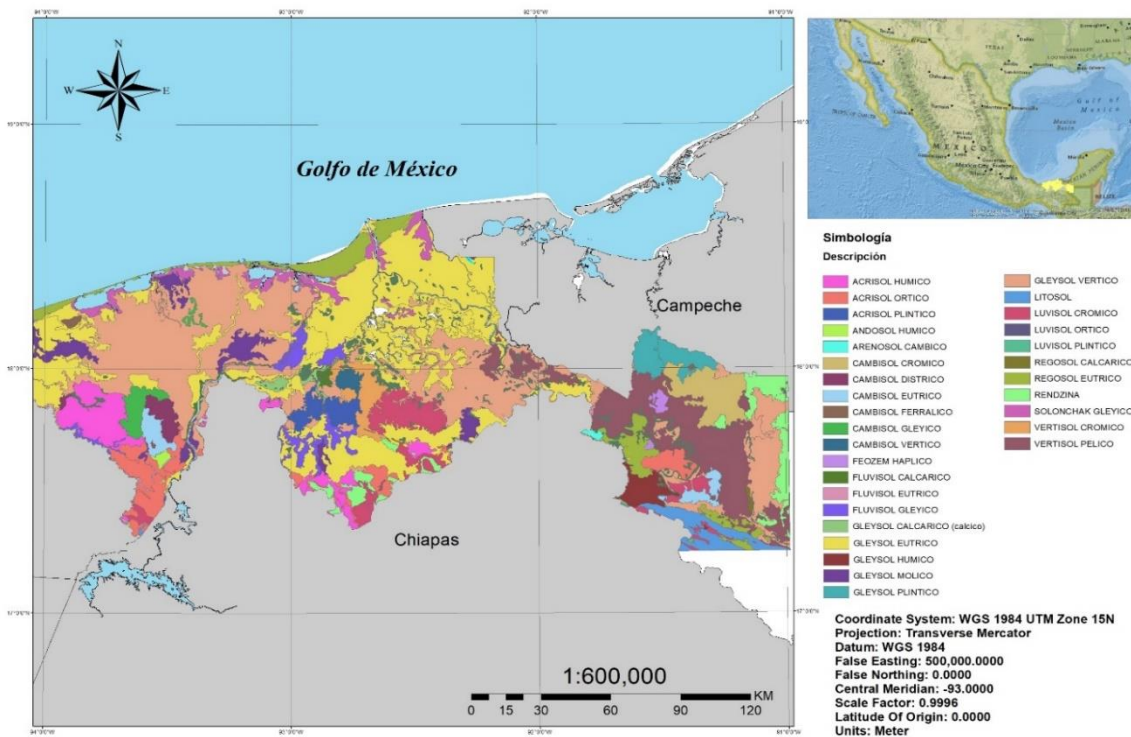


Ilustración 7. Mapa Edafológico. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.

Por un lado el Inventario Estatal Forestal y Suelo (2013), muestra que Tabasco cuenta con 25.62% de vegetación tular, además de manglar, popal, selva perennifolia, selva mediana sabana, selva, entre otros, aunque estos últimos cubren una superficie mínima del territorio; por otro lado se muestra un total de hectáreas que ocupan diferentes tipos de vegetación como son el bosque de montaña, bosque templado, vegetación hidrófila, halófila y gipsófila y matorrales(SEMARNAT, 2013).

Tabla 3. Clasificación del tipo de vegetación que cubre al estado de Tabasco. INEGI, 2021.

Tipo de vegetación	Clasificación	Hectáreas
Bosque templado	Bosque de ayarín, oyamel, cedro, pino, pino-encino, táscate, matorral de coníferas, encino, encino-pino	18,927
Vegetación hidrófila	Vegetación de galería, subacuática, popal, tular, petén, bosque y selva de galería, vegetación halófila e hidrófila.	420,579
Selva húmeda	Selva alta, baja y mediana, perennifolia y subperennifolia	180,927
Selva subhúmeda	Selva espinosa, baja espinosa, baja y mediana caducifolia y subcaducifolia, matorral y subtropical	15,566
Vegetación Gipsófila y halófila	Pastizal gipsófilo, halófilo, vegetación halófila y gipsófila	1,584
Otro	Mexquital, chaparral, bosque de mezquite, palmar, sabana, palmar inducido y vegetación de dunas costeras	34,831

Cabe mencionar que una de las extensiones del territorio más importante es la Reserva de la Biósfera de los Pantanos de Centla, que ocupan aproximadamente 302,706 hectáreas y abarca los municipios de Macuspana, Centla y Jonuta. Esta reserva ocupa el lugar número 15 de los humedales más importantes a nivel mundial y es el más extenso de Norteamérica.

Para el año 2012 alrededor de 1,617 hectáreas de suelo eran ocupadas para las actividades agrícolas en las que el municipio de Cárdenas también fue partícipe, debido al lugar que ocupa en el estado, destinando el territorio que estaba alrededor de la zona urbana a realizar actividades como pastizal y agricultura.

Debido a la extensa zona costera con la que cuenta el municipio se realizaban actividades de acuicultura y pesca devastando la poca vegetación de tipo hidrófila como el manglar, tular y el popal, que aún existe en el territorio cerca de la Laguna del Carmen y la Machona.

1.7 Población y Economía

De acuerdo con el censo que realizó el INEGI en el año 2020 el estado de Tabasco cuenta con una población de 2, 402,598 de los cuales el 49.9% son hombres y el 51.1% son mujeres; cabe destacar que durante 5 años la población tuvo un aumento de 0.067% esto en comparación de la población en el año 2015 que era de 2, 395,272 habitantes (INEGI, 2020).

El municipio de Cárdenas está conformado por 243,229 personas logrando posicionarse en el segundo lugar de los municipios más poblados además de Centro con 683,607 personas el cual ocupa el primer lugar debido a que es la capital del estado y Comalcalco en tercer lugar con 214,877 personas.

El crecimiento poblacional en el estado se debe al crecimiento económico ya que durante el primer trimestre del 2011 la economía ascendió debido a la actividad petrolera; desafortunadamente a partir del 2014 el estado experimentó fuertes decrementos económicos como consecuencia del cambio del costo del petróleo colocando al estado en una situación difícil. Sin embargo 6 años más tarde durante el primer trimestre del año 2020 antes del confinamiento por SARS-COV-2 (COVID-19¹), el estado ocupó el primer lugar a nivel nacional en crecimiento económico fue un gran logro para el estado ya que desde el año 2011 no se había visto este incremento.

Es importante destacar que durante los años 2010 al 2015 el estado de Tabasco se mantuvo ocupando el puesto número 14 a nivel nacional en rezago social; además para el año 2018 el 53.6% de la población se encontraba en situación de pobreza, alrededor de 1,320,200 personas, este porcentaje es 11.7 puntos porcentuales mayor que el porcentaje nacional (41.9%).

Aunque la situación económica del estado ha progresado desde el año 2011 hasta hoy en día, la situación de más del 50% de la población aún vive en condiciones que obliga a las personas a vivir aisladas del resto de la población ya que no cuentan con las necesidades básicas para vivir y se consideran vulnerables ante situaciones relacionadas con la salud, educación, agua e incluso electricidad.

¹ El SARS-CoV-2 (COVID-19) es una enfermedad infecciosa que se descubrió en Wuhan (China) en diciembre del 2019, ocasionando un brote a nivel mundial (*Organización Mundial de la Salud, 2020*).

En el año 2010 los municipios con mayor número de personas en estado de marginación fueron Centro, Comalcalco, Cárdenas, Huimanguillo y Macuspana en los cuales se concentraba el mayor número de población (58.2%) ya que dentro de este grupo se encuentran los municipios con mayor número de personas. Para el año 2015 los municipios de Centro, Cárdenas, Comalcalco, Huimanguillo y Cunduacán concentraban el 56.6% de la población en las que se encontraban un mayor número de personas en situación de pobreza.

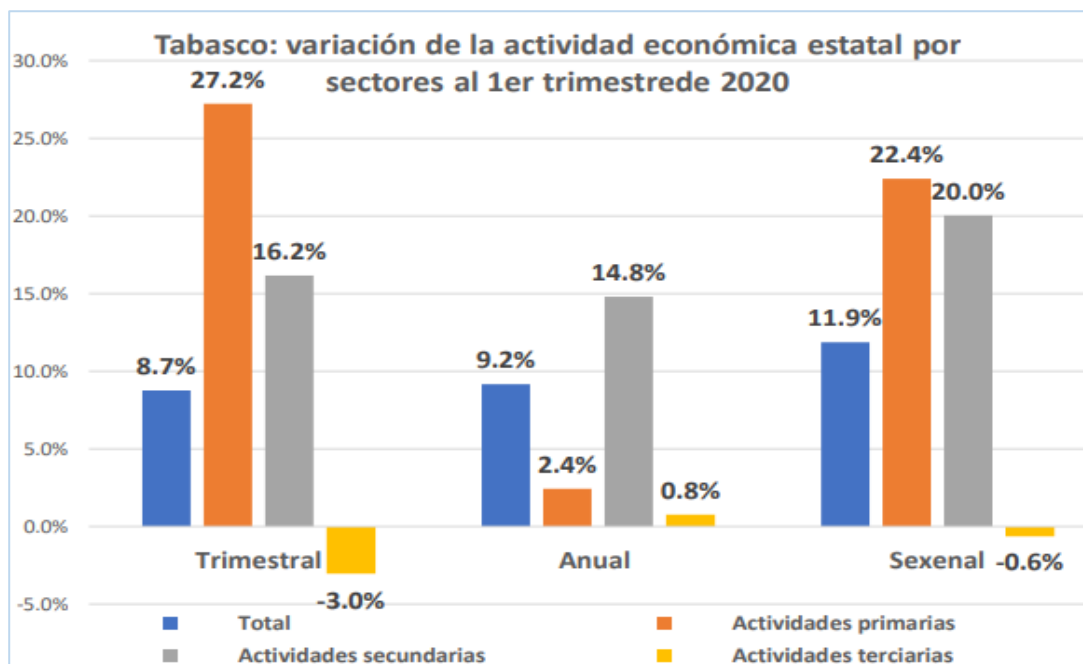


Ilustración 9. Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal al 1er Trimestre de 2020. INEGI, 2021.

El INEGI publica cada trimestre el Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAAEE) que tiene como objeto revelar el porcentaje del crecimiento económico del país y estados; se encarga de publicar información acerca de las actividades secundarias en Tabasco, las cuales aumentaron un 14.48% destacando la minería y construcción, mientras que las actividades primarias como la ganadería, la agricultura y la pesca, aumentaron un 9.2%, sin embargo, las actividades terciarias disminuyeron -0.6% durante este periodo en los que se destacan los comercios y algunos servicios en general (INEGI, 2020).

1.8 Reseña Histórica de Tabasco

Tabasco fue liderado por el cacique maya Tabscoob y descubierto en 1518 por un ejército español al mando de Juan de Grijalva; al año siguiente fue Hernán Cortés quien se enfrentó con los indígenas sometiéndolos y arraigándose a las tierras tabasqueñas; aunque en varias ocasiones los indígenas se protestaron ante los españoles obtuvieron su libertad 45 años más tarde (Arellano, et al, 2005). Villahermosa la capital de la provincia de Tabasco fundada en el año 1564, territorio clave por el cual ingresarían los españoles y padecerían ataques frecuentemente por piratas europeos que deseaban las riquezas de esas tierras y destrozaban todo lo que con tanto esfuerzo habían construido los residentes del estado; en 1660 fue declarada capital del estado por primera vez aunque los ataques por parte de los extranjeros no cesaron.

En 1823 Tabasco fue de las primeras provincias en convertirse en una entidad federativa gracias a la Independencia de México, a pesar de la falta de comunicación que tenía el territorio tabasqueño pudo participar con el levantamiento de armas que hubo en aquella época. Se convirtió en ese año en un estado libre y soberano debido a la promulgación del Acta Constitutiva de la Federación Mexicana; en 1825 se publicó la constitución política del estado de Tabasco siendo ésta la cuarta a nivel nacional (Martínez M. A., 1971).

Se hallaron antiguos mapas con fechas de 1776 y 1777 dentro de estos documentos se muestra el sitio donde se encuentra el municipio de Cárdenas se observa un asentamiento con el nombre Pueblo Nuevo; hay que recordar que antes que la cabecera municipal tuviera el nombre que lleva hoy en día solía llamarse San Antonio de los Naranjos y gracias a la donación de tierras que hizo el doctor José Eduardo Cárdenas y Romero tanto el municipio como el pueblo pudieron extenderse, es por eso que el municipio se bautizó con el nombre de quién ayudó a constituir este territorio el 22 de abril de 1797.

Años más tarde en 1868 el congreso del estado de Tabasco declaró al municipio con el nombre de Heroica debido al comportamiento de defensa que tuvo el estado contra la invasión francesa y declaró Benemérito al coronel Andrés Sánchez Magallanes por ser el primero en levantar el estandarte contra los enemigos. En el año 1910 por orden del diputado Salvador de la Rosa la villa de H. Cárdenas se convirtió en ciudad y nueve años más tarde en un municipio libre rectificando esta decisión el 4 de mayo de 1949.

1.8.1 Antecedentes de inundaciones en Tabasco

El estado atravesó por diferentes cambios debido a la llegada de los españoles y piratas dentro de ellos se originó la desviación del río Mezcalapa el cual desembocaba en la laguna de Mecoacán (cerca del Golfo de México), este río es el original río Grijalva, pero cambia su nombre al adentrarse al territorio tabasqueño.

Las modificaciones de este cauce se remontan hacia el año de 1675 cuando se consideró que el río Mezcalapa debía ser desviado para evitar afectaciones por parte de los piratas en las ciudades de Huimanguillo, Cárdenas, Comalcalco y Paraíso, provocando el primer rompido² en la comunidad de Nueva Zelanda, Huimanguillo hacia el Este conectándolo con el río Grijalva, por lo que la corriente que atravesaba estas ciudades comenzó a secarse y fue nombrado como Río Seco (Hernández, 2008).



Ilustración 10. Composición de las desviaciones antropogénicas en el río Mezcalapa realizadas a partir del municipio de Huimanguillo. Mapa base de ArcGIS, 2021.

² Hace referencia a las modificaciones antropogénicas con el fin de desviar un cauce hacia otra dirección.

En las últimas décadas se ha observado que el río Mezcalapa proyecta su original rumbo ya que no se pierden de vista algunos estancamientos de agua dentro de su antiguo sendero que son recurrentes debido a las frecuentes precipitaciones.

1.8.2 Inundaciones históricas en el estado de Tabasco

Podemos decir que las inundaciones son un fenómeno natural que han ocurrido durante mucho tiempo en el estado de Tabasco, sin embargo los registros históricos mencionan información acerca de esta situación por el año 1579; añadiendo el crecimiento poblacional durante el transcurso de los años lo cual afecta a muchos ciudadanos se toman de suma importancia las inundaciones que ocurrieron en los años de 1990, 1999, 2007 y 2020 ya que los daños ocasionados se hicieron notar a través de pérdidas materiales, la agricultura, ganadería y en vidas humanas.

Inundación de 1879. A pocos días de iniciar el periodo de otoño comenzaron las lluvias en el año 1879 debido a un fuerte huracán que impactó sobre las tierras tabasqueñas; no dejó de llover durante 4 días seguidos, esto trajo consigo consecuencias en las que se perdieron aproximadamente 347 viviendas, ganado y cultivos; el huracán destruyó todo lo que tenía a su paso, los ríos se desbordaron, el apoyo del gobierno no fue favorecedor y además ignoraron crear estrategias para que esta situación no se repitiera (Ohmstede, 2004).

Inundación de 1909. Durante el otoño de 1909 se presentó un desastre de la misma dimensión que el ocurrido en 1879; la capital del estado, Villahermosa, se inundó y permaneció con aguas excesivas durante un mes sin que esta bajara su nivel. Debido a la duración de las lluvias los habitantes tuvieron que dejar sus hogares y pasado el mes ya que el agua había bajado su nivel regresaron para ver destruidas sus viviendas (Ohmstede, 2004).

Inundación de 1969. El desastre que hubo durante este año se vio ocasionado debido a la construcción de la primera presa hidroeléctrica en la región, fue la presa Malpaso terminada en 1966; se realizó entonces durante los siguientes tres años el llenado del embalse, desviaciones y desfogue de la vertiente principal; fue entonces que en 1969 que se abrieron las compuertas por primera vez causando inundaciones graves. Esto trajo consigo el desbordamiento del río Grijalva permanentemente causando la inundación del pueblo Quechula en Chiapas y la reubicación de indígenas y campesinos.

Inundación de 1999. Las inundaciones ocurridas en este año fueron a nivel nacional por consecuencia de las altas precipitaciones causadas por el frente frío No.11; con ello la red hidrográfica de la zona sur del Golfo de México se desbordó completamente afectando no sólo al estado de Tabasco si no a los estados de Veracruz, Hidalgo y Puebla; durante estas inundaciones no solo fueron dañados más de 260 mil personas sino además tomó la vida de 384 dejando daños estimados alrededor de 1,780 millones de pesos.

Inundación de 2007. Las inundaciones que ocurrieron durante este año son históricas ya que fue debido a los frentes fríos 5 y 6 además de la relación que había con la tormenta tropical Noé del Mar Caribe, esto ocasionó inundaciones en el municipio de Centla y en la presa Peñitas del estado de Chiapas alcanzó el límite de agua que podía albergar, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) anunció que descargarían aproximadamente 669 metros cúbicos por segundo, sin embargo al siguiente día se descargaron 1500 metros cúbicos por segundo ocasionando el aumento del río Grijalva y las consecuencias se notaron inmediatamente ya que el estado se encontraba bajo el agua y la situación empeoraba porque en Chiapas las lluvias no cesaban y en Tabasco comenzaba a llover. El agua sumergió al 62% del estado y las pérdidas económicas alcanzaron una cantidad de 31.5 millones de pesos, al año siguiente se rediseñó el Plan Integral contra Inundaciones a Plan Hídrico Integral de Tabasco (Galindo, 2015).

Inundación de 2020. El año 2020 fue un reto para todo el mundo debido a los sucesos que se tornaron peligrosos como terremotos, tsunamis, inundaciones, pandemia, entre otros; fue un año histórico para Tabasco debido a las inundaciones provocadas por las extremas precipitaciones y también por el mal manejo de la presa Peñitas que se encuentra ubicada en el estado vecino Chiapas, esto por un error en el cálculo de desfogue que dejó salir un millón de litros de agua por segundo, aproximadamente 1800 metros cúbicos durante 24 horas, lo cual inundó municipios del estado que jamás habían sido afectados por inundaciones. Cabe destacar que se registraron aproximadamente 226 mil 608 damnificados, 27 muertos sumando los registros en Tabasco y Chiapas, se crearon alrededor de 273 refugios temporales que apoyaron a los ciudadanos, aunque 200 mil viviendas estaban afectadas y ante esta situación el gobierno destinó aproximadamente 18 millones de pesos para los damnificados.

Capítulo II. La Ingeniería Topográfica desde los Sistemas de Información Geográfica

2.1 Generalidades de la Ingeniería Topográfica

Existe una variedad de autores que se expresan de la Ingeniería Topográfica como una ciencia, arte, técnica o disciplina. Dentro de la definición griega esta palabra se divide en dos partes: topos=lugar; graphos=representación; es aquí donde se define dentro de un panorama general como la representación de puntos específicos, estas representaciones son de extensiones muy pequeñas si lo comparamos con la geodesia. Esta rama se relaciona con diversas disciplinas como: hidrología, cartografía, geodesia, vías terrestres, geología, astronomía, arquitectura, espeleología, entre otras disciplinas, aunque en mayor parte se relaciona con la construcción y la superficie terrestre.

Actualmente esta rama de la ingeniería se puede complementar con otras herramientas, por ello “la Topografía se puede definir como el arte o tecnología de hacer mediciones de las posiciones relativas de accidentes naturales y obras hechas por el hombre sobre la superficie de la Tierra, así como la representación gráfica o numérica de esta información” (Bannister, Raymond, & Baker, 2002).

La topografía se puede dividir en base al objetivo que se busca ya sean:

Planimetría. Se encarga de representar puntos obtenidos de la superficie terrestre sin tomar en cuenta la elevación de estos pero tomando en cuenta “la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que se supone es la superficie media de la Tierra” (Torres N. & Villate B., 2001).

Altimetría. Se encarga de representar un punto, calculando la posición y altura, tomando como referencia cero el nivel medio del mar u otra superficie.

La topografía se aplica en distintos campos profesionales como mencionamos anteriormente, se encarga de plasmar todo aquello que se encuentra relacionado con la superficie terrestre. En el siguiente diagrama se muestran algunos de estos campos, aunque existen otros en los que la topografía es esencial.

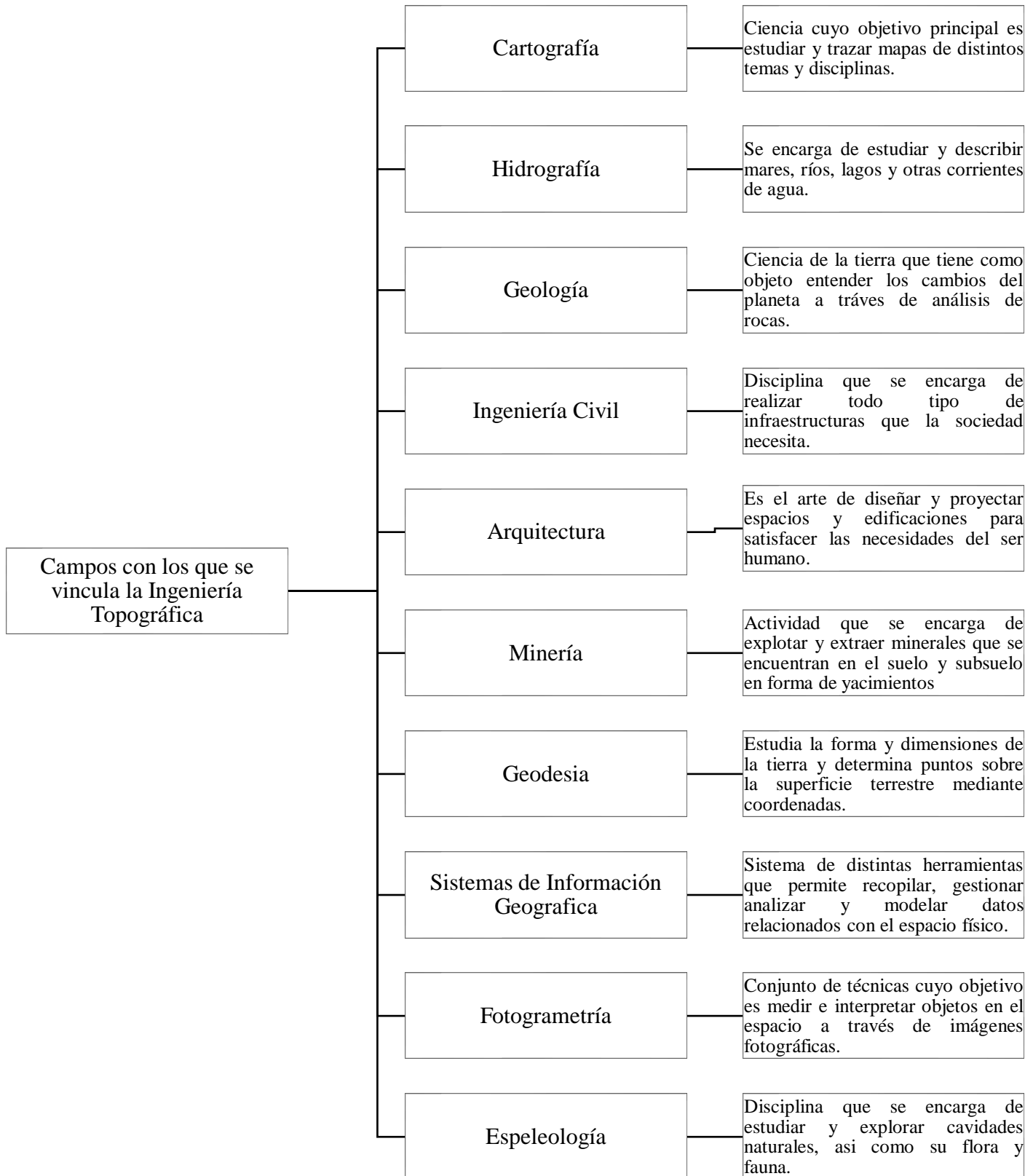


Ilustración 11. Cuadro Sinóptico de algunas disciplinas relacionadas con la Ingeniería Topográfica. *Técnicas modernas en Topografía*, 2002.

2.2 Geodesia

La geodesia es la ciencia que estudia la forma de la Tierra con el objetivo de determinar posiciones sobre la superficie terrestre debido a su compleja forma y varía con el tiempo relacionando factores como la fuerza gravitatoria y movimientos tectónicos (Bordón Ferre & Martín Villanueva, 2015). Toma en cuenta la gravedad, las coordenadas y diferentes sistemas en los que estos datos se deben georreferenciar. Esta ciencia surgió debido a los pensamientos que fomentaban la forma redonda de la Tierra y al profundizar en los estudios se obtuvo información que aclaró las dudas sobre la forma original.

Es importante tomar en cuenta las deformaciones que tiene la Tierra para declarar que no es redonda, incluyendo mares y océanos, consiguiendo como resultado una forma irregular el cual lleva por nombre geoide. El geoide es considerado como una superficie equipotencial, por eso es importante que su complemento este dado por el elipsoide, esta figura geométrica es una aproximación a la forma de la Tierra que es utilizada para calcular el valor de los puntos referenciados en el geoide.

2.2.1 Sistemas de Coordenadas

Las coordenadas ayudan a ubicar un punto sobre la superficie terrestre, las cuales se calculan en un sistema de referencia siendo este tridimensional o bidimensional teniendo como partida el origen o centro y los respectivos ejes.

Sistema de Coordenadas Cartesianas. El sistema de coordenadas cartesianas o rectangulares consiste en el conjunto de ejes perpendiculares entre sí y se llama plano bidimensional. Este sistema consta de dos ejes, principalmente el eje x (abscisas) y el eje y (ordenadas), así se determina la posición de un punto.

Sistema de Coordenadas Geodésicas. Este sistema consta de dos dimensiones divididas en la esfera imaginaria de la Tierra las cuales están formadas por dos ejes conocidos como latitud y longitud geodésicas mediante el cual se pueden representar puntos con valores angulares.

Latitud Geográfica de un punto. Ángulo formado por el plano ecuatorial y una línea que une este punto con el centro de la tierra y se mide en grados, minutos y segundos.

Longitud Geográfica de un punto. Ángulo formado por el plano del meridiano, es decir la distancia en grados, minutos y segundos y el plano meridiano de origen, llamado meridiano de Greenwich. Ambos planos se unen en el eje polar (Bordón Ferre & Martín Villanueva, 2015).

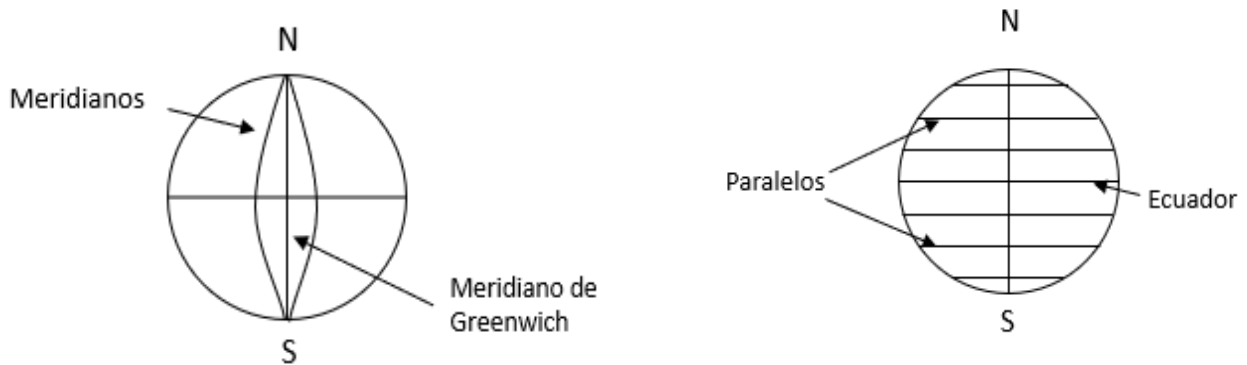


Ilustración 12. Representación de la Latitud y Longitud. Elaboración propia, 2021.

Sistema de Coordenadas Polares. El sistema de coordenadas polares se puede relacionar como una alternativa al sistema de coordenadas cartesianas; aunque la diferencia es que este sistema trabaja con una distancia radial del punto (P) hasta el origen (O) que se puede representar como (r), además de un ángulo formado por la línea del eje polar y la distancia del punto (P).

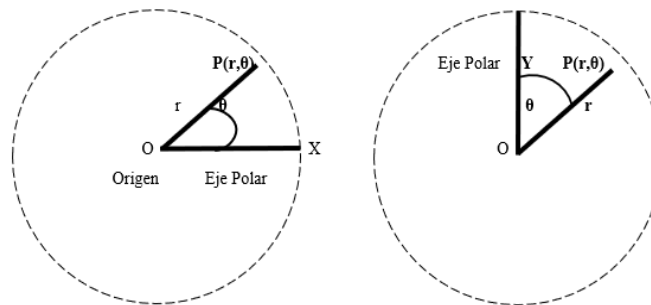


Ilustración 13. Representación del Sistema de Coordenadas Polares. Elaboración propia, 2021.

Sistema de Coordenadas UTM. El sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) es un sistema que sirve para referenciar un punto sobre la superficie de la tierra y sus medidas son métricas; aunque este sistema no es universal cubre gran parte de la Tierra dejando por fuera a los polos.

Esta proyección se divide en 60 zonas también llamadas husos y cada zona tiene aproximadamente 6° de longitud en el ancho; están numeradas del 1 al 60, comenzando con 180° de longitud oeste; también está formada por una división de 8° de latitud y están asignados con las letras C hasta la X, creando una nomenclatura para cada zona, por ejemplo, el estado de Tabasco se encuentra en el huso 13 dentro de la zona Q.

2.2.2 Sistemas de referencia

Datum Geodésico. El Datum es un sistema de referencia que describe las irregularidades de la tierra al mismo tiempo que describe su tamaño. Proporcionando parámetros de referencia para establecer posiciones de puntos de la superficie terrestre sobre un elipsoide de referencia, las especificaciones de sus parámetros son las siguientes: en el elipsoide los parámetros se componen de un semieje mayor y el achatamiento que representa la forma y dimensiones de la tierra, además de un punto fundamental en el que el elipsoide y el geoide coinciden.

El elipsoide en conjunto con el geoide permite obtener su posición a través de una serie de datos y su función consiste en realizar mediciones del punto de referencia que en este caso es el elipsoide hacia otro punto el cual es el geoide; el cálculo de estos puntos se puede realizar utilizando métodos astronómicos esenciales que permiten definir un sistema de coordenadas.

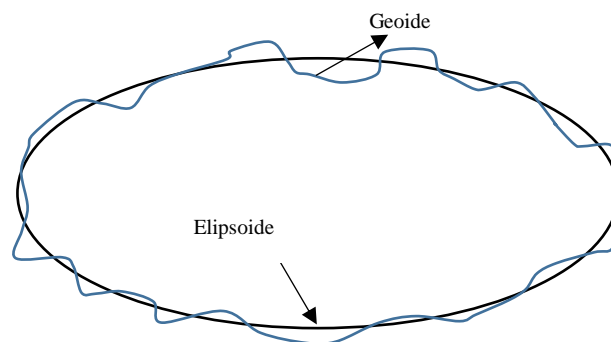


Ilustración 14. Representación de la forma del Geoide y el elipsoide. Elaboración propia, 2021.

Existe un datum global llamado System Geodesic World 1984 (WGS84), “se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación GNSS o Transit de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra” (Instituto Geográfico Nacional, 2021); pero no en todo el mundo el geoide y el elipsoide se comportan de la misma forma, como consecuencia de esto cada país ha definido su propio Datum para tener un mejor sistema de coordenadas geográficas, por lo tanto no son universales y se expresan de acuerdo al datum elegido.

Tabla 4. Ejemplo de algunos Datum utilizados alrededor del mundo. Consultado en: <https://www.aristasur.com>, 2021.

Ubicación	Datum
América del Norte	NAD27, NAD83 y WGS84
Argentina	Campo Inchauspe
Brasil	SAD 69/IBGE
Colombia	MAGNA-SIRGAS
Sudamérica	PSAD 56 y WGS84
España	ED50 y ETRS89

Redes Geodésicas

Estas redes están conformadas por una serie de puntos que han sido calculados con suma precisión en la superficie terrestre consiguiendo como resultado datos como latitud, longitud y elevación de cada punto y se materializan sobre el terreno con señales; se encuentran enlazados y ajustados a marcos geodésicos nacionales y/o mundiales.

Existen las siguientes redes geodésicas:

a) Red Geodésica Nacional Activa

La Red Geodésica Nacional Activa está conformada por una serie de estaciones de monitoreo continuo de datos del Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS) que cubren toda la república mexicana y cuentan con coordenadas de exactitud que se encuentran disponibles en el marco geodésico oficial. Cada estación de monitoreo funciona como un punto de referencia a los que se ligan trabajos topográficos o geodésicos que permiten ahorrar tiempo y dinero ya que sus datos son abiertos al público.

De acuerdo con la norma técnica del Sistema Geodésico Nacional cualquier estación geodésica debe estar referida al Marco de Referencia Terrestre Internacional el cual está definido por el Sistema Internacional de Rotación Terrestre y de Sistemas de Referencia del año 2008, con datos de la época 2010 denominado ITRF08 época 2010 asociado al elipsoide GRS80 (INEGI, 2021).

b) Red Geodésica Nacional Pasiva

La Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP) está compuesta por más de 100,000 estaciones geodésicas materializadas en un terreno con una placa incrustada la cual sirve para que cada una de ellas sea reconocida, además las estaciones geodésicas que se encuentran distribuidas a nivel nacional y se dividen en tres áreas de interés: Red Geodésica Vertical, Red Geodésica Horizontal y Red Geodésica Gravimétrica. Estas redes proporcionan a los usuarios información que pueda servir de apoyo para realizar programas o proyectos en las que se necesite el uso de estaciones geodésicas como en cartografía, sistemas de información geográfica, investigación entre otros.

c) Geoide Gravimétrico Mexicano

Este Geoide gravimétrico es una superficie que representa al nivel medio del mar y cubre la Tierra totalmente, es considerado un modelo físico que busca figurar la forma verdadera de la Tierra y se utiliza como referente para establecer la elevación del terreno, es decir para determinar perfiles altimétricos. La versión 2010 de este geoide comparte sus datos tipo ráster con resolución de 20.5 minutos de arco y representa alturas geoidales de forma vertical. Una de sus ventajas es la capacidad de cobertura y obtención de datos gravimétricos ya que es rápido y de menor costo comparado con otras técnicas de nivelación (INEGI, 2021).

2.3 Sistemas de Información Geográfica

De acuerdo con lo que comenta Benavides (2017) los SIG se pueden utilizar en la vida cotidiana al momento de elegir una ruta para llegar a cualquier lado, realizando búsquedas como una tienda o calle a través del teléfono, información del entorno geográfico, estas son actividades que se realizan de manera habitual y forman parte de la vida cotidiana.

Un SIG es un sistema que permite recopilar información a través de un software para analizar, gestionar e interpretar datos georreferenciados del entorno espacial y demostrar la relación que estos tienen mediante gráficos y mapas.

Si bien no hay una definición absoluta para los SIG se puede explicar como “un conjunto de herramientas que permiten el procesamiento de información de datos de tipo espacial, usados para tomar decisiones acerca de cierto espacio o área específica de la Tierra o también para visualizar de forma general un espacio de acuerdo con el contenido base de datos digitales” (Sosa Pedroza & Martínez Zuñiga, 2008).

Funciones de un SIG

Un SIG tiene como función obtener información que puede representarse como datos alfanuméricos permitiendo su clasificación de acuerdo con su temática según sean suelos, agua, carreteras, vegetación, población, enfermedad, etc., a partir de esta información generar modelos, comparaciones y cálculos de temas nuevos o ya existentes que puedan compartirse de manera sencilla y rápida. Actualmente se facilita la búsqueda de información de manera que puede aplicarse a disciplinas en las que se requiera una investigación previa para cualquier trabajo que esté relacionado con un espacio geográfico facilitando los objetivos como resultado de su uso.

Gestión de datos: permite capturar, almacenar y manipular datos de forma manual o a través de un sistema en el que pueda leerse en distintos formatos.



Ilustración 15. Integración de la función de los SIG. CIC Consulting Informático, 2021.

Integración de datos: a través de la integración de los datos es posible construir información con sentido lógico que se pueda documentar a través de metadatos (datos que hablan de los datos), describiendo y estructurando de manera ordenada características de la información obtenida.

Análisis de datos: examina un conjunto de datos a través de modelamiento espacial y manipulación de capas para transformar la información generando información actualizada.

Difusión de resultados: realiza una representación gráfica de los resultados obtenidos que transmita información clara y distribuirlos en formatos físicos o digitales de manera que se pueda comprender y acceder a ellos de manera fácil.

Aplicaciones de un SIG

Los Sistemas de Información Geográfica son un conjunto de herramientas que permiten manipular información que se encuentra en base de datos y realizar análisis sobre estos para tomar decisiones en base al área profesional en el que se esté trabajando o al que requiera ser aplicado.

Tiene aplicación en distintos campos como: urbanismo, topografía, gestión de rutas, arquitectura, sector agrario, edificaciones y obra civil, energía y agua, turismo, medio ambiente, etc. Hoy en día van en aumento las áreas en las que puede ser aplicado un SIG, ya que permite aportar el conocimiento necesario de acuerdo con el sector de interés (Malma Montaña & Moran Espinoza, 2013).

2.3.2 Componentes fundamentales de un SIG

Hardware. Es el componente físico de un computador, aquello que puede verse y tocarse, como la pantalla, el CPU, el teclado, el ratón, disco duro, la memoria RAM, estos son solo algunos de los elementos del equipo donde se opera un SIG; actualmente estos componentes se pueden encontrar en conjunto como teléfonos inteligentes, tabletas, laptops, computadoras de escritorio, incluso pantallas digitales en los coches, impresoras, escáner, GPS, módem, etc., los cuales permiten la entrada y salida de los datos.

Software. Es la parte digital de un computador un conjunto de herramientas y normas que permiten analizar, sintetizar, resguardar, manipular y desarrollar información, no existe un software de forma física es algo inmaterial. Hay diferentes programas que se adaptan de acuerdo con los objetivos y enfoque del proyecto, por ejemplo, puedes encontrar softwares que se emplean para modelar mapas y otros para el tratamiento de imágenes satelitales utilizando el que posea las herramientas necesarias para ejecutar el trabajo.

Datos. Se trata de una serie de elementos numéricos y alfanuméricos que conforman la información para representar algo, por ello el dato se puede considerar una de las partes más importantes de un SIG que se aplica a situaciones concretas. Un dato debe ser interpretado para que pueda tener un significado, ya que el dato por sí mismo no tiene significado alguno, pero al descifrarlo podemos entender su función y relacionarlo de manera coherente al tema de interés.

Tabla 5. Tipos de datos manipulados por un SIG. Elaboración propia, 2021.

Tipos de Datos	Descripción
Alfanuméricos	Proporcionan información detallada sobre las particularidades de objetos gráficos.
Numéricas	Representa digitalmente objetos de un plano, incluyendo coordenadas y símbolos que conforman un mapa.

Método. Implementar el método adecuado para el desarrollo de un proyecto determinará la calidad de los resultados proyectando éxito o fracaso en ellos por los que es importante contemplar qué métodos deben ser utilizados para el tipo de proyecto en el cual se está trabajando. Existen diferentes métodos que pueden interpretar los elementos recabados, dentro de ellos se encuentran los mapas topológicos, superposición de mapas, geoestadística, geocodificación, conectividad, vecindad, digitalización y una extensa variedad de técnicas.

Modelos de datos

Transformar el entorno físico a un formato preciso que pueda ser manipulado por un SIG no es tarea fácil ya que se deben conocer los datos del lugar, así como elegir el software que tenga las herramientas necesarias para el tratamiento de estos, de manera que pueda ser entendido por el ordenador al momento de relacionar la información entre sí.

Un modelo de datos define la manera en el cual se representará los distintos tipos de información donde cada tema es único al igual que sus características, por esta razón se han implementado dos modelos con procedimientos distintos el ráster y el vectorial con el fin de proporcionar la mejor representación de los datos. Cada uno cuenta con una organización distinta, aunque a simple vista pueden ser iguales al profundizar en las características de los modelos podemos notar que son distintos ya que el uso que deseamos darle a estos modelos se relaciona con el producto que deseamos obtener.

Modelo Vectorial. Este modelo grafica datos geográficos mediante vectores. Hay que recordar que un vector es un segmento de línea que tiene un punto inicial y uno final, señalando su dirección y sentido. Determinado en pares de coordenadas (x, y) en un sistema de referencia que pueden representarse de manera básica con puntos, líneas y polígonos. Este modelo es preciso si el objetivo es calcular superficies y distancias, además los trabajos realizados pueden compactarse, generarse y utilizarse fácilmente. Debido a que pueden representarse de manera simple se puede decir que resulta preciso delimitar un espacio favoreciendo a los elementos que pueden ser distinguidos claramente.

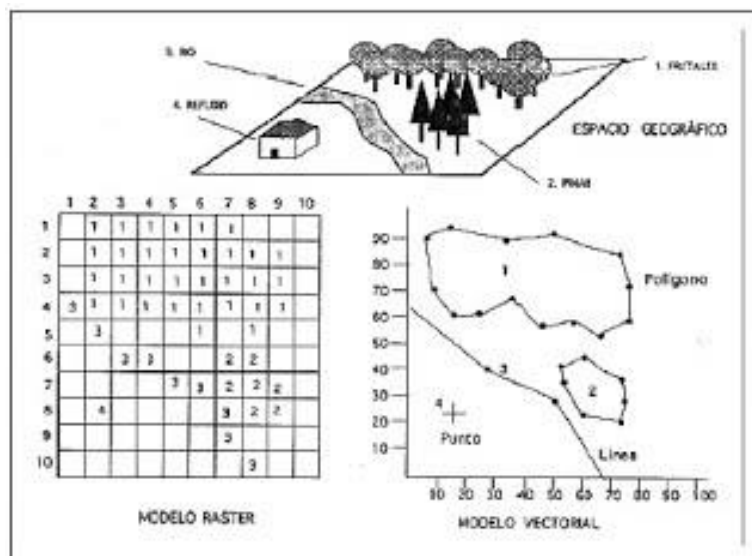


Ilustración 16. Ejemplificación de cómo se representa una superficie a través de los modelos Ráster y Vectorial. Uribe, 2014.

Modelo Ráster. Este modelo clasifica un espacio geográfico a través de una capa de celdas o píxeles, en otras palabras, la superficie que será representada se divide en filas y columnas que a su vez se dividen en píxeles generalmente en forma de cuadrados; a estos píxeles se les asigna un valor numérico, el cual representa un elemento del tema relacionado, por ejemplo: vegetación, hidrología, uso de suelo, entre otros.

De forma contraria al sistema vectorial este sistema representa un punto con una celda completa (píxel), una línea con una serie de píxeles y un polígono o superficie por un conjunto de píxeles. Mientras menor sea la superficie que se representará mayor será la precisión de los píxeles, a esto se le llama resolución.

2.3.4 Formatos de datos geográficos

Shapefile. Un shapefile es un formato sencillo utilizado para almacenar información sobre atributos de entidades geográficas; estas entidades geográficas se representan mediante puntos, líneas o polígonos que pertenecen a datos de tipo vectorial, el formato en los que son representados normalmente termina en .shp, .shx y .dbf, son necesarios ya que almacenan la información de manera estructurada.

KML/KMZ. Este formato fue desarrollado para Google Earth mediante el cual se comparten datos geográficos con personas que no suelen utilizar un SIG permitiendo que los archivos se envíen de forma fácil a través de internet, respeta los elementos de un mapa o capa, por ejemplo simbología, atributos, imágenes, etc., sus archivos se presentan en formato .kml o .kmz y es compatible con softwares de SIG.

Layer. Este tipo de archivos son representados por polígonos, polilíneas, conjunto de datos rasterizados o puntos que se muestran mediante capas garantizando que la simbología se muestre de la misma manera si se envía el archivo y se abre en un software.

GeoTIFF. Este formato es un archivo estándar utilizado para la teledetección por satélite y SIG, permite encajar un archivo de imagen en el formato .tiff además de información necesaria para que la imagen pueda ser referenciada permitiendo que la información sea compatible con softwares dedicados a SIG y teledetección.

Además de los formatos antes mencionados existen otros como el tipo .txt que permite estructurar información, el .dwg utilizado en un CAD para dibujar, el .jpeg es un formato para imágenes, bases de datos como los que se generan en Excel en formato .xls. Este tipo de formatos se consideran compatibles para realizar trabajos en softwares especializados en el análisis de información como teledetección, cartografía, sistemas de información geográfica, etc.

Tabla 6. Tipos de formatos utilizados para el manejo de datos en softwares digitales. Elaboración propia, 2021.

Nombre	Abreviatura	Descripción
Shapefile	.shp	Este tipo de formato almacena entidades geométricas.
Archivos de Forma	.shx	Almacena el catálogo de los objetos geométricos.
dBase	.dbf	Es la base de datos.
Keyhole Markup Language	.kml	Utilizado para visualizar información en contexto geográfico
Keyhole Markup Language (comprimido, Z al final quiere decir zip)	.kmz	Versión comprimida del .kml
Tagged Image File Format	.tiff	Formato de archivo informático que almacena imágenes de mapas bits
Drawing	.dwg	Formato de dibujo computarizado, utilizado principalmente por AutoCAD
Archivo de Proyecto	.prj	Archivos de datos en lugar de los documentos o medios de comunicación
Textfile	.txt	Editor de texto simple.
Microsoft Excel 97-2003.	.xls	Almacena hojas de cálculo
Joint Photographic Experts Group	.jpeg	Formato estándar para imágenes
Graphics Interchange Format	.gif	Imágenes animadas
Portable Network Graphics	.png	Algoritmo de compresión que reconstruye datos de manera exacta a los originales

2.3.5 Softwares utilizados para el manejo de los SIG

ArcGIS. Este software es utilizado comúnmente desde una versión académica por cualquier usuario desee compartir su conocimiento geográfico a través de las herramientas que este software ofrece. Tiene un sistema que permite crear y manipular sistemas de información geográfica a través de la organización de información sobre cualquier sector en el que se desee trabajar. Fue creado por Environmental Systems Research Institute (ESRI) y sus funciones son el análisis, diseño, edición, publicación y captura de información geográfica.

Dentro de sus herramientas se encuentran diversas aplicaciones y herramientas diseñadas especialmente para áreas profesionales en los que se requiera del análisis de información común, académica y profesional como ArcMap, ArcToolbox, ArcGlobe, ArcReader, ArcView, ArcInfo, ArcCatalog y algunas actualizaciones en herramientas que contienen diseños avanzados.

Tabla 7. Comparación de algunos softwares utilizados para el análisis de información geográfica. Elaboración propia, 2021.

Software	Ventajas	Desventajas
ArcGIS Software para el procesamiento y análisis de información geográfica	-Abierto al público -Capturas y obtienes información en tiempo real -Salida cartográfica simple -Estabilidad, modelado y cartografía web	-Herramientas públicas limitadas -Compras Integradas de alto costo -Conexión a Internet todo el tiempo -Solo puede instalarse en Windows
Google Earth Servidor de imágenes satelitales	-Ofrece mucha información y es fácil de utilizar -Imágenes reales -Búsqueda de información rápida	-La cercanía de sus fotografías es de mala calidad -Información incompleta o sin actualizar
HecRAS Simulador de flujos de agua	-Permite la simulación en 1D/2D -disponible al dominio público -Mallas computacionales estructuradas y no estructuradas. -Tabla detallada de propiedades hidráulicas para celdas y contornos de celdas computaciones 2D, que permiten acelerar los tiempos de cálculo.	-Puede encontrarse inestabilidad numérica si no hay experiencia en el uso del software -Modelo unidimensional hidrodinámico, no funciona con modelos multidimensionales - No se puede ejecutar simulación de calidad de agua dentro de un área 2D.

Hec-Ras. Este modelo fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de EE. UU. para administrar de forma privada lagos, ríos o cauces que fueran de su propiedad, este software tiene la capacidad de establecer inundaciones con flujos estacionarios y no estacionarios además cuenta con una extensión llamada Hec-GEORAS que permite el tratamiento de la información en conjunto con herramientas del software ArcGIS.

Este software permite realizar el análisis de las características de cauces, calcular la superficie del agua en puntos clave, realizar simulaciones en tiempos determinados desde segundos hasta años, realizar análisis de la calidad del agua, así como la planeación de proyectos hidráulicos como diseño y análisis de puentes, alcantarillado, análisis de una rotura en presas y algunas otras funciones (Mora Mariño & Gilberto Ochoa, 2016).



Ilustración 17. Aplicaciones para el manejo de SIG, 2021. Elaboración propia, 2021.

2.3.6 Modelos Digitales de Elevación

De acuerdo con Felicísimo (2021) “se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno” (Felicísimo, 2021). Puede ser interpretado de forma digital ráster en el cual se representa la topografía del espacio terrenal de interés, además se pueden generar con ayuda de mapas topográficos, fotogrametría, sistemas láser como el Light Detection and Ranging (LIDAR) o de imágenes satelitales, estas últimas cubren áreas extensas y los datos que ofrecen son más sólidos.

En la actualidad el análisis se realiza mediante sistemas de información geográfica lo que permite al usuario obtener datos aproximados a la realidad con ayuda de los MDE, ya que esta información puede ser manipulada a través de perfiles longitudinales, tintas hipsométricas, vistas en 3D, intervalos de color, modelamientos 3D, sobreposición de información entre otras aplicaciones.

De acuerdo con la Norma Técnica para la Generación de Modelos Digitales de Elevación (2014) que comparte la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente del INEGI, el sistema de referencia de un MDE debe ser de dos formas: sistema de referencia con coordenadas cartesianas y sistema de referencia con coordenadas geográficas. En el primer sistema (X, Y) se debe asegurar el cubrimiento de la zona terrestre que va a modelar además los valores deben representarse en unidades de metro, mientras que en el segundo las unidades que maneja deben ser en segundos de arco ya que debe estar referido al elipsoide (INEGI, 2014, pág. 89).

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) sirven como base para el aprovechamiento de los valores altitudinales con respecto al nivel medio del mar y de esta manera generar modelos secundarios que permitan analizar características morfológicas de la configuración terrestre como la forma del relieve, pendiente, orientación, desniveles, profundidades, volúmenes, etc.

También conocido como Modelo Digital del Terreno (MDT) derivado de sus representaciones en las que se toman en cuenta exclusivamente el relieve de forma natural es decir que no se incorporan elementos naturales y mucho menos las que han sido establecidas por el hombre (INEGI, 2021).

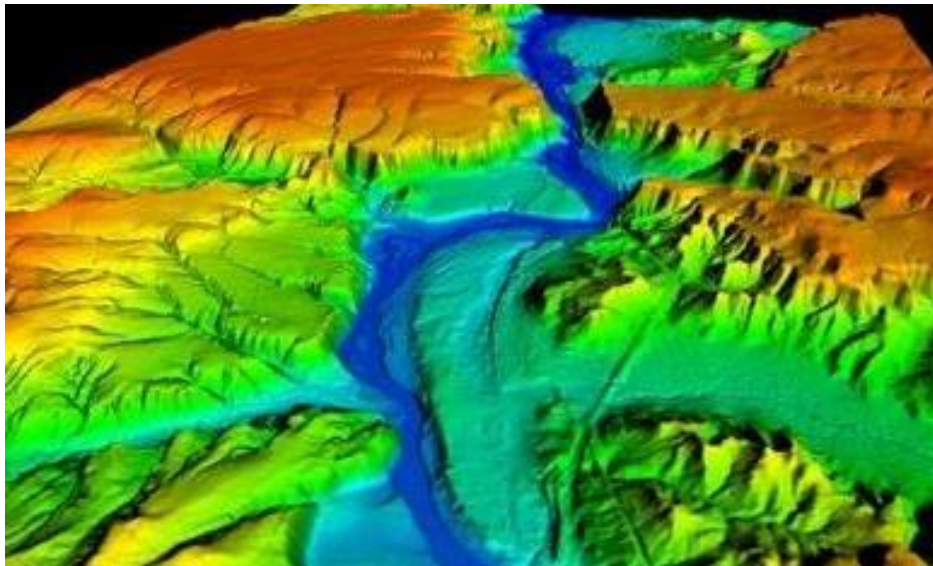


Ilustración 18. Modelo Digital de Terreno. INEGI, 2021.

Modelos Digitales de Superficies

Se entiende como Modelo Digital de Superficies (MDS) a una estructura numérica en los valores de elevaciones del relieve terrestre considerando un nivel de referencia o el nivel medio del mar, esta representación tomara en cuenta la superficie de forma natural y elementos artificiales constituidos por el hombre como la vegetación, infraestructura, edificaciones, etc. Este modelo, al igual que el MDT, se genera en base al uso que se les dará ya que un MDS es importante para realizar análisis a zonas en riesgos de inundación, laderas susceptibles a derrumbes, planeación urbana, etc., (Puchuc, 2014). Estos modelos se pueden generar mediante la tecnología de la fotogrametría, además de las fotografías satelitales que son compartidas en diversas plataformas como Google Earth, Sentinel Playground, Copernicus, USGS Earth Explorer entre otras plataformas.

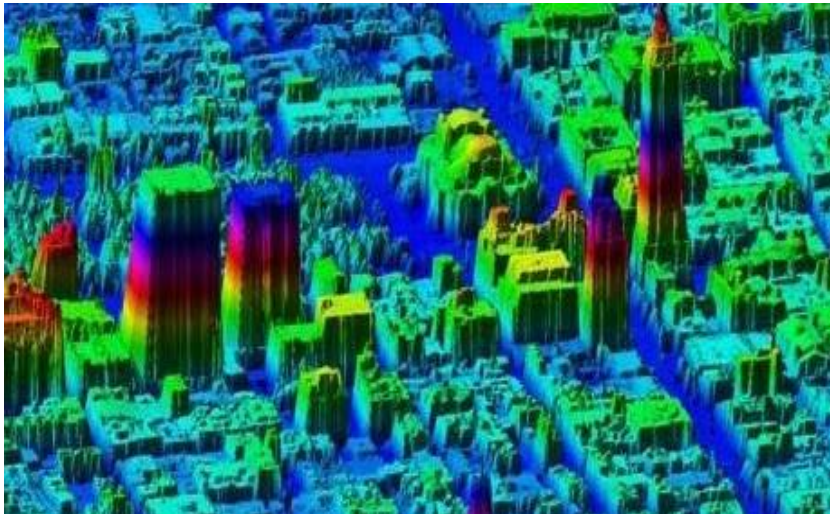


Ilustración 19. Modelo Digital de Superficie. INEGI, 2021.

2.4 Hidrología

En numerosas ocasiones se ha propuesto nombrar al planeta tierra como el planeta azul considerando la cantidad de agua por la que está cubierta, pero no toda el agua puede ser utilizada debido a que el 97% del agua es parte del mar siendo está completamente salada, cerca de un 2% se encuentra en estado sólido en los glaciares y menos de un 0.6% puede ser aprovechada por el ser vivo; es uno de los aspectos principales para mantener la vida de los seres vivos en el planeta, aunque se considera muy poco el porcentaje de agua que es usado por los seres vivos en la tabla 5 se muestra un aspecto más desglosado las cantidades que estos porcentajes representan.

Tabla 8. Distribución del agua en el planeta Tierra. Germán Sáenz Monsalve, 1999.

Ubicación	Volumen Miles de millones ³	Porcentaje
Agua Superficial		
Lagos de agua dulce	123.000	0,009
Lagos salinos y mares int.	102.400	0,008
Canales y ríos	1.229	0,0001
Agua subterránea		
No saturada (humedad suelo)	65.500	0,005
Agua subterránea (hasta 800m)	4.100.000	0,31
Agua subterránea profunda	4.100.000	0,31
Otras		
Glaciares y hielo	28.600.000	2,15
Humedad en la atmósfera	12.700	0,001
Océanos	1.298.000.000	97,3
Totales	1.335.104.829	100%

La hidrología es una ciencia que está destinada al estudio de la distribución del agua, el comportamiento, sus propiedades químicas y físicas, exploración a través de otras ramas, obtención de datos de su calidad, estudia el ciclo hidrológico y cómo se comporta entre otros aspectos.

“La hidrología versa sobre el agua de la Tierra, su existencia y distribución, sus propiedades físicas y químicas, su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua sobre la Tierra” (Sáenz, 1999). A pesar de las diferencias de opiniones que existen entre autores que hablan acerca de la hidrología, gran parte coincide en describir el ciclo hidrológico como una definición de esta ciencia.

La hidrología es un campo extenso que investiga el agua incluyendo su comportamiento cuando llueve, el escurrimiento, el tiempo de precipitación, el volumen y otros factores que parezcan relevantes en base a la investigación o proyecto de interés; para lograr esto se necesitan conocer algunas variables que se pueden calcular o encontrar en planos topográficos y portales de información de la red hídrica de las cuales hablaremos más adelante ya que son importantes para el presente estudio.

2.4.1 Cuenca hidrológica

Se trata de un área del territorio delimitado que permite el recorrido del agua, lo que quiere decir que si el territorio fuera impermeable los escurrimientos que se unen a un cauce principal se drenarían a un mismo punto. Esto puede interpretarse como todos aquellos escurrimientos superficiales que drenan hacia un cauce principal de agua que se encuentra en la parte central de un territorio y ocupa la parte más baja de esta extensión, logrando que el agua que escurra hacia el cauce principal y termine en el mar o en un lago amplio.

El escurrimiento de las aguas de una cuenca se debe a la forma que tiene, sin embargo, no todas tienen las mismas características y debido a esto se deben considerar estas características al momento de drenar ya que existen tres tipos de formas de cuencas.

Endorreicas: este tipo de cuencas desembocan dentro del territorio es decir en lugares como ríos, lagos, lagunas, etc., considerando que está dentro de un procedimiento cerrado.

Exorreicas: las cuencas exorreicas desembocan fuera del territorio en grandes cuerpos de agua como mares y océanos, considerándose un sistema abierto.

Arreicas: las cuencas arreicas son aquellas que se evaporan o se filtran en la tierra antes de llegar a un punto es decir no desembocan en ningún río ni escurrimiento.

Escurreimientos

Dentro de la cuenca existen algunos tipos de escurrimientos que se pueden clasificar en base al comportamiento y características que presentan, por ejemplo, el volumen, presencia de manera permanente, durante alguna precipitación o solo en temporada de lluvias.

Corrientes intermitentes: Estas aparecen solamente en temporadas de lluvias y desaparecen en verano debido al calor que evapora el agua. Esto ocurre porque en temporada de lluvias el nivel freático del agua sube y permite que aparezcan este tipo de escurrimientos, mientras que en el verano este nivel baja y por lo tanto el escurrimiento desaparece.

Corrientes perennes: Son las que están todo el año en constante movimiento, debido a que el nivel freático se mantiene arriba del fondo del cauce.

Corrientes efímeras: Corrientes de agua que aparecen durante o después de las lluvias de manera perecedera, ya que el agua se mantiene debajo del fondo del cauce.

Características generales de una Cuenca

El *parteaguas* es el encargado de dividir las cuencas vecinas unas de otras, tomando en cuenta las elevaciones más altas para delimitar el sentido que tomarán los escurrimientos de agua. Este se obtiene localizando el cauce principal de la zona acompañado de sus corrientes secundarias y otras que sean parte de este, es decir que desembocan en el cauce principal.

Después se localizan los puntos más altos sobre las curvas de nivel en los cuales aparecerá su cota, todo esto en un plano del territorio, cortando ortogonalmente las curvas de nivel, es decir, delimitando con estos puntos alrededor de la cuenca. Finalmente debemos tomar en cuenta que el parteaguas no debe cortar corrientes de agua ni escurrimientos además no debe tomar en cuenta los puntos altos que se encuentren dentro de la cuenca.

El *perímetro* es la longitud que se ha obtenido al delimitar la cuenca. Se expresa en km y se puede obtener de la siguiente manera.

El *área* de una cuenca se mide en metros cuadrados o cualquiera de sus múltiplos, además se encuentra delimitada por el parteaguas el cual considera la elevación.

Longitud del cauce principal (L). Es la longitud del río principal en el cual se drenan todos los tributarios y se expresa en km.

Estimación de un caudal a partir de una precipitación

La *pendiente* de la cuenca es un factor importante ya que mide la velocidad con la que escurren las corrientes de aguas y la erosión que provoca a la cuenca. Este método se basa en la relación de variables como la elevación máxima, elevación mínima y la longitud del cauce considerando las curvas de nivel y puede ser expresada como porcentaje (%).

$$S = \frac{H_M - H_m}{L}$$

H_M = Altura mayor del terreno (m)

H_m = Altura menor del terreno (m)

S (%) = Pendiente de la cuenca

L = Longitud del cauce

El *tiempo de concentración* es definido como el tiempo que tarda una gota de lluvia en recorrer el punto más alejado de la salida de la cuenca hasta la salida de esta, relacionando la longitud y la pendiente del cauce principal.

$$T_c = \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

T_c = tiempo de concentración (hr)

L =longitud del cauce principal (m)

S =pendiente del cauce principal (m)

En base a la metodología del CENAPRED (2021) para el cálculo del tiempo de concentración en un tiempo en específico se utiliza la siguiente fórmula con valores representativos.

$$P_{tc} = \frac{P_{24} - P_1}{3.1781} (\ln(tc)) + P_1$$

P_{tc} = valor de la precipitación igual al tiempo de concentración de la cuenca en estudio, mm.

P_{24} = valor de la precipitación para una duración de 24 hrs y un determinado periodo de retorno, mm.

P_1 = valor de la precipitación para una duración de 1 hr y un determinado periodo de retorno, mm.

tc = tiempo de concentración de la cuenca en estudio, h.

\ln = Logaritmo natural.

La *intensidad* se puede definir como instantánea, es la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo.

$$i = \frac{P_{tc}}{d}$$

i = intensidad de lluvia

P_{tc} = valor de la precipitación igual al tiempo de concentración de la cuenca en estudio, mm.

d = duración, h.

El *periodo de retorno* trata de calcular la probabilidad con la que ocurrirá un determinado evento durante cierto tiempo, si podrá igualar o superar un suceso, es decir, calcula la frecuencia con la que ocurre el evento, y puede representarse en años, horas, días, etc.; para ello se relacionan variables como la intensidad de la lluvia, tiempo de concentración y duración de la precipitación.

Para calcular el *gasto de diseño* existen distintos métodos, pero mencionaremos cómo funciona el método racional. Este método es uno de los más antiguos y quizás el más utilizado, es fundamental para conocer el volumen de agua que llueve dentro de una cuenca en un tiempo determinado.

Consiste en que la intensidad de lluvia comienza instantáneamente y continúa indefinidamente, hasta que el escurrimiento alcanza el tiempo de concentración, como consecuencia la intensidad de lluvia adquiere el mismo valor que el tiempo de concentración que corresponde al periodo de retorno de la creciente.

$$Q = 0.2778 * C * I * A$$

Q= gasto en metros cúbicos por segundo (m³ /s).

I= intensidad en milímetros por hora (mm/h).

A= área en kilómetros cuadrados (km²).

C= coeficiente de escurrimiento, adimensional.

Los *hidrogramas* representan gráficamente la relación de la variación de una corriente de agua con el tiempo y puede representarse en periodos de tiempo desde horas hasta años.

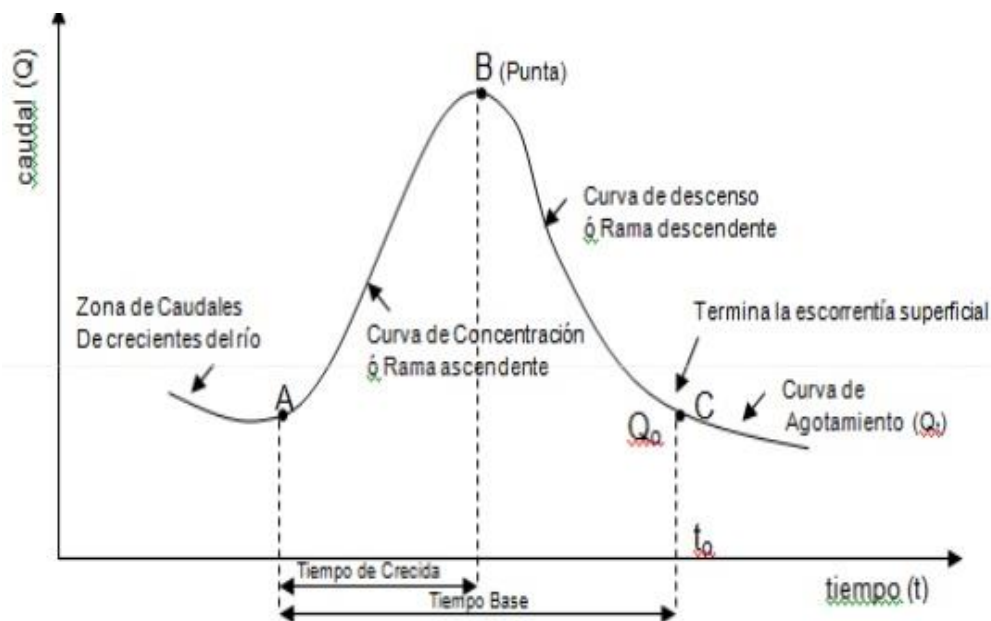


Ilustración 20. Ejemplo de un Hidrograma. Curso de Hidrología Aplicada, 2014.

Estas variables propuestas por Sáenz (1999) en su libro *Hidrología en la Ingeniería* muestra el procedimiento que conlleva obtener información acerca de una cuenca y algunas de estas se encuentran registradas en los geoportales que comparten los organismos públicos y otras deben realizarse mediante la aplicación de las fórmulas anteriores, que aunque ya tienen años siguen siendo utilizadas, aportando precisión en los resultados que se obtienen, por lo que genera confianza el uso de estos modelos matemáticos.

El análisis de los parámetros permite conocer el comportamiento de la cuenca y sus ramificaciones para ser aplicado ante proyectos de construcción como presas, vías de comunicación, puentes e infraestructura en general que tenga algún encuentro con el agua, asimismo mapas de cualquier entorno ya sea de aspecto social o ambiental que permita caracterizar beneficios o vulnerabilidades que puedan alcanzar a la población que habita cerca de este entorno ambiental.

Hoy en día las metodologías propuestas por diferentes autores ya se han implementado en diferentes softwares que permiten calcular algunos parámetros de manera inmediata, además otras asociaciones del sector público se encargan de compartir diversa información sobre el comportamiento de la hidrología en la república mexicana e incluso de distintas partes del mundo. Por ello es importante conocer las bases de los parámetros que se desea dominar ya que sin estas ecuaciones los estudios hidrológicos no se podrían llevar a cabo y esto conlleva una responsabilidad no solo con la persona que realiza el análisis de la información si no con la población o público con el que se comparte.

Así la hidrología se relaciona con otras ciencias como la climatología que permiten calcular el desarrollo e impacto que tienen sobre el territorio compartiendo información sobre la cantidad de agua que precipita en una zona por causa de algún fenómeno meteorológico o por los efectos del cambio climático como consecuencia del calentamiento global y recae en la población.

Por estas razones es importante tener conocimiento adecuado sobre esta ciencia que permite a la población interesada en el tema obtener resultados para implementar diferentes soluciones que favorezcan a la población, asociaciones y público en general que desee generar y compartir información favorable para el control y reducción de las consecuencias que puede traer el mal manejo de la información.

Capítulo III. Factores relacionados con los desastres naturales

3.1 Riesgo

La Real Academia Española (2014) define la palabra riesgo como “contingencia o proximidad de un daño”, si traducimos las oraciones podemos entender que se trata de la posibilidad que ocurra algo de manera negativa o sea próximo a sufrir algún daño. De esta manera podemos decir que el riesgo trata de un suceso que ocurre aleatoriamente. “Tales como muertes, lesiones, propiedad, medios de vida, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental, como resultado de interacciones entre las amenazas naturales o antropogénicas y las condiciones de vulnerabilidad” (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009).

El riesgo se ha adaptado a diferentes campos de investigación como la salud, la educación, fenómenos naturales, economía, entre otras disciplinas académicas, la mayoría entienden este concepto de manera distinta de una forma convincente que pueda sustentar el trabajo realizado, pero constantemente haciendo referencia a una situación no segura en los que no se garantizan resultados (Universidad Nacional del Sur, 2011, pág. 86).

Desde la perspectiva de autores como Beltrán (2020) el riesgo se divide en dos circunstancias distintas de las cuales una centra en el riesgo de origen natural con un enfoque a situaciones que ocurren en el planeta y la otra hace énfasis en el ámbito social. Ambos son necesarios, aunque la definición del concepto no es clara para todos ya que suelen relacionarlo con la definición del peligro.

Si hablamos del riesgo desde el punto de vista natural podemos encontrar que el concepto es relativamente nuevo ya que se descubrió a inicios de la Edad Media, pero más que riesgo se trataba del concepto de peligro al cual se le atribuían catástrofes que eran vistas como divinidades, sucesos que se les atribuían a los dioses debido a las creencias que se tenían durante esa época, era entonces el peligro lo que dominaba en la sociedad antigua mientras que en la moderna se catalogaba con el concepto de riesgo. La diferencia que se describe hoy en día entre estos términos es que el peligro habla de algo determinado mientras que el riesgo no es más que incertidumbre ante un suceso (Gamboa, 2011, págs. 11-13).

“En definitiva, es posible entender por riesgo natural como la probabilidad de que en un espacio ocurra un peligro determinado de origen natural, y que pueda generar potenciales daños y pérdidas en las actividades humanas. Por ende, el riesgo sólo puede ser definido a partir del cálculo de probabilidades con datos adecuados, ya sean de tipo cuantitativos o cualitativos” (Rojas Vilches & Martínez Reyes, 2011).

Durante las investigaciones sobre el riesgo se encontraron factores que estaban ligados a los desastres naturales como la magnitud y frecuencia con la que se presentaban estos eventos, lo cual le dio un enfoque distinto al concepto en el que determinaron que se trataban de fenómenos naturales extremos inevitables. De esta manera Luhmann (1991) interpreta el riesgo como consecuencia de una decisión combinada con el peligro del entorno.

Explican diversos autores la relación del riesgo con los desastres naturales y atribuyen al resultado de este la combinación de factores como peligro, vulnerabilidad, exposición, desastre, entre otros. Aún con todo el conocimiento científico, este no es suficiente para detectar y prever el riesgo...

“El riesgo hace referencia al potencial impacto negativo de un proceso presente o futuro sobre algún valor que se asigna a cualidades positivas. Existen al menos cinco definiciones que los investigadores han tomado como herramientas para definir el riesgo durante el estudio de los desastres naturales.

- Un evento no deseado que puede o no ocurrir.
- La causa de un evento no deseado que puede o no ocurrir.
- La probabilidad de un evento no deseado que puede o no ocurrir.
- El valor estadístico de un evento no deseado que puede o no ocurrir.
- La toma de una decisión basada en las probabilidades conocidas.” (Saldaña, 2007, pág. 34).

El riesgo se puede evaluar de distintas maneras, ya que algunos conceptos implican más variables que otras y la forma de aplicarlo difiere según el autor que lo propone. A continuación, se mostrará una serie de conceptos evaluados desde la perspectiva de algunos autores (López, 2018).

Tabla 9. Fórmulas de Riesgo. Revista "Recursos Naturales y Sociedad", 2018.

Autor	Concepto
White (1974)	Desastre = Riesgo x Vulnerabilidad
Varnes (1984)	Riesgo = Exposición x Peligro x Vulnerabilidad
Maskrey (1989)	Riesgo = Peligro + Vulnerabilidad
Wilches (1993)	Desastre = Riesgo x Vulnerabilidad / Preparación

De esta manera nos podemos dar cuenta que con las referencias antes mencionadas el CENAPRED preparó un concepto en el que se basa para calcular el riesgo a través de una fórmula que se compone de factores como inundación, vulnerabilidad y peligro. Y se obtiene de la siguiente manera.

$$R = CVP$$

R= riesgo

C= valor de los bienes expuestos

V= porcentaje de daños en una vivienda, ocasionado por inundación

P= probabilidad de que ocurra un determinado evento

Estas variables se pueden medir a través de los daños ocasionados, lo cual implica que existen bienes expuestos y en este caso se mide a través de dinero y en base al método por el cual se calculen puede haber resultados distintos. De esta manera podemos aplicar la fórmula para cualquier periodo de retorno del cual deseamos obtener dicha información, pueden ser 2, 60, 180 años y los que convengan. A continuación, se mostrará la aplicación de las fórmulas para un periodo de retorno de 150 años.

$$R = CV_{Tr150}P_{Tr150}$$

C= valor de los bienes expuestos

P_{Tr150} = probabilidad de que se presente un evento asociado con un periodo de retorno de 150 años

V_{Tr150} = vulnerabilidad asociada con el tirante de la inundación correspondiente a un periodo de retorno de 150 años

Si deseamos calcular el daño causado cada año se suma el producto de las variables de vulnerabilidad, peligro y bienes expuestos por vivienda.

$$R_j = \sum_{i=1}^m C_j P(i) * V_i(Y_i)$$

- i= periodo de retorno por analizar
- j= vivienda en la que se realiza el análisis
- Y_i = tirante asociado a diferentes periodos de retorno
- P_i = función de peligro
- $V_i(Y_i)$ = función de vulnerabilidad

Acorde a los resultados obtenidos de las fórmulas aplicadas, se puede obtener un índice de riesgo de los bienes que están expuestos, estos valores se clasifican en la tabla siguiente tomando en cuenta que el grado de riesgo se mide como alto, medio y bajo según corresponda el valor al rango del índice indicado.

Tabla 10. Clasificación del índice de Riesgo. CENAPRED, 2014.

Alto	$0.67 < I_{Rj} < 1.0$
Medio	$0.33 < I_{Rj} < 0.67$
Bajo	$0 < I_{Rj} < 0.33$

Una vez que se le asigna un grado de riesgo se puede clasificar a través de colores, los cuales ayudarán a facilitar la identificación de las zonas que han sido más afectadas por las inundaciones. Esta clasificación consta de tres colores los cuales se utilizan normalmente para estos casos, caracterizando las zonas de alto riesgo con el rojo, un grado medio de color amarillo y para un bajo grado de inundación el verde, el cual indica que es una zona con pocas probabilidades de inundación.

Mediante la tecnología utilizada en la República Mexicana propuesta por el CENAPRED, se pueden realizar mapas que permiten identificar a través de sus colores la información de las zonas expuestas a inundaciones clasificadas de acuerdo con el grado de afectación, sin embargo, aún existen pendientes de estos mapas dentro de diferentes estados.

3.2 Vulnerabilidad

En las últimas décadas la vulnerabilidad se ha estudiado desde dos perspectivas distintas, la social y la ambiental. Proporcionando un significado aplicable a cualquier situación, que va desde un sistema informático hasta la salud de un ser humano, aunque se puede relacionar con el concepto de pobreza, estos no tienen el mismo significado.

La vulnerabilidad social se caracteriza por el abandono de familias y comunidades ante situaciones económicas, de salud, empleo, educación, entre otros factores, y cómo estos grupos implementan estrategias para afrontar estos cambios tan repentinos, se puede considerar que estos cambios afectan casi al mismo grado que afectaría un desastre natural, ya que las personas no están preparadas para situaciones inesperadas. Además, las oportunidades que ofrece el gobierno a este grupo de personas denominadas como “pobres” no son las mismas que se le ofrece a un grupo de personas de alto nivel económico, creando un estado de inseguridad y fragilidad (Pizarro, 2001).

Desde la perspectiva de vulnerabilidad ambiental podemos describir que se trata de un espacio geográfico inclinado a sufrir daños ocasionados por desastres naturales como inundaciones, terremotos, huracanes, tsunamis, eventos y situaciones que no pueden ser controlados, pero pueden moderarse con recursos y estrategias implementadas como bosques, presas, muros de contención, alarmas preventivas, etc., (Perez, 2017).

La Real Academia Española (RAE) se refiere a la vulnerabilidad como “...puede ser herido o recibir lesión, física o moralmente” (2014). Desde el primer término de esta definición se puede interpretar como un estado negativo algo que puede ocasionar daño; es por eso que se relaciona con la fragilidad y debilidad de acuerdo a la situación que enfrenta ya sea social o ambiental.

La Organización Mundial de la Salud (2021) señala factores que forman parte de la vulnerabilidad ante un desastre natural; estos pueden ser naturales o de origen humano como personas que deciden vivir en llanuras aluviales, viviendas con cimientos que no son resistentes, falta de información sobre las consecuencias que puede ocasionar un desastre natural y el espacio geográfico en el que se encuentran así como la poca absorción que tiene la tierra ante la lluvia debido a la erosión o revestimiento de las calles.

La vulnerabilidad se puede determinar en base al tipo de vivienda que habita la población, CENAPRED realizó una metodología “...que corresponde al análisis de las viviendas en la localidad de estudio para conocer qué tan susceptibles son a las inundaciones.” (Salinas, 2011). Estas características se obtienen a través del censo de población y vivienda que realiza el INEGI en zonas urbanas a través de domicilios, AGEB o manzanas.

En la tabla 8, se puede observar la clasificación del tipo de material que son utilizados regularmente para muros y techos en viviendas de nuestro país.

Tabla 11. Características de las viviendas en México. CENAPRED, 2007.

Tipo	Material	Tipo	Material
M1	Material de desecho	T1	Material de desecho
M2	Láminas de cartón	T2	Láminas de cartón
M3	Lámina de asbesto o metálica	T3	Lámina de asbesto o metálica
M4	Carrizo, bambú o palma	T4	Palma, tejamanil o madera
M5	Embarro o bajareque	T5	Teja
M6	Madera	T6	Losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con viguería
M7	Adobe		
M8	Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto		

Asimismo, para conocer la vulnerabilidad de las viviendas ante inundaciones, se realizan combinaciones de estas características, descartando las que no son posibles que sean combinadas y enumerando las que se acercan a rasgos reales de un domicilio.

Posteriormente a la combinación del tipo de material de las viviendas, estas se describen y se enumeran, además se les asigna un grado de vulnerabilidad, considerando la fragilidad de sus materiales, mediante colores que facilitarán la representación en un mapa.

La vulnerabilidad es un factor principal e importante para conocer a la población, viviendas y el entorno ambiental en el que se desarrolla la humanidad, sin embargo, aunque ya es posible calcular esta variable se considera un proceso un tanto complejo debido a los distintos factores que deben tomarse en cuenta ya sean relacionados con el medio ambiente, los bienes materiales o la sociedad.

3.3 Peligro

El peligro se refiere a una situación u obstáculo que amenaza con suceder muy pronto, es decir, algo que pueda causar daño en la salud, el ambiente o propiedad, según el caso para el que se presente y esto pueda suceder de forma rápida. Aunque el concepto en muchas ocasiones puede relacionarse de manera equívoca con el riesgo, no es lo mismo, ya que el peligro se cataloga como una posibilidad de amenaza mientras que el riesgo es la posibilidad de una desgracia o daño.

Una forma efectiva de hacerle a una situación merecedora de un daño es asignando valores que permitan identificar la gravedad de un daño y compararlo con una escala numérica midiendo la intensidad y el periodo de retorno (Servicio Geológico Mexicano, 2021).

Existen diferentes campos en los que se utiliza el término de peligro, aunque el enfoque que se le asigna es referente al natural y lo que implica debido al tema de investigación; los fenómenos naturales que ocurren cerca de los asentamientos humanos suelen convertirse en peligro, ya que estos siguen su curso de forma natural y se ven afectado por los procesos antrópicos provocando situaciones inminentes (Martínez M. T., 2010).

Las interpretaciones sobre el peligro son recientes ya que se relacionaban el peligro natural, peligro ambiental y el peligro relacionado con el que ocasiona el hombre, pero debido a la evolución e investigaciones del concepto se decidió separarlos.

De manera que un peligro natural está catalogado como los daños que ocasiona un fenómeno producido de forma natural; el peligro antrópico está dado por el impacto de las acciones y decisiones que realiza el ser humano y el peligro ambiental es por causas naturales y/o antrópicas (Ayuntamiento de Puebla, 2011).

3.3 Desastres naturales

Durante décadas las civilizaciones y culturas han relacionado los cambios de la tierra con faenas divinas de los dioses, visiones escritas en la biblia de los desastres que ocurrirían para castigar a los seres vivos, pero es hasta finales del siglo XIX que las personas comenzaron a interpretar estos sucesos como un periodo natural por el cual tiene que pasar la tierra. Hoy en día pensar que un ser humano puede invocar un terremoto, tsunami, lluvia o incluso la erupción de un volcán es ilógica, pero debido a la falta de información en comunidades marginadas, zonas rurales e indígenas, aún es común pensar que estos factores son un castigo divino o incluso un hecho mágico.

Los desastres naturales son ocasionados frecuentemente por fenómenos hidrometeorológicos y afectan constantemente al mundo y nuestro país. Se denomina desastres naturales a los eventos que superan a una sociedad, es decir que les ocasiona pérdidas humanas, materiales, ambientales y destruye el entorno en el que habitan (Beltrán, 2020).

Distribución de tipo de desastres en el mundo (1991-2005)

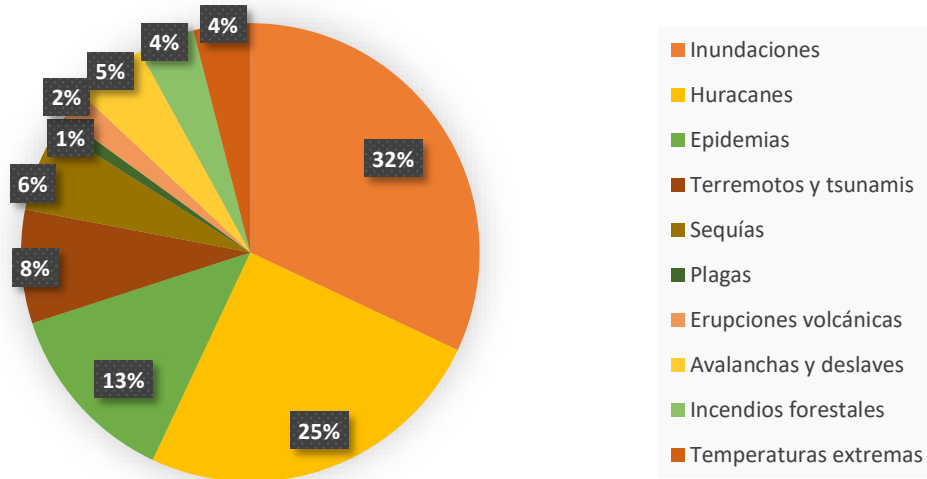


Ilustración 21. Fenómenos naturales en el mundo. Saldaña, 2007.

De acuerdo con la definición moderna “un desastre es un acontecimiento o conjunto de acontecimientos causado por la naturaleza (deslaves, huracanes, terremotos, etcétera). A este hecho de origen natural se le suman los desastres de otro tipo como los que son causados por la acción humana: accidentes comunes o nucleares, guerras e incendios forestales” (Saldaña, 2007). Los fenómenos hidrometeorológicos son producidos por factores como temperatura, agua, viento, etc., y generan cambios bruscos en el entorno como tormentas, lluvias, ciclones, etc.

La relación del ser humano con la naturaleza es inevitable, aunque se han creado distintos métodos para mitigar el gran impacto de los desastres naturales ante la sociedad, estos no pueden evitarse, porque no es posible interrumpir el proceso de la naturaleza, por ejemplo, nadie puede evitar que las placas tectónicas se muevan, ni la erupción de un volcán, sin embargo, se puede prevenir y aminorar el impacto sobre una población o infraestructura advirtiéndolo y dando a conocer las zonas de alta actividad de fenómenos naturales como movimiento sísmico, riesgo de inundación en una zona costera, deslaves en cerros, etcétera.

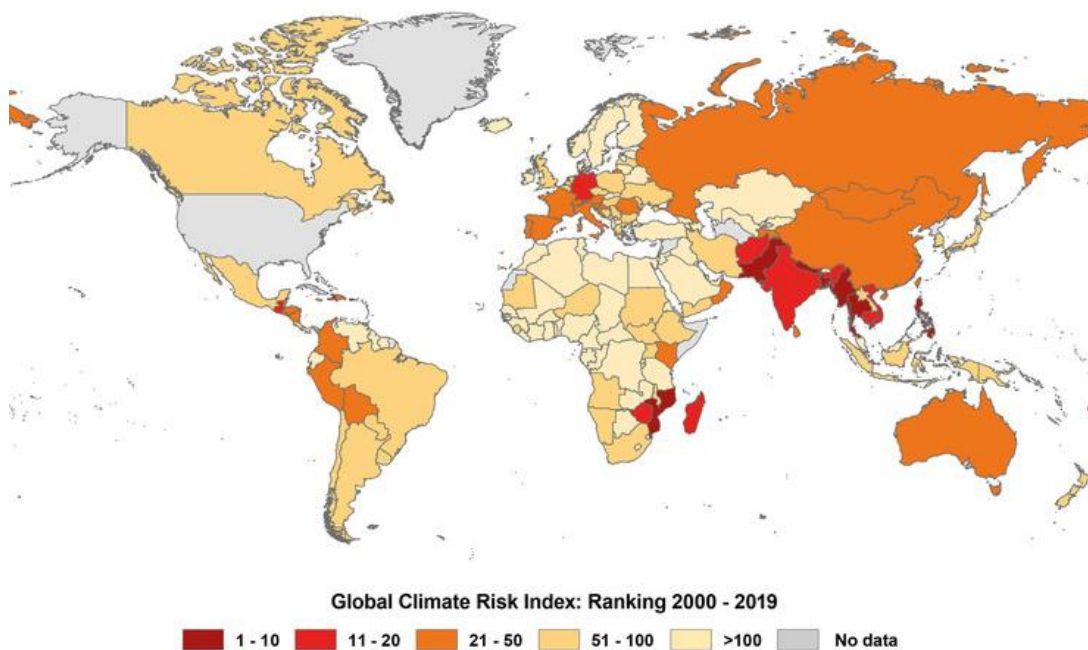


Ilustración 22. Promedio del cambio climático en el mundo. IRC Germanwatch, 2021.

Los seres humanos no pueden provocar un fenómeno natural, pero como consecuencia de la interacción y modificaciones que le hace al entorno en el que se desarrolla, puede agravar el avance de este. Podemos decir que un desastre ocurre cuando un fenómeno se entromete con una vida humana, pero como mencionamos antes, no son eventos que pueden detenerse, sería absurdo intentar frenar a la naturaleza, al contrario, empeorarían.

Los fenómenos naturales no se presentan de manera similar ya que se considera que los daños que provocan pueden variar dependiendo de la magnitud del evento que se presente. Estos se pueden clasificar de acuerdo con Beltrán (2020).

Meteorológicos: Ciclones y huracanes tropicales, inundaciones, sequía, tormentas locales severas (eléctricas, tornados, trombas marinas, granizos), tormentas de polvo y borrascas.

Geomorfológicos-Geológicos: terremotos y tsunamis, erupciones volcánicas, avalanchas de nieve, glaciales, hundimientos, contaminación del agua, quema de carbón y erosión costera.

Ecológicos: Malas cosechas, plagas de insectos y declive de arrecifes de coral.

Medio ambiente: Lluvia ácida, atmosféricos, contaminación, efecto invernadero, aumento del nivel del mar, efecto del fenómeno “el niño” y descenso de la capa de ozono. Extraterrestres: impacto asteroide y aurora boreal.

Los desastres naturales se presentan en todo el mundo, a pesar de los avances tecnológicos científicos que se encargan de estudiar los eventos ocurridos no son suficientes para comprender el problema que ocasionan.

Existen hechos que coinciden una y otra vez en el mismo lugar debido a las características atmosféricas, físicas, climáticas, geológicas, etc., del espacio geográfico en el que se presentan. Pero hay que considerar que no todos los fenómenos naturales son peligrosos, ya que convivimos con ellos y forman parte de nuestro medio ambiente, aunque se tornan peligrosos de acuerdo a la magnitud en la que se presentan.

De acuerdo con Wilches-Chaux (1988) un desastre es producto del riesgo y vulnerabilidad considerando que en una situación exista la probabilidad de que un evento ocurra sobre una comunidad que no tiene los recursos ni está preparada ante eventos que generen cambios en su entorno ocasionando pérdidas humanas y económicas, entonces se puede representar mediante la siguiente relación.

$$\textit{Desastre} = \textit{Riesgo} \times \textit{Vulnerabilidad}.$$

En México destacan los fenómenos de tipo meteorológico y geológico debido a la ubicación del país en la franja intertropical, donde existe una variedad en el clima además de la constante presencia de ciclones tropicales que afecta las costas y parte de la población, al mismo tiempo se le suma la ubicación de las placas tectónicas a su alrededor: la de Norteamérica, del Pacífico y la de Cocos forzando al país a encontrarse en una de las zonas con mayor actividad sísmica (Esteves, 2004).

Los desastres se miden en base a los daños y pérdidas que ocasionan; de acuerdo con un informe publicado por CENAPRED (2017) en México los daños afectan mayormente a las comunidades con alta marginación debido al estado de pobreza en el que se encuentran y por lo tanto se les consideran vulnerables, ya que un desastre los afecta económicamente y es difícil que se puedan recuperar de manera inmediata, y peor si la situación se repite frecuentemente colocándolos en una situación lamentable.

Durante los años de 1980 al 2017 se presentaron eventos de alto impacto los cuales se consideran registros importantes debido a la magnitud; por ejemplo la erupción del volcán Chichón en el estado de Chiapas en 1982, el cual no volvió a tener actividad volcánica desde entonces, la inundación del 2007 en Tabasco que generó pérdidas económicas de 2,987.6 millones de pesos y como olvidar los sismos de 1985 y 2017 que afectaron la Ciudad de México donde miles de personas perdieron la vida, se quedaron sin hogar y les provocó traumas psicológicos (CENAPRED, 2017).

3.4 Cambio climático

El cambio climático se ha convertido en un tema controversial en los últimos años debido a los efectos acelerados del calentamiento global ocasionado por los humanos, creando daños en todo el mundo a causa de los numerosos desastres. Además, las necesidades básicas como el agua y los alimentos se vuelven escasos creando situaciones difíciles para vivir. Pero antes de hacer una descripción de lo que es el cambio climático y cómo afecta a los seres humanos es importante conocer las bases de este tema el cual inicia en el “clima” cómo se compone y su comportamiento.

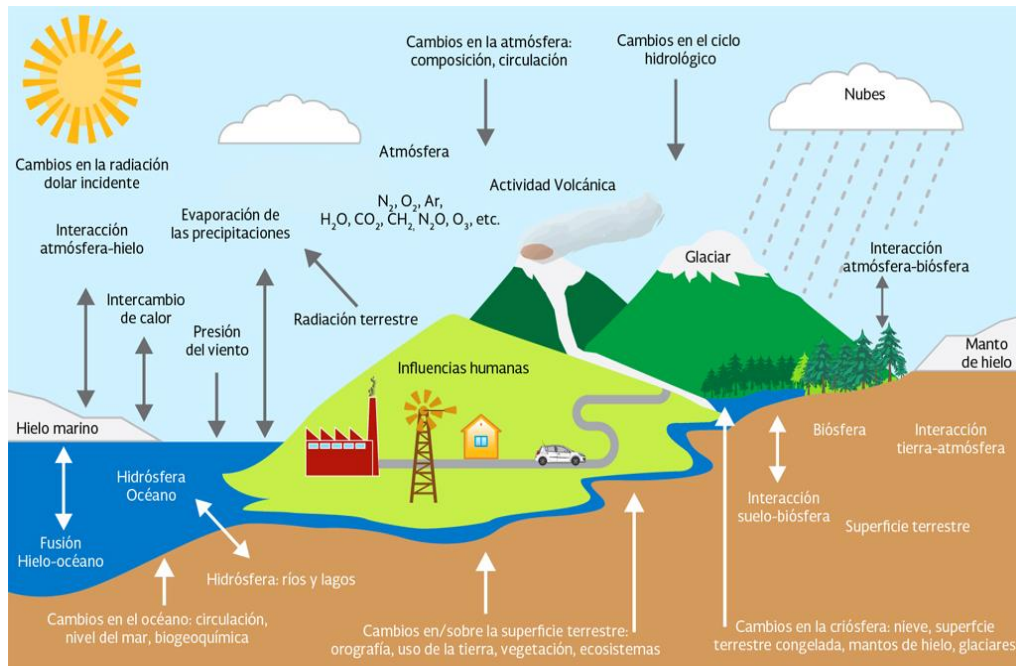


Ilustración 23. Componentes atribuidos al cambio climático. Consultado en: <https://cambioclimatico.gob.mx/>, 2021.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) el clima “...es producto de la interacción entre la atmósfera, océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y la vida en el planeta” (2018). Se refiere al conjunto de elementos climatológicos como la temperatura, el viento, la precipitación, la presión atmosférica y la humedad.

La Tierra recibe constantes rayos de luz solares que son absorbidos por la superficie terrestre y los océanos, pero no todos los rayos logran llegar a la superficie (debido a las nubes y las zonas donde hay nieve y desierto) estos son enviados de regreso al espacio; aparte estos rayos se emiten en forma de radiación infrarroja ya que la tierra no se queda con esta energía.

La luz solar, la tierra está rodeada de pequeñas cantidades de gases que no permiten que se escape el calor, logrando que mantenga una temperatura promedio de 15°C, una temperatura agradable para cualquier ser vivo, a estos gases se les conoce como Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Dentro de estos gases se encuentra la atmósfera que juega un papel importante para la vida humana, ya que sin ella el planeta no tendría vida y estaría congelado; su función es proteger al planeta de los abundantes rayos solares y absorber el calor que emite la tierra (Rodríguez Ramírez & Rojas González, 2021). Cuando los gases de efecto invernadero aumentan su concentración provoca que la tierra absorba más calor provocando que esta se caliente en exceso dándole lugar al calentamiento global.

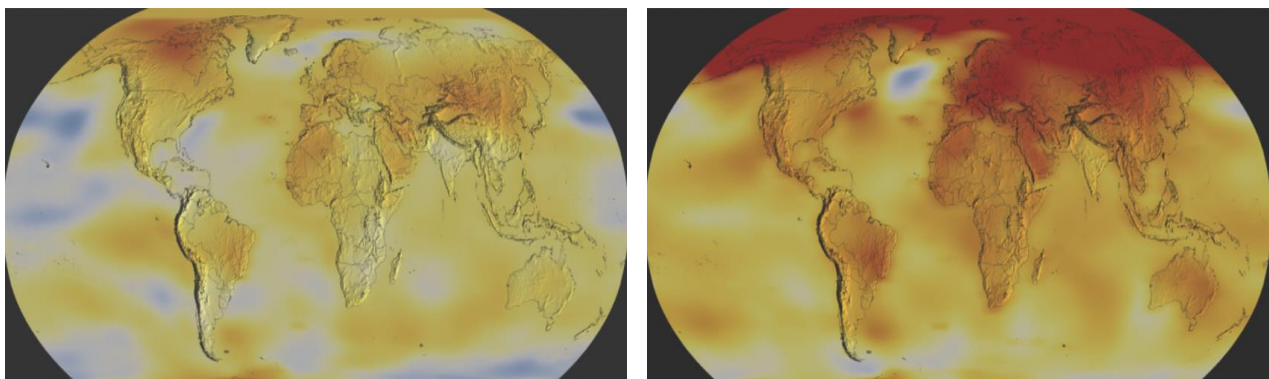


Ilustración 24. Comparación del aumento del calentamiento global en los últimos 20 años (lado izquierdo año 2000 y lado derecho año 2020). Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2021.

El cambio climático tiene un responsable y en ocasiones se les atribuye esta responsabilidad a los países que emiten mayor CO² por consumo y quema de combustibles, pero no siempre es así; cerca del 68% de las emisiones que se emiten a nivel global son por consecuencia de diez países, dentro de estos se encuentra México el cual atribuye el 1.68% y sus principales emisiones se deben al transporte, la industria en general y la reproducción de la electricidad.

De acuerdo con el informe de temperatura global que realiza National Aeronautics and Space Administration (NASA) y el National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) se registró un aumento de temperatura desde el año 2016 hasta el 2019 siendo este último el más ardiente en los últimos 140 años. Las anomalías en el aumento de la temperatura a nivel global comenzaron a notarse desde los años 1950 hasta 1981 y a partir de ese momento la temperatura ha ido incrementando de manera rápida pasando de 0.2°C en el año 1880 a 1°C al 2019 (Organización Mundial de la Salud, 2021).

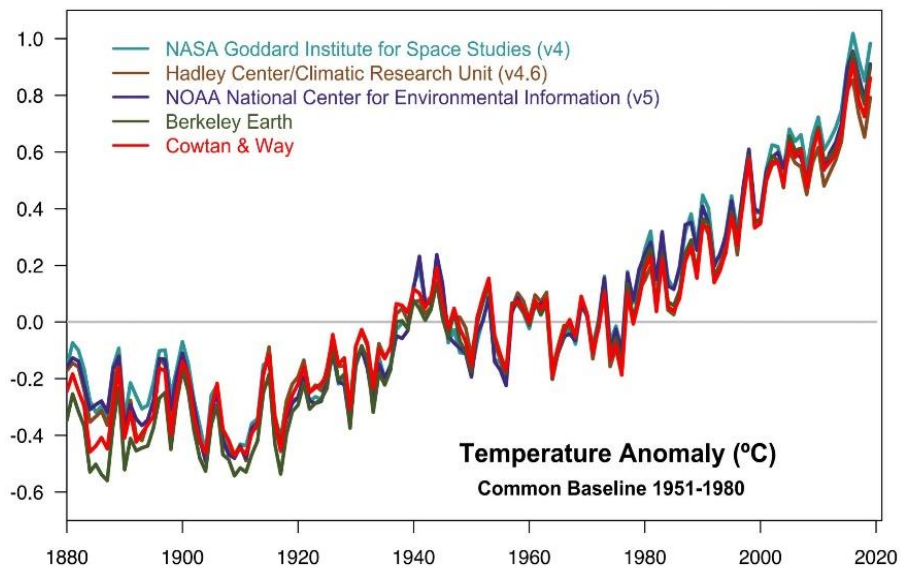


Ilustración 25. Anomalía de la temperatura a nivel global. Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2021.

Las consecuencias del incremento del calentamiento global se hacen notar a través de fenómenos que ocurren en la tierra, el cambio repentino de temperaturas provoca que fenómenos climatológicos se prolonguen, que el derretimiento de los glaciares estimule el incremento del nivel del mar, provocando severas inundaciones en el mundo como en el caso de Ámsterdam que se encuentra 4 metros por debajo del nivel del mar.

“El mundo ya está experimentando cambios a gran escala en lugares como los Andes y el Himalaya, donde están desapareciendo los glaciares y llevándose consigo la fuente de agua potable y riego para millares de personas” (National Geographic, 2010).

La ocurrencia de un evento siempre viene acompañada de otro creando circunstancias que afectan al planeta al mismo tiempo, es decir que si existe un cambio de temperatura esta provoca cambios en la humedad atmosférica lo que da lugar a eventos que no son comunes como los huracanes que han subido de categorías, ciclones y tormentas intensas y prolongadas que ocasionan pérdidas materiales, afectaciones a vidas humanas de la biodiversidad natural e incendios. El cambio climático en los últimos años ha producido un aumento en la ocurrencia de desastres naturales y se puede notar comparando los eventos que ocurrían cada 100 años ahora ocurren cada año y seguirán este patrón si las actividades en el planeta continúan aumentando la temperatura global logrando que el daño sea irreversible y las consecuencias se presenten dentro del territorio que habitamos los seres vivos.

3.4.1 Inundaciones

El 90% de los desastres naturales que ocurren en el planeta están relacionados con el agua, el cual se considera un arma de doble filo debido a los beneficios y consecuencias que puede atraer (SEMARNAT, 2009). “La inundación es un evento que, debido al exceso de lluvia, nieve o granizo, tormentas, oleaje o falla en el sistema hidráulico provoca un incremento en el nivel del agua de ríos o del mar estimulando que el agua penetre en lugares donde normalmente no hay ocasionando daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura” (CENAPRED, 2009).

Las inundaciones son complicadas de predecir ya que se requiere tener conocimiento sobre diversos factores que las componen, pero es posible realizar un análisis del impacto que tiene este fenómeno en distintos lugares ya sea a nivel mundial, nacional e incluso local, sin embargo, los resultados pueden ser inesperados por ello se debe conocer este fenómeno e intentar mitigar sus consecuencias. Las inundaciones pueden ser ocasionadas por factores antrópicos o naturales, por ello es importante conocer los tipos de inundación ya que en base a esta información se pueden realizar estudios para el control de este fenómeno. Existen inundaciones pluviales, fluviales, costeras y por fallas en instalaciones hidráulicas que a pesar de los diferentes escenarios en los que se presentan, los daños se exhiben en lo material.

Tipos de inundaciones

Inundación pluvial

La inundación pluvial se presenta en zonas específicas, como resultado de precipitaciones cortas pero intensas, ocasionadas por fenómenos hidrometeorológicos en los que destacan los ciclones tropicales, lluvias orográficas, lluvias convectivas y lluvias invernales, los cuales saturan la superficie provocando que el agua se acumule y quede estancada horas o incluso días la cual desaparece por evaporación o infiltración. Esta situación se presenta frecuentemente en zonas urbanas, rurales, territorios bajos o planos.



Ilustración 26. Extracción de agua pluvial en la colonia El Palmar en Cárdenas Tabasco. Trabuco Noticias, 2020.

Inundación fluvial

Este tipo de inundaciones es consecuencia del desbordamiento de ríos o cauces con un volumen de agua excedente al que pueden transportar, ocasionando que el terreno que está a su alrededor se sature y el agua quede estancada. Esto se debe al volumen de agua que se registra en cualquier parte de una cuenca tributaria y no precisamente de lluvia de la zona afectada. “Es sustancial prestar atención al volumen de agua que fluye sobre la superficie a través de las vertientes, el cual va aumentando con el área de la cuenca, de manera que estas inundaciones ocurrirán en ríos con mayor longitud o en los que lleguen hasta un plano litoral.



Ilustración 27. Desbordamiento del Rio Santa Ana en la Ranchería El Golpe, Cárdenas, Tabasco. Trabuco Noticias, 2021.

Inundación costera

La inundación costera surge de un incremento en el nivel del mar debido a la combinación de la marea alta y vientos intensos. Este último influye en el oleaje del mar, el cual se incrementa de acuerdo a la velocidad en la que se presentan los vientos, y al combinarse con tormentas, ciclones tropicales o en el peor de los casos tsunamis, permite que el agua penetre tierra adentro, el cual cubre grandes extensiones del terreno y provoca daño materiales e incluso pérdidas de vidas.

Inundación por falla hidráulicas

Este tipo de inundaciones se les atribuyen a las fallas en infraestructura hidráulica, la cual está mal diseñada, operada u organizada; provocando que el agua no transite o lo haga en lugares donde no debería. Se trata de situaciones poco probables como el rompimiento o desagüe de una presa, ya que resultaría dañino dependiendo de la magnitud de la avenida, el tiempo de propagación y a la población alrededor.

Otra situación más común entre las comunidades es el sistema de drenaje, que en ocasiones no realiza las funciones correspondientes afectando la salud debido al estancamiento de las aguas negras, que puede provocar infecciones o enfermedades como dengue, pérdidas de bienes materiales, y dificultad en vías de comunicación.



Ilustración 28. Inundación como consecuencia del desagüe de la presa "Peñitas" en noviembre del 2020. Periódico La jornada, fotografía por Gerardo Zentella Falcón, 2020.

3.5 Marco normativo relativo al estudio de riesgos hidrológicos en Cárdenas, Tabasco

México es un territorio que se ha visto afectado por desastres naturales como hemos mencionado en las páginas anteriores, dentro de ellos se consideran la actividad sísmica, volcánica, ciclones, incendios, inundaciones, tsunamis, deslaves y huracanes; esto ha generado como consecuencia la organización de leyes, programas y procedimientos con la finalidad de mejorar el desarrollo humano y el medio ambiente creando espacios seguros.

Es importante conocer el alcance de la responsabilidad que tienen distintas organizaciones con la población, los planes de desarrollo y programas que implementan para el bienestar y seguridad del entorno en el que se desarrollan, basados en las normas que rigen la ley, que permitan identificar las acciones necesarias que ayuden a mitigar situaciones que pongan en riesgo a los asentamientos humanos, y a la población en general, regulando y planeando la urbanización de un territorio o incluso la reubicación de estos para disminuir el impacto ante una situación peligrosa.

Por ello se presentará de manera general las políticas actuales y más importantes que hablen sobre la prevención de inundaciones tanto a nivel nacional como municipal para mostrar que existen y se ejecutan para salvaguardar la vida de la población y sus bienes materiales.

3.5.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo 4° establece que toda persona tiene derecho a vivir en un ambiente sano para su bienestar y desarrollo así como el derecho a una vivienda digna y decorosa, el cual será apoyado por el estado con los instrumentos necesarios para alcanzar estos objetivos, asimismo el artículo 27 deroga que cualquier territorio con vertientes quedan a disposición de la nación para su aprovechamiento y control (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2021).

3.5.2 Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento

Esta ley es fundamental para el control del agua que existe dentro del territorio mexicano en cualquiera de sus presentaciones, ya sean ríos, cenotes, lagos, entre otros, utilizándose de forma que beneficie al país y a su población. Asimismo, es obligación de la “Comisión” implementar programas y acciones que ayuden al control de las mismas aguas, con el fin de proteger o beneficiar a los ciudadanos, en caso de sequías o inundaciones, y en estos casos deberá tener preparado un fondo en caso de algún desastre.

También es responsabilidad de las autoridades correspondientes realizar los estudios acordes a las zonas que presenten recurrentes inundaciones, y mantener la información actualizada, además de compartirla con la población, para mantener alerta de los posibles riesgos que puede ocasionar un asentamiento en zonas no aptas para vivir (CONAGUA, 2012, pág. 29).

3.5.3 Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo

Urbano

Esta ley presenta normas básicas para el ordenamiento de los asentamientos humanos y territorios, así como su mejoramiento, ampliación, planeación, regulación, crecimiento y conservación, además el derecho que tiene cualquier persona de disfrutar y vivir saludablemente, resilientes, justos, democráticos y seguros, incluso de las obligaciones que tienen, lo cual es el estado quien tiene la obligación de promover estos derechos y obligaciones a través de sus preceptos.

En el capítulo segundo, artículo 4° párrafo VIII establece que se debe apoyar y fortificar “...todas las instituciones y medidas de prevención, mitigación, atención, adaptación y resiliencia que tengan por objeto proteger a las personas y su patrimonio ante riesgos naturales y antropogénicos, así como evitar la ocupación de zonas de alto riesgo” (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2016).

En los artículos 7°, 8° y 9° establecen que la federación a través de la secretaría debe encargarse del ordenamiento territorial, así como el aprovechamiento de estos, organizando e implementando programas y planeación del desarrollo urbano y gestión de riesgos. Además de promover la elaboración de instrumentos que identifiquen las zonas de alto riesgo ante fenómenos perturbadores de origen natural y antropogénicos.

El capítulo cuarto establece las atribuciones del municipio, el cual debe regular y controlar el uso del suelo, interviniendo en la solución de asentamientos humanos que no estén regulados por la ley, además de promover y ejecutar acciones que ayuden a mitigar el riesgo ante fenómenos naturales y antropogénicos.

En el título sexto en los artículos 64 al 69 se estipulan las estrategias de gestión integral de riesgos, que deben ser implementadas, en lo cual se incluye previsiones económicas, de recuperación, estudios previos de riesgo ante fenómenos naturales, cuando se realicen proyectos de construcción en cualquier territorio, además las autoridades correspondientes deben asegurarse que estos proyectos sean autorizados en base a las normas que establece esta ley y la Ley de Protección Civil (Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, 2016).

3.5.4 Ley de Vivienda

Esta ley es normalizada debido al artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en la que establece que toda persona tiene derecho a una vivienda digna y decorosa, a un ambiente sano y saludable. Una vivienda digna y decorosa es aquella que cubre todas las necesidades básicas, además de ofrecer seguridad ante desastres de carácter natural que sean agresivos. El artículo 6° menciona que la política nacional debe promover el alcance de la población a una vivienda, especialmente para aquellas personas que se encuentran en situación de pobreza, marginación o vulnerabilidad; creando estrategias que mejoren las necesidades de las viviendas.

En este artículo también menciona lo importante que es promover la información suficiente para que las personas tomen conciencia del desarrollo urbano en zonas donde no es seguro establecerse. En general esta ley demanda un fuerte compromiso de la política nacional con la población, especialmente con personas que no tienen recursos suficientes para vivir en un ambiente sano, por ello se realizan programas que apoyen a las personas y además es responsabilidad de las autoridades que se brinde la difusión necesaria para que todas las personas puedan participar en los programas realizados (Ley de Vivienda, 2019).

3.5.5 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

El capítulo V en la sección II se menciona el ordenamiento ecológico del territorio, refiriéndose a las leyes establecidas para una excelente relación entre el medio ambiente y el desarrollo de la población dentro de este. El artículo 19 establece que para que exista un orden territorial se deben considerar los recursos naturales que hay dentro de este, el impacto ambiental que tienen los asentamientos humanos los cuales serán controlados por la Secretaría a través del sistema Nacional de Planeación Democrática.

En la sección V, artículo 28 señala que para cualquier tipo de construcción ya sea hidráulica, instalaciones, vías de comunicación, industrial, etc., deberá someterse a una evaluación de impacto ambiental, esto para evitar un desequilibrio ecológico, de no ser así las consecuencias pueden presentarse de forma negativa, ya sea por cuestiones antropológicas o a través de fenómenos naturales.

Esta ley tiene la obligación de fomentar la conservación del espacio ambiental en el que todas las personas nos desarrollamos, además de crear programas y estrategias para informar e invitar a la población para el cuidado del territorio en el que habitan, cómo restaurar los suelos, evitar la contaminación de la atmósfera, aire, agua, tierra, flora, fauna, etc., (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2021).

3.5.6 Ley General de Protección Civil

La Ley General de Protección Civil se encarga de la gestión integral de riesgos, promoviendo la implementación de medidas de prevención y mitigación respecto a los agentes que representan peligro y riesgo para la población. Además de realizar estrategias dirigidas a la identificación de infraestructura vulnerable ante un riesgo, y de esta manera reducirlo.

Es responsabilidad de las entidades federativas encargarse de la creación de instancias, servicios y procedimientos que permitan atender la eventualidad de un riesgo o peligro. De la misma forma es responsabilidad de las autoridades correspondientes tener conocimiento del origen del riesgo y sus efectos (Ley General de Protección Civil, 2020, pág. 9).

La Coordinación Nacional debe encargarse que el CENAPRED tenga actualizado el mapa de riesgo de las distintas entidades federativas, al mismo tiempo el programa de protección civil deberá promoverse entre la población que se encuentra en zonas expuestas al riesgo y tiene el derecho de participar y expresar libremente su preocupación y opinión sobre el tema.

Si la población se ha visto perjudicada fuertemente por un fenómeno extremo son las autoridades competentes las encargadas de determinar con apego a su regulación local el destino y uso de donativos, además de verificar que estos beneficien a la población más dañada o con un nivel económico bajo ante una emergencia.

Dentro de esta ley se considera un delito grave la construcción de obras de infraestructura y de asentamientos humanos en zonas que no han sido evaluadas ante una situación de riesgo y de no ser así, deben realizarse medidas para disminuir el riesgo tomando en cuenta los atlas municipales, de la entidad federativa y el nacional; además de ofrecer propuestas de reubicación y aporte financiero en el caso que alguna de estas personas se encuentre expuesta ante esta situación (Ley General de Protección Civil, 2020, pág. 27).

3.5.7 Ley General de Cambio Climático

Esta ley proclama acciones, planes y programas a través del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, que ofrecerá información en distintas sedes de la república mexicana, con el fin de regular la mitigación y adaptación de la población ante el cambio climático; fortaleciendo la capacidad de reacción-acción de las personas ante un fenómeno. Las entidades federativas y los municipios están encargados de la difusión de campañas y programas que sensibilicen a la población sobre las consecuencias, además deberán elaborar, actualizar y publicar el atlas de riesgo del estado con ayuda del municipio.

El artículo 26 estipula el fomento de la prevención para que puedan impedir daños ocasionados por el cambio climático, así como la conservación del ecosistema y su biodiversidad, principalmente de humedales, manglares, arrecifes, dunas, lagunas costeras, o cualquier ecosistema que brinde apoyo para reducir la vulnerabilidad.

El artículo 27 trata de instrumentos enfocados en reducir, minimizar, fortalecer e identificar posibles escenarios ante el cambio climático, considerando daños y riesgos, capacidad de las personas para actuar en base a los programas establecidos por su respectiva entidad federativa. Con apoyo de las dependencias gubernamentales se implementaron acciones de mitigación y adaptación ante el cambio climático enfocados en entidades de alto riesgo, creando mapas donde se muestran las zonas vulnerables, además de infraestructuras que disminuyan la contaminación del medio ambiente lo cual es uno de los factores que ocasiona cambios climatológicos.

3.5.8 Ley de Expropiación

Esta ley se encarga de obtener una propiedad privada y otorgarla al estado de manera legal, para fines de esta tesis es importante señalar que el artículo 1° refiere a un caso de beneficio público cuando se trate de una emergencia que ayude a satisfacer las necesidades de la población, cuando se trate de un caso de guerra, abastecimiento de centros de población y procedimientos para combatir plagas, incendios, inundaciones u otras situaciones.

Además, se deberá tener en cuenta que el tiempo puede ser indefinido ya sea temporal, total o parcial. Se toma en cuenta esta ley en el caso de fenómenos naturales que ocasionan inundaciones; cuando se trata de implementar albergues para las personas damnificadas, y que han sufrido pérdidas económicas, de las cuales no pueden recuperarse rápidamente (Ley de Expropiación, 2012).

3.5.9 Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Tabasco

Esta ley se encarga de regular las acciones que se realicen en el estado de Tabasco, a nivel estatal y municipal, en el cual participan los 17 municipios, como organizar el funcionamiento del ayuntamiento, asignar a las autoridades correspondientes, así como las obligaciones que tienen con el municipio. La ley establece que se debe dar la atención necesaria a la ciudadanía.

En el tema de amparo Protección civil debe encargarse de elaborar, coordinar y ejecutar acciones de auxilio en caso de una emergencia o desastre que sea de riesgo, en los que deben incluir recursos económicos, centros de acopio, brindar ayuda a las personas dañadas, capacitar la sociedad en temas de protección civil, identificar las zonas de riesgo que presenta cada municipio y compartir información a través de atlas de riesgo con recomendaciones para mitigar la situación; esperando que sigan un Plan de Emergencia Municipal de Protección civil e informando al Presidente municipal o a las autoridades correspondientes.

3.5.10 Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024

El Plan Estatal de Desarrollo está conformado por 6 ejes.

- Eje 1 - Seguridad, Justicia y Estado de Derecho
- Eje 2 - Bienestar, Educación y Salud
- Eje 3 - Desarrollo Económico
- Eje 4 - Inclusión e Igualdad Sustantiva
- Eje 5 - Combate a la Corrupción y Mejora de la Gestión Pública
- Eje 6 - Ordenamiento Territorial y Cambio climático

A continuación, se describe el eje 6, Ordenamiento Territorial y Cambio climático. Dentro de sus objetivos y estrategias se destacan acciones que permiten impulsar el desarrollo urbano y controlar el crecimiento territorial de manera ordenada en zonas urbanas y rurales acotado a un esquema real, de manera garantice la seguridad pública; además de hacer partícipes a los servidores públicos para mejorar su conocimiento e impulsar la identificación de zonas que sean idóneas para el desarrollo urbano en coordinación con el Instituto de Vivienda de Tabasco (INVITAB). También menciona la elaboración de estudios donde se identifiquen los asentamientos humanos que se encuentran en riesgo para acordar operaciones de prevención, mitigación o recomendaciones acordes a la situación; igualmente realizar una metodología y programas para la actualización del atlas de riesgo del estado y todos sus municipios para identificar áreas vulnerables y elaborar una base de datos donde se encuentren los asentamientos en zonas de riesgo considerando una posible reubicación o protección, además de mitigar esta vulnerabilidad impulsando zonas aptas para el desarrollo urbano con apoyo del INVITAB y la Secretaría de Administración e Innovación Gubernamental (Gobierno del Estado de Tabasco, 2019).

3.5.11 Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021

Este programa tiene relación con la investigación en progreso ya que es el municipio el que se encarga de dirigir las decisiones para atender las necesidades de la población y obtener resultados efectivos, por ello que se realizaron estrategias que rigen la economía, servicios públicos, infraestructura urbana, entre otros.

Este programa se encarga de crear y compartir la información necesaria que prepare a los cardenenses ante escenarios que no se pueden evitar, pero si mitigar y alertar; ofrecer los recursos, herramientas e instrumentos necesarios para enfrentar emergencias de fenómenos naturales, especialmente de inundaciones y controlar la calidad de la infraestructura que se realizan en el municipio, principalmente las viviendas que ofrece a las personas en situación de pobreza, todas las estrategias se realizan con el fin de fomentar el crecimiento del municipio.

3.5.12 Reglamento de Construcciones del estado de Tabasco

De acuerdo con el artículo 3° la Dirección de Obras Públicas es quien se encargará de tomar las decisiones correspondientes para llevar a cabo un proyecto de construcción considerando los siguientes acuerdos:

1. Acordar determinaciones administrativas para que las construcciones, instalaciones y vías públicas, reúnan las condiciones necesarias de higiene, seguridad, comodidad y estética.
2. Controlar el uso de los terrenos y de las densidades de población y de construcción, de acuerdo con el interés público.
3. Conceder o negar de acuerdo con este Reglamento permisos para obras relacionadas con la construcción.
4. Inspeccionar todas las construcciones e instalaciones que se ejecuten o estén determinadas.
5. Practicar inspecciones para conocer el uso que se haga de un predio, estructura, instalación o construcción.
6. Ordenar la suspensión de obras en los casos previstos por este Reglamento.

Estos son los principales acuerdos que deben tener en cuenta cuando se trata de realizar cualquier tipo de construcción (Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco, 1975). A pesar de la existencia de las distintas dependencias encargadas de apoyar, crear e implementar distintos proyectos que permitan el libre desarrollo de la población en base a las leyes, la población sigue estando expuesta ante situaciones que el sector público se ha encargado de controlar debido a un claro desconocimiento de la información que estas dependencias generan,

Capítulo IV. Análisis espacial de la zona urbana de Cárdenas en riesgo de inundación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

4.1 Particularidades Generales de la Zona de Estudio

Como anteriormente se mencionó el estado de Tabasco es una planicie que se encuentra a las orillas del Golfo de México, por lo que el 80% del estado cuenta con cotas debajo de los 100 metros, algunas de estas con menor elevación se localizan en la costa chica del municipio de Cárdenas dentro de lagunas y humedales; mientras que el 20% alcanza cotas hasta de 1,140 metros y se pueden encontrar en la región de la Sierra y en los municipios que colindan con el estado de Chiapas.

Con la finalidad de demostrar la información descrita se realizó un mapa de curvas de nivel con equidistancias de 20 m, como se puede observar en el mapa de la ilustración 29; esto mediante herramientas como ArcGIS desde una versión académica, que permitió la modelación y generación de estas curvas con ayuda de Shapefiles previamente descargados de CONABIO.

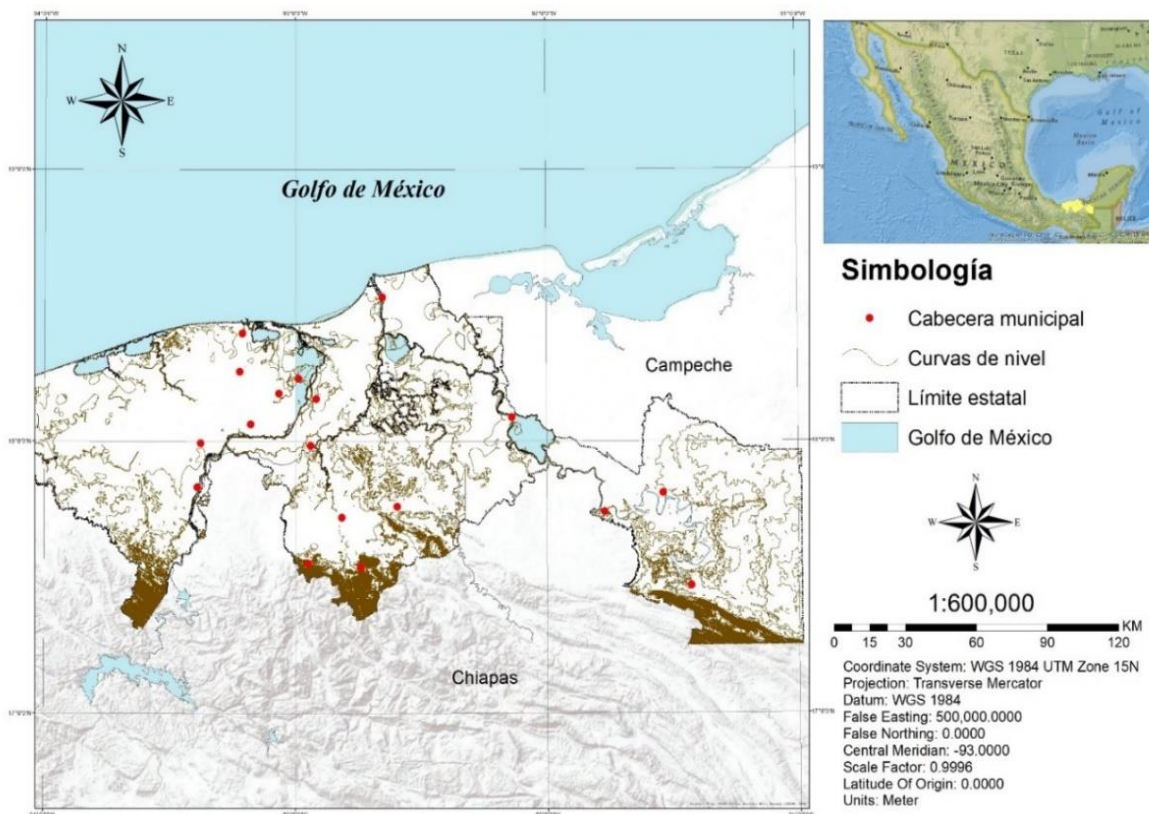


Ilustración 29. Mapa de curvas de nivel del estado de Tabasco. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.

En base al análisis realizado mediante las curvas de nivel se generó el mapa de pendientes como se observa en la Ilustración 30, en él se puede observar que no existen pendientes en la mayor parte del territorio, por ello se considera como terreno plano, en base a los indicadores que se muestran en la Tabla 7, que han sido compartidos por el INEGI a través del apartado “Espacio y datos de México”.

Tabla 12. Clasificación de pendientes en porcentaje. INEGI, 2021

Pendiente	Porcentaje	Descripción
	Más de 0% hasta 3%	Plano
	Más de 3% hasta 6%	Ligeramente inclinado
	Más de 6% hasta 12%	Medianamente inclinado
	Más de 12% hasta 30%	Moderadamente inclinado
	Más de 30% hasta 45%	Muy inclinado

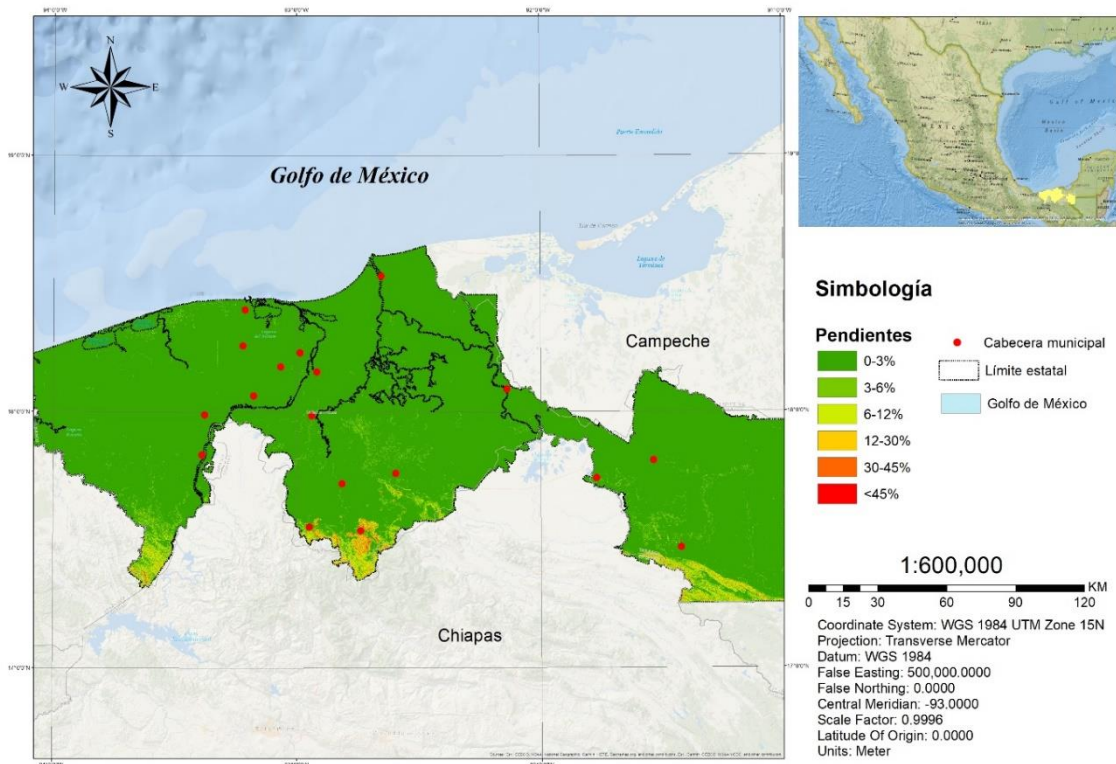


Ilustración 30. Mapa de pendientes del estado de Tabasco. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.

4.1.1 Análisis del municipio de Cárdenas

A pesar de las características poco favorables en la región la ciudad de Cárdenas ha tenido un incremento en la mancha urbana y en su población los últimos 37 años como se muestra en la ilustración 31, a esto se le suman las modificaciones antropogénicas como erosión en los suelos, degradación del medio ambiente, lo que produce el incremento de la magnitud de desastres (Henández, 2013). Para realizar mapas que permitan a la población comprender los escenarios a los que se encuentran expuestos, se descargaron imágenes satelitales del programa Google Earth, que permite identificar de manera clara la zona de estudio.



Ilustración 31. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Heroica Cárdenas en los años de 1984 a 2021. Google Earth, 2021.

A través de herramientas de uso libre como ArcMAP, se puede digitalizar información de cualquier plataforma que comparta el sector público utilizando formatos como shapefiles; dentro de la investigación se utilizaron shapes del municipio, del estado de Tabasco, de la república mexicana así como del Golfo de México, descargados de la página de CONABIO para integrarlos en un Layout (esquema de distribución de elementos de diseño) los cuales son georreferenciados al datum WGS84 en la proyección cartográfica UTM – 15, permitiendo generar un mapa de ubicación así como el cálculo del área, el perímetro y elevaciones.

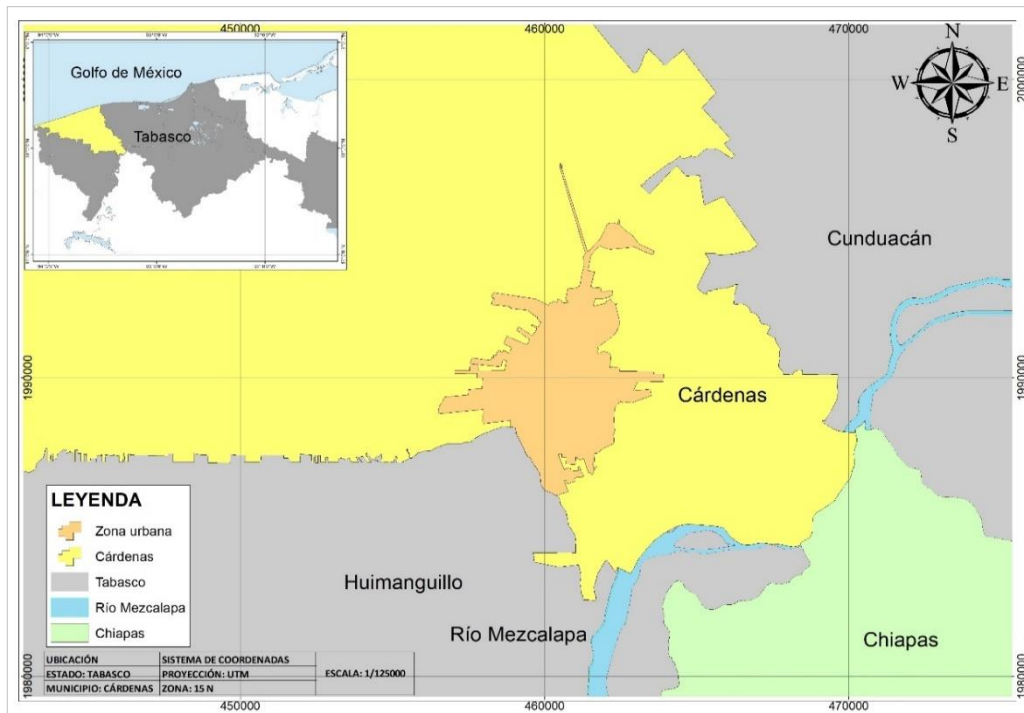


Ilustración 32. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Elaboración propia, 2021.

Tabla 13. Características de la mancha urbana de Cárdenas, Tabasco. Elaboración propia, 2021.

<i>Cabecera Municipal</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Perímetro (km)</i>	<i>Elevación Máx.</i>	<i>Elevación Min.</i>
Heroica Cárdenas	24.38	59.75	25	19

Un MDE permite identificar características dentro de cualquier territorio, en este sentido se descargaron algunas imágenes de alta resolución LiDAR cubriendo la mancha urbana del municipio con una escala de 1:10,000 referenciados al datum ITRF08 época 2010.0, en proyección UTM, con una resolución de 5m x 5m; las claves de las imágenes son: E15A88f4, E15A88f3, E15C18c1, E15C18c2, las cuales se descargaron en formato “. bil”.

Como consecuencia de la interpretación del MDE dentro del municipio de Cárdenas se puede observar en la ilustración 33 que no hay curvas de nivel, dentro del territorio y predominan elevaciones desde 10 metros hasta 25 m en las que se encuentran vialidades, parques, centros deportivos, colonias y de rojo se pueden observar algunos puntos altos de edificaciones.

Como parte del análisis de las elevaciones del territorio se puede identificar el rastro del antiguo Río Seco que presenta elevaciones desde los 5 metros hasta 22 metros sobre el nivel del mar, lo que indica una zona propensa a experimentar inundaciones.

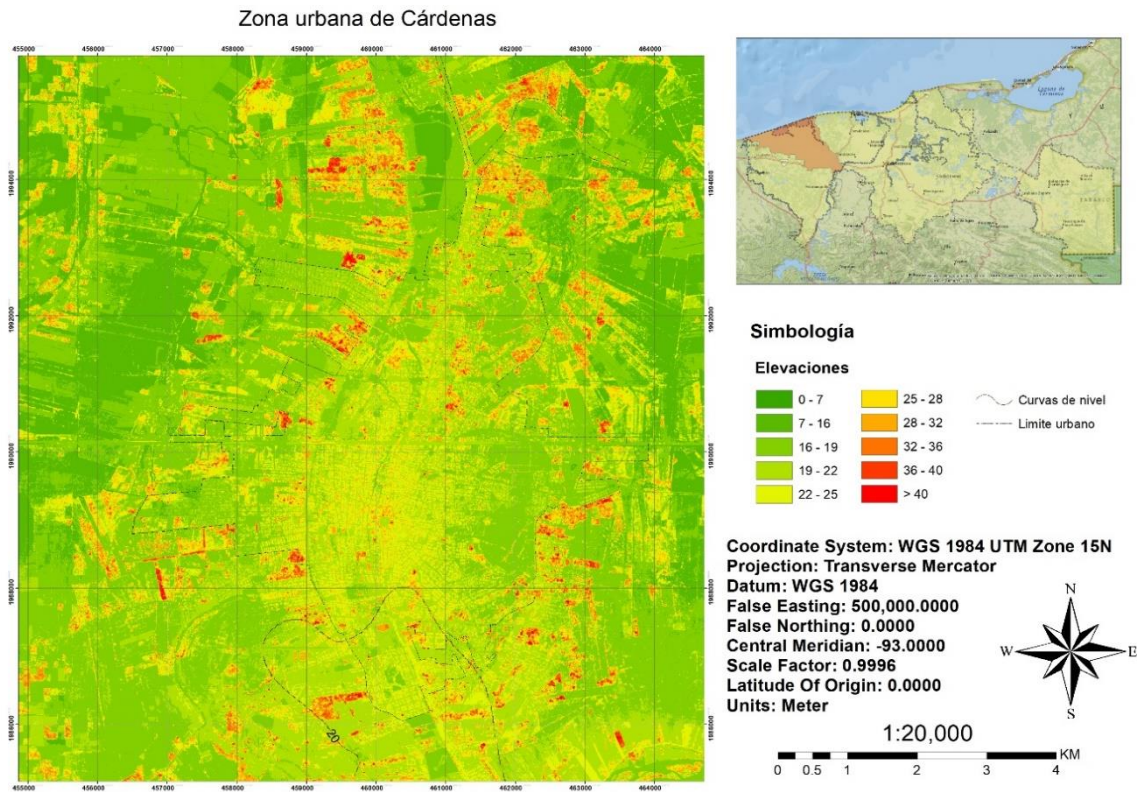


Ilustración 33. Mapa de elevaciones. Elaboración propia con datos de INEGI, 2021.

4.1.2 Hidrología e Hidrografía

El antiguo Río Seco se localiza dentro de la subcuenca R. Cunduacán (RH30Dy) en la que se encuentra la zona de estudio, para el análisis del peligro ante inundaciones es importante considerar el tramo que atraviesa el centro de la ciudad ya que es el principal factor que ocasiona inundaciones, además la continuidad del río original forma parte de la cuenca R. Cuxcuchapa, este último se muestra de manera representativa en el mapa hídrico debido a que indica el rumbo y desembocadura del Río Seco.

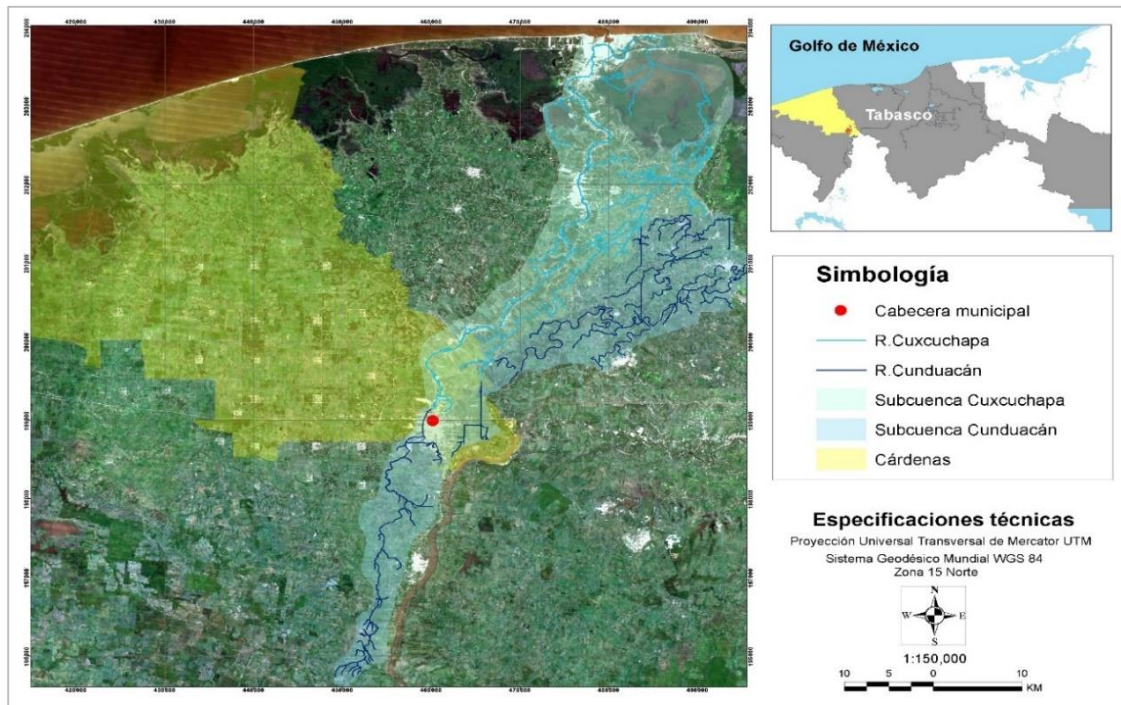


Ilustración 34. Mapa de la Red hidrográfica de subcuencas. Elaboración propia con base de datos del INEGI, 2021.

4.2 Análisis e interpretación del Peligro por inundación

Para identificar las zonas expuestas al peligro se delimitaron las zonas inundables dentro de la mancha urbana, lo que arrojó como resultado la superficie del antiguo Río Seco con una longitud de 14.78 km y un área de afectación de 11.57 km² a lo largo de la ciudad. El siguiente mapa que se muestra en la ilustración 35 se pueden observar distintas estructuras expuestas, en las que se encuentran parques, vías de comunicación, escuelas, hospitales, casas, centros comerciales, etc., esto no quiere decir que sean vulnerables o que se encuentren en riesgo, para ello se realizará un análisis que proporcione el grado de peligro de estas infraestructuras.

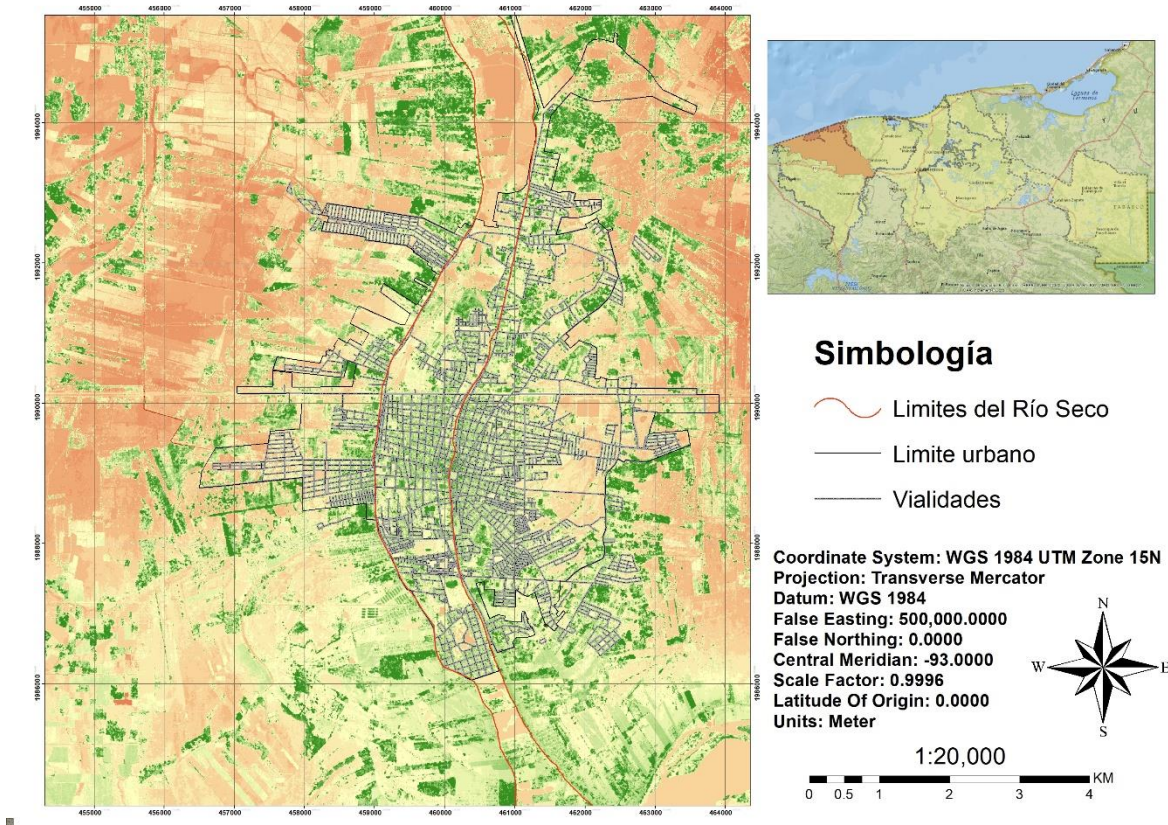


Ilustración 35. Delimitación del antiguo Río Seco. Elaboración propia a través de ArcGIS, 2021.

Una vez que se ha delimitado el cauce principal, se realizarán los cálculos correspondientes para obtener el diseño de gasto para distintos periodos de retorno, en los que se emplearán los siguientes datos.

- Área (km²)=11.57
- Perímetro (km)= 30.70
- Longitud del cauce principal (m)=14,789.11
- Pendiente del cauce principal=0.04%
- Coeficiente de escurrimiento= 0.30

4.2.1 Diseño de Gasto

Aplicando la fórmula para el cálculo del tiempo de concentración obtenemos:

$$T_c = 0.0662 \frac{(\text{Longitud del cauce (km)})^{0.77}}{(\text{Pendiente media del cauce})^{0.385}} = \text{hrs.} \quad T_c = 0.0662 \frac{(14.78)^{0.77}}{(0.004)^{0.385}} = 1.82 \text{ hrs} = 109.42 \text{ min.}$$

Seguidamente se realizan los cálculos para la precipitación y la intensidad, por lo que se requirieron de mapas con isoyetas en los que se muestran diferentes precipitaciones asociadas a distintos periodos de retornos y duración; los cuales se obtuvieron de documentos en archivo PDF publicados en el sitio web de la SCT (2021)³.

De esta manera se tabularon las precipitaciones con distintos periodos de retorno para duraciones de 1 y 24 horas; seguidamente se calculó la precipitación dentro del área de estudio, aplicando la fórmula y registrando en la tabla los resultados para periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años.

Un escenario de precipitación para un periodo de retorno de 20 años, se aplica la siguiente fórmula, que muestra el ajuste a la precipitación referido al tiempo de concentración de la zona de estudio, posteriormente se calculó el gasto del caudal que ayudará a realizar el hidrograma unitario, que muestre la relación del tiempo pico y el caudal pico de una avenida máxima.

$$hp_{tc} = \frac{hp_{24} - hp_1}{3.1781} (\ln(t_c)) + hp_1 \qquad hp_{tc} = \frac{270 - 110}{3.1781} (\ln(1.82)) + 110 = 140.15 \text{ mm}$$

La intensidad:

$$i = \frac{hp_{tc}}{d} \qquad i = \frac{140.5}{1.82} = 77.00 \text{ mm/hr}$$

Por lo tanto, el gasto del caudal se calcula:

$$Q_p = 0.278 * C * i * A \qquad Q_p = 0.278 * 0.30 * 77.00 \text{ mm/hr.} * 11.57 \text{ km}^2 = 74.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y se obtiene el gasto.

TR (años)	hp_1 (d=1 h)	hp_{24} (d=24 h)	hp_{pc} (d=tc) mm	Intensidad $i=hp_{pc}/d$ (mm/h)	Gasto (m^3/s)
2.00	60.00	0.00	48.69	0.45	0.43
20.00	110.00	270.00	140.15	77.00	74.30
50.00	140.00	300.00	170.15	93.49	90.21
100.00	155.00	320.00	186.09	102.25	98.66

³ <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/>

El hidrograma unitario adimensional se obtiene relacionando el tiempo pico con los parámetros de tiempo determinados en horas que comparte el CENAPRED (2021) y se muestra en el anexo número 2.

Realizando un ajuste en el tiempo pico con las siguientes fórmulas, debido a la zona y área de escurrimiento.

$$\text{Tiempo de retraso } (tr) = 0.6 * \text{tiempo de concentración hrs } (tc) \quad tr = 0.6 * (1.82 \text{ hrs}) = 1.09 \text{ hrs}$$

$$\text{Tiempo pico}(tp) = \frac{d}{2} + \text{Tiempo de retraso } (tr) \quad tp = \frac{140.15}{2} + 1.09 = 12.93 \text{ hrs.}$$

$$\text{Tiempo base}(tb) = 2.67 * \text{Tiempo pico } (tp) \quad tb = 2.67 * 12.93 \text{ hrs} = 34.52 \text{ hrs}$$

Obtenemos el gasto pico:

$$\text{Gasto pico } (q_p) = \frac{0.208 * \text{Área de la cuenca en km}^2}{\text{Tiempo pico } (tp)} \quad q_p = \frac{0.208 * 11.57 \text{ km}^2}{12.93 \text{ hrs.}} = 186.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.2 Hidrograma Unitario Adimensional

El hidrograma se representará mediante el producto de valores ya establecidos que se muestra en el anexo 1, relacionándolos con el tiempo y gasto pico que se calcularon, por lo que obtendremos valores que puedan ser representados gráficamente. Estos valores indican el volumen de agua que escurre por segundo en un tiempo determinado, es decir el tiempo que se tarda en descargar el escurrimiento de una precipitación, identificando el tiempo pico de la precipitación y el descenso de esta, de acuerdo con el gráfico, la precipitación una vez que alcanza el gasto máximo de 186.22m³/s comienza a descender, anexo 1.

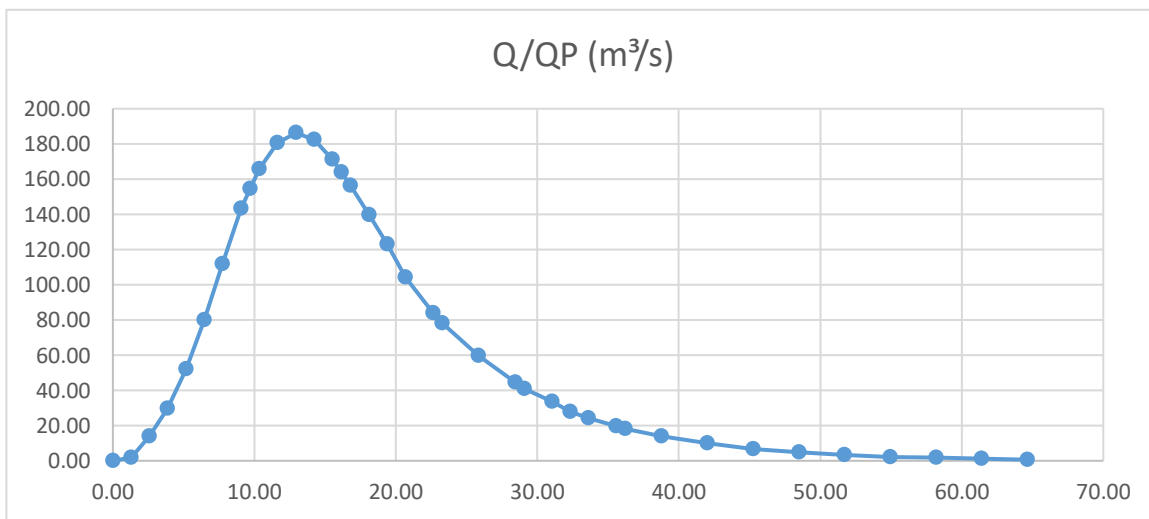


Ilustración 36. Representación gráfica del Gasto pico del caudal en m³/s para un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.

4.2.3 Simulación del Hidrograma Unitario Adimensional.

Una vez graficadas las características del Gasto-Tiempo, se procedió a digitalizar estos parámetros mediante el uso del software HEC-RAS desde una licencia de prueba académica que permitió realizar simulaciones de inundaciones de los periodos de retorno considerados anteriormente.

Principalmente se delimitó la zona de estudio en un MDT de tecnología LiDAR, mencionado anteriormente, se generó una malla de 30m x 30m que permitió identificar el cauce principal, adaptándose a la forma de la previa delimitación; se señaló la entrada y salida del hidrograma, es decir “aguas arriba” y “aguas abajo” del cauce, con el propósito de que el software identifique el rumbo del escurrimiento.

Finalmente se generan secciones transversales a cada 200 metros, para que el modelo de simulación identifique el territorio y la magnitud de la avenida, una vez que se obtienen las secciones transversales se procede a registrar los datos de flujo en este caso los gastos obtenidos los cuales se asocian mediante el software con un tiempo de simulación, ya sean en segundos, minutos, horas, días, etc., o en este caso al tiempo que se ha interpretado en el hidrograma, horas.

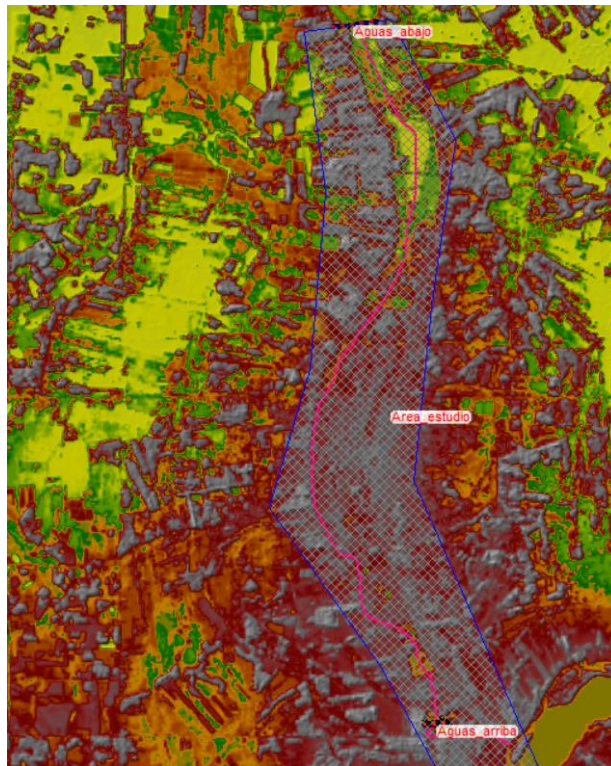


Ilustración 37. Identificación del eje central del antiguo cauce dentro de la zona de estudio que arrojó el software HEC-RAS. Elaboración propia, 2021.

4.3 Análisis de la Vulnerabilidad

Para analizar la vulnerabilidad se obtiene información sociodemográfica, en el portal de “Censo de Población y Vivienda 2020”, en el apartado “Microdatos”, donde se encuentra una liga dirige a una tabla interactiva que comparte una base de datos de las características de la población y viviendas por AGEB entre otras particularidades.

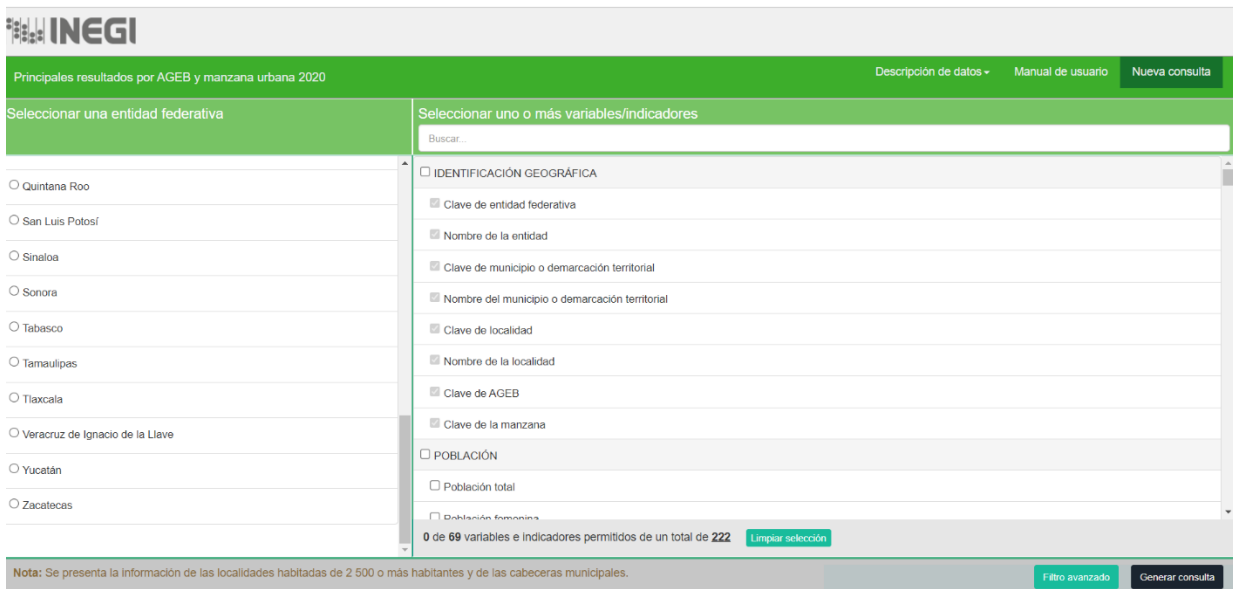


Ilustración 38. Portal SCITEL del Censo de Población y Vivienda 2020. INEGI, 2020.

Una vez que se identificó y seleccionó la información para el análisis de la vulnerabilidad, en este caso las características geográficas, como la clave del estado, del municipio y las localidades, estas últimas a nivel AGEB y manzanas, se procede a descargar en formato “.xlsx filtrando la información con ayuda de una hoja de cálculo, asimismo se descargaron los shapefiles de los AGEB, manzanas y vialidades que pueden ser manipulados por cualquier software de análisis de información geográfica en este caso ArcGIS desde una licencia académica; una vez que se filtró la información a través de la base de datos se identifican las manzanas y AGEB principales en los shapefiles relacionando la información con la zona urbana de Cárdenas que tiene como clave 27002.

También se descargó un archivo de viviendas tipo .xlxs del año 2016 donde muestra el tipo de material del cual se construyeron las viviendas el cual nos ayudará a identificar el grado de vulnerabilidad en base a la resistencia de estos materiales y una vez filtrada la información se obtienen los datos a nivel AGEB.

4.3.1 Clasificación del tipo de viviendas

La combinación que propone el CENAPRED (2021) para identificar el grado de vulnerabilidad de las viviendas ante una inundación se clasifica de acuerdo con el tipo de material de las casas, el cual comparte el INEGI mediante el “Cuestionario ampliado” asignándole un número de identificación.

Tabla 14. Materiales usualmente utilizados para la construcción de viviendas en México. INEGI, 2021.

Paredes	N. Identificación
Material de desecho	1
Lámina de cartón	2
Lámina de asbesto o metálica	3
Carrizo, bambú o palma	4
Embarro o bajareque	5
Madera	6
Adobe	7
Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto	8
Techos	N. Identificación
Material de desecho	1
Lámina de cartón	2
Lámina metálica o asbesto	3
Palma o paja, madera o tejamanil	4
Teja	5

Una vez que se identifican los materiales se realiza una serie de combinaciones de posibles viviendas construidas con estos materiales, refiriéndonos específicamente a techos y paredes, determinando un color de acuerdo con el grado de vulnerabilidad, clasificados como rojo, naranja, amarillo y verde, según sea el caso de exposición, la tabla de las combinaciones se muestra en el anexo 2.

Tabla 15. Grado de Vulnerabilidad. CENAPRED, 2021.

Tipo	Color	Vulnerabilidad
I	Rojo	Muy alta
II	Naranja	Alta
II	Amarillo	Media
IV	Verde	Baja

4.3.2 Porcentaje de daños de acuerdo con el tipo de bienes dentro de una vivienda

La guía metodológica para elaborar mapas de riesgo en zonas urbanas que compartió el CENAPRED (2011) propone una serie de datos y gráficos que permiten identificar el porcentaje de vulnerabilidad de las viviendas de acuerdo con el tipo de mobiliario con el que cuentan y el nivel de inundación que alcanzan, esta información se asigna de acuerdo al tipo de vivienda desde el tipo I hasta el tipo V, sin embargo para esta investigación se contemplará información hasta el tipo IV, que han sido clasificadas en la Tabla 11 y se muestran a continuación.

Elevación (m)	Pérdida de bienes materiales (%)
0.00-0.20	0
0.20-0.40	3
0.40-0.60	10
0.60-0.80	44
0.80-1.00	73
1.00-1.20	93
1.20-1.40	93
1.40-1.60	96
1.60-1.80	96
1.80-2.00	100
2.00-2.50	100

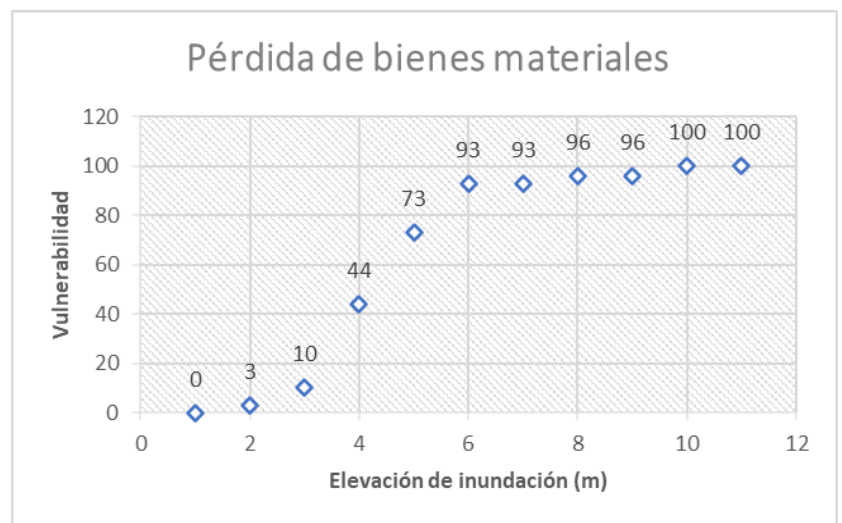


Tabla 16. Vulnerabilidad para vivienda de tipo I. CENAPRED, 2011.

Elevación (m)	Pérdida de bienes materiales (%)
0.00-0.20	-
0.20-0.40	6
0.40-0.60	18
0.60-0.80	30
0.80-1.00	80
1.00-1.20	90
1.20-1.40	95
1.40-1.60	98
1.60-1.80	100
1.80-2.00	100
2.00-2.50	100
2.50-3.00	100

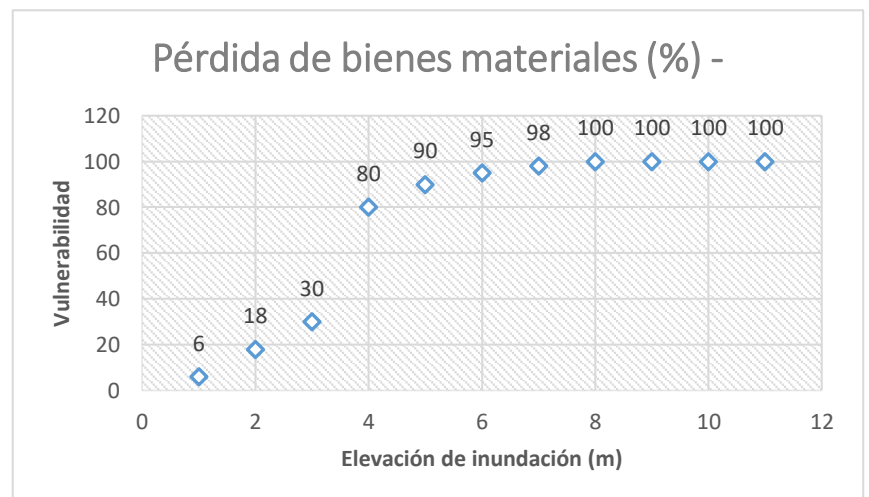


Tabla 17. Vulnerabilidad para vivienda de tipo II. CENAPRED, 2011.

Elevación (m)	Pérdida de bienes materiales (%)
0.00-0.20	-
0.20-0.40	3
0.40-0.60	8
0.60-0.80	31
0.80-1.00	74
1.00-1.20	81
1.20-1.40	97
1.40-1.60	98
1.60-1.80	99
1.80-2.00	100
2.00-2.50	100
2.50-3.00	100

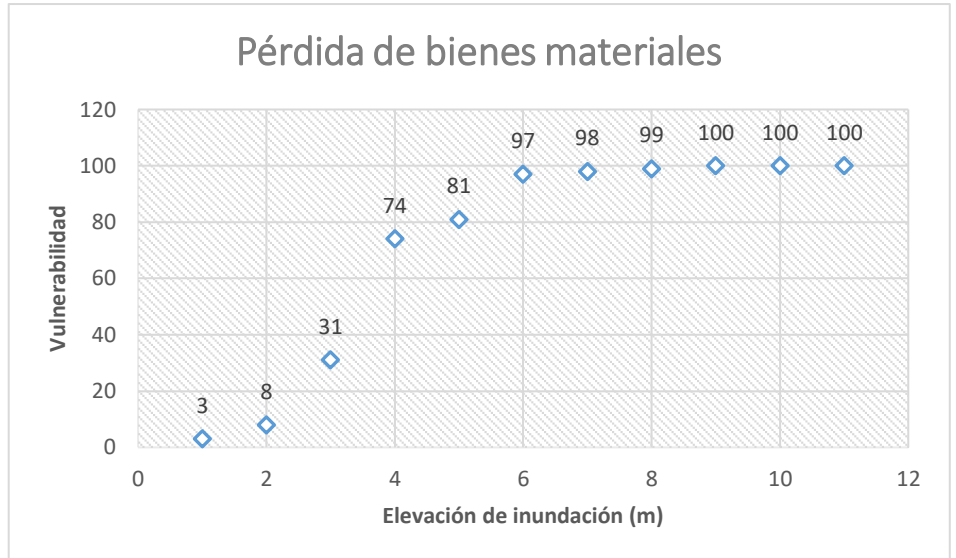


Tabla 18. Vulnerabilidad para vivienda de tipo III. CENAPRED, 2011.

Elevación (m)	Pérdida de bienes materiales (%)
0.00-0.20	0
0.20-0.40	2
0.40-0.60	5
0.60-0.80	7
0.80-1.00	40
1.00-1.20	43
1.20-1.60	47
1.60-1.80	47
1.80-2.00	47
2.00-2.50	47
2.50-3.00	52
3.00-4.00	94
4.00-5.00	100
5.00-6.00	100

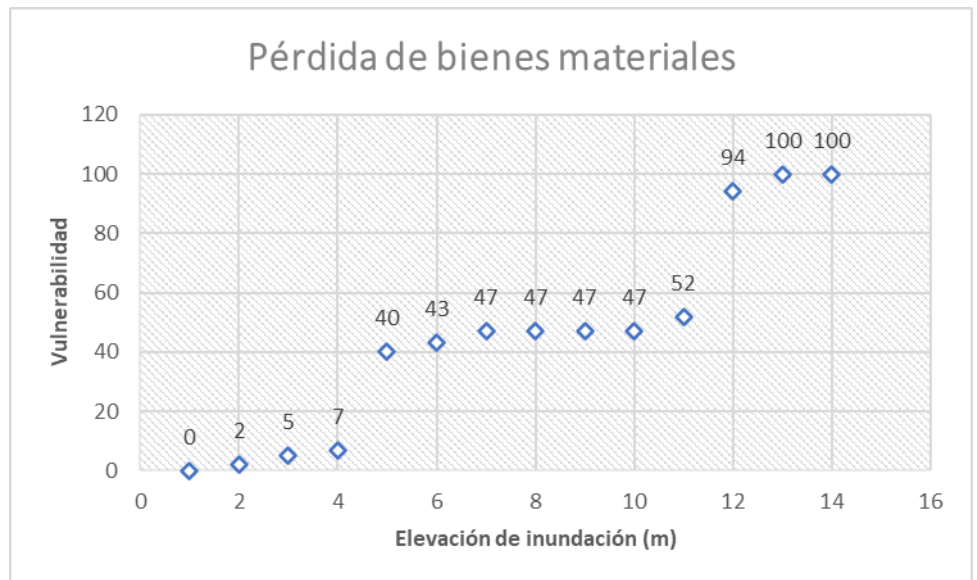


Tabla 19. Vulnerabilidad para vivienda de tipo IV. CENAPRED, 2011.

Una vez que identificamos el grado de vulnerabilidad y lo relacionamos con el tipo de vivienda, se realiza la comparación con la base de datos previamente depurada, asignando esta información a los AGEB de la zona urbana, lo que nos permite crear mediante el software ArcGIS un mapa de vulnerabilidad.

ENTIDAD	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC	AGEB	MZA	PAREDES	TECHOS	COMBINACION	TIPO
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0305	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0377	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0381	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0409	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0432	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0447	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0714	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0729	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0733	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0771	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0786	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0790	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0803	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0818	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0983	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	0998	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1002	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1017	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1021	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1036	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1089	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1125	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	113A	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1144	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1159	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1163	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1178	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1182	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1214	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1229	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1233	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1248	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1252	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1267	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1271	000	8	3	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1286	000	8	4	17	III
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1337	000	8	10	20	IV
27	Tabasco	002	Cárdenas	0001	1341	000	8	4	17	III

4.4 Análisis del Riesgo

Previamente analizado el peligro y la vulnerabilidad se relaciona la información obtenida, así como los mapas generados, con la finalidad de identificar el grado de riesgo de cada AGEB que es afectado por distintos tirantes de agua. De acuerdo con el CENAPRED (2011) la principal variable para identificar el riesgo corresponde a la elevación del agua durante una precipitación, a su vez se relaciona con la vulnerabilidad de las viviendas como mencionamos en el capítulo III, sin embargo debido a la complejidad de la información omitiremos la variable monetaria en este caso pesos, por lo que se expresará únicamente en porcentajes omitiendo la variable C de valores expuestos se obtiene la siguiente expresión.

$$R = P_i * V_i$$

R = riesgo en general

P_i = probabilidad de que ocurra un peligro de cierta intensidad

V_i = porcentaje de daño de una vivienda

Para obtener el valor de riesgo, mediante el mapa de peligro realizado anteriormente se recolectan los distintos tirantes de agua que se generaron mediante HecRAS, se relacionan con la vulnerabilidad de acuerdo con el tipo de vivienda y el porcentaje de pérdidas, lo que nos proporciona el porcentaje de daños de una vivienda.

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	AGEB	PAREDES	TECHOS	COMBINACION	TIPO	Promedio tirante	% Riesgo		Viviendas Tipo I		Viviendas Tipo II		Viviendas Tipo III		Viviendas Tipo IV	
									Elevación (m)	% de pérdidas de	Elevación (m)	% de	Elevación	% de	Elevación	% de pérdidas de
2	0305	8	4	17	III	0	0		0.00-0.20	0	0.00-0.20	-	0.00-0.20	-	0.00-0.20	0
3	0377	8	10	20	IV	1.3	73		0.20-0.40	3	0.20-0.40	6	0.20-0.40	3	0.20-0.40	3
4	0381	8	10	20	IV	0.55	10		0.40-0.60	10	0.40-0.60	18	0.40-0.60	8	0.40-0.60	10
5	0409	8	10	20	IV	0.5	10		0.60-0.80	44	0.60-0.80	30	0.60-0.80	31	0.60-0.80	44
6	0432	8	4	17	III	0.69	31		0.80-1.00	73	0.80-1.00	80	0.80-1.00	74	0.80-1.00	73
7	0447	8	3	17	II	0.57	18		1.00-1.20	93	1.00-1.20	90	1.00-1.20	81	1.00-1.20	93
8	0714	8	10	20	IV	0.6	10		1.20-1.40	93	1.20-1.40	95	1.20-1.40	97	1.20-1.40	93
9	0729	8	4	17	III	0.35	8		1.40-1.60	96	1.40-1.60	98	1.40-1.60	98	1.40-1.60	96
10	0733	8	4	17	III	0.72	31		1.60-1.80	96	1.60-1.80	100	1.60-1.80	99	1.60-1.80	96
11	0771	8	10	20	IV	0.41	10		1.80-2.00	100	1.80-2.00	100	1.80-2.00	100	1.80-2.00	100
12	0786	8	10	20	IV	0.56	10		2.00-2.50	100	2.00-2.50	100	2.00-2.50	100	2.00-2.50	100
13	0790	8	10	20	IV	0.57	10									
14	0803	8	10	20	IV	1.03	73									
15	0818	8	10	20	IV	0.72	44									
16	0983	8	10	20	IV	0.21	3									
17	0998	8	10	20	IV	0.21	3									
18	1002	8	4	17	III	1	74									
19	1017	8	10	20	IV	1.2	93									
20	1021	8	3	17	II	1.08	90									
21	1036	8	4	17	III	1.33	97									
22	1089	8	3	17	II	1.39	95									
23	1125	8	10	20	IV	0.63	44									
24	113A	8	10	20	IV	1.73	96									
25	1144	8	10	20	IV	2.42	100									
26	1159	8	3	17	II	0.89	80									
27	1163	8	10	20	IV	0.18	0									
28	1178	8	3	17	II	0.72	30									
29	1182	8	3	17	II	0.72	30									
30	1214	8	3	17	II	0.56	18									
31	1229	8	3	17	II	0.18	0									
32	1233	8	10	20	IV	0.91	73									
33	1248	8	10	20	IV	0.6	44									
34	1252	8	4	17	III	0.57	8									
35	1267	8	10	20	IV	0.57	10									
36	1271	8	3	17	II	0.44	18									
37	1286	8	4	17	III	0.4	8									

Tabla 20. Grado de Riesgo representado en porcentajes de acuerdo con el tipo de vivienda, para un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.

Finalmente se aplica la fórmula y obtenemos la relación del peligro de inundación con los daños generados en una vivienda que arrojan como resultado el riesgo representado en porcentaje.

AGEB	Probabilidad de peligro	Vulnerabilidad %	Riesgo
0305	0	0	0.00
0377	1.3	0.73	0.95
0381	0.55	0.1	0.06
0409	0.5	0.1	0.05
0432	0.69	0.31	0.21
0447	0.57	0.18	0.10
0714	0.6	0.1	0.06
0729	0.35	0.08	0.03
0733	0.72	0.31	0.22
0771	0.41	0.1	0.04
0786	0.56	0.1	0.06
0790	0.57	0.1	0.06
0803	1.03	0.73	0.75
0818	0.72	0.44	0.32
0983	0.21	0.03	0.01
0998	0.21	0.03	0.01
1002	1	0.74	0.74
1017	1.2	0.93	1.12
1021	1.08	0.9	0.97
1036	1.33	0.97	1.29
1089	1.39	0.95	1.32
1125	0.63	0.44	0.28
113A	1.73	0.96	1.66
1144	2.42	1	2.42
1159	0.89	0.8	0.71
1163	0.18	0	0.00
1178	0.72	0.3	0.22
1182	0.72	0.3	0.22
1214	0.56	0.18	0.10
1229	0.18	0	0.00
1233	0.91	0.73	0.66
1248	0.6	0.44	0.26
1252	0.57	0.08	0.05
1267	0.57	0.1	0.06
1271	0.44	0.18	0.08
1286	0.4	0.08	0.03

Tabla 21. Índice de Riesgo por AGEB. Elaboración propia, 2021.

Una vez que se obtuvo el índice de riesgo se clasificó de acuerdo con los parámetros propuestos por el CENAPRED (2011) y se agregó un color de acuerdo con el índice de riesgo el cual muestra parámetros de índice bajo representado de color verde, parámetros de índice medio representado por color amarillo y el índice de riesgo alto representado en color rojo.

Índice de riesgo	
Alto	0.67 - 1.0
Medio	0.33 - 0.67
Bajo	0 - 0.33

Tabla 22. Parámetros de Riesgo. CENAPRED, 2011.

El análisis del comportamiento de las inundaciones se ha catalogado como “peligro” indicando el nivel del agua dentro de la ciudad dado un evento meteorológico poco probable de suceder, asimismo el análisis de la variable “vulnerabilidad” ligado a los bienes materiales de la población como sus viviendas, transporte, bienes domésticos se consideran sumamente importante para establecer la relación de estas dos variables y obtener el “riesgo” al que se encuentra sometida la población.

Para tener noción de lo que implica el riesgo se observó durante el desarrollo de los parámetros de este valor que para ser considerado un riesgo de grado alto se deben considerar los materiales del cual están construidas las casas, así como el nivel que alcanza el agua y de esta manera determinar si las viviendas que se inundan se encuentran en riesgo de pérdidas materiales, asimismo recalcar que de acuerdo a la intensidad de la precipitación que se presente será importante evaluar el riesgo ante pérdidas de vidas humanas sin embargo este factor no fue contemplado dentro de este análisis, ya que el nivel de inundación que se simuló no demostró un nivel que amenace a la población, sin embargo no se descarta la idea de realizar un análisis que demuestre el impacto negativo que tendría un evento de gran magnitud.

Capítulo V. Mapas temáticos de Cárdenas, Tabasco

5.1 Análisis del mapa de Peligro por inundación

Una vez que se obtuvo el modelo de la simulación ante una avenida se interpretaron las zonas expuestas que se puede observar en el mapa de Peligro en la ilustración 39; este análisis demuestra el comportamiento de un evento en un periodo de retorno de 20 años. La mayor parte de la inundación se concentra en el área donde se encontraba el Río Seco y alrededor de la ciudad, asimismo, el alcance máximo del tirante de agua rebasa los 0.80 m a partir de la superficie del terreno, donde se producen encharcamientos de agua que pueden durar mucho tiempo antes de evaporarse mostrando preocupación por la vivienda y población que se encuentra en estas zonas; esto no quiere decir que la urbanización que muestra índices de agua es vulnerable ante este evento, sin embargo, ante una avenida máxima el desbordamiento del Río Mezcalapa puede ocasionar que la ciudad se inunde.



Ilustración 39. Inundación en la calle Central Camionera a un costado de la Central de Autobuses de la ciudad de Cárdenas, Tabasco, (esta área forma parte del antiguo Río Seco). El Heroico Cárdenas, 2020.

5.1.1 Mapa de Peligro por inundación

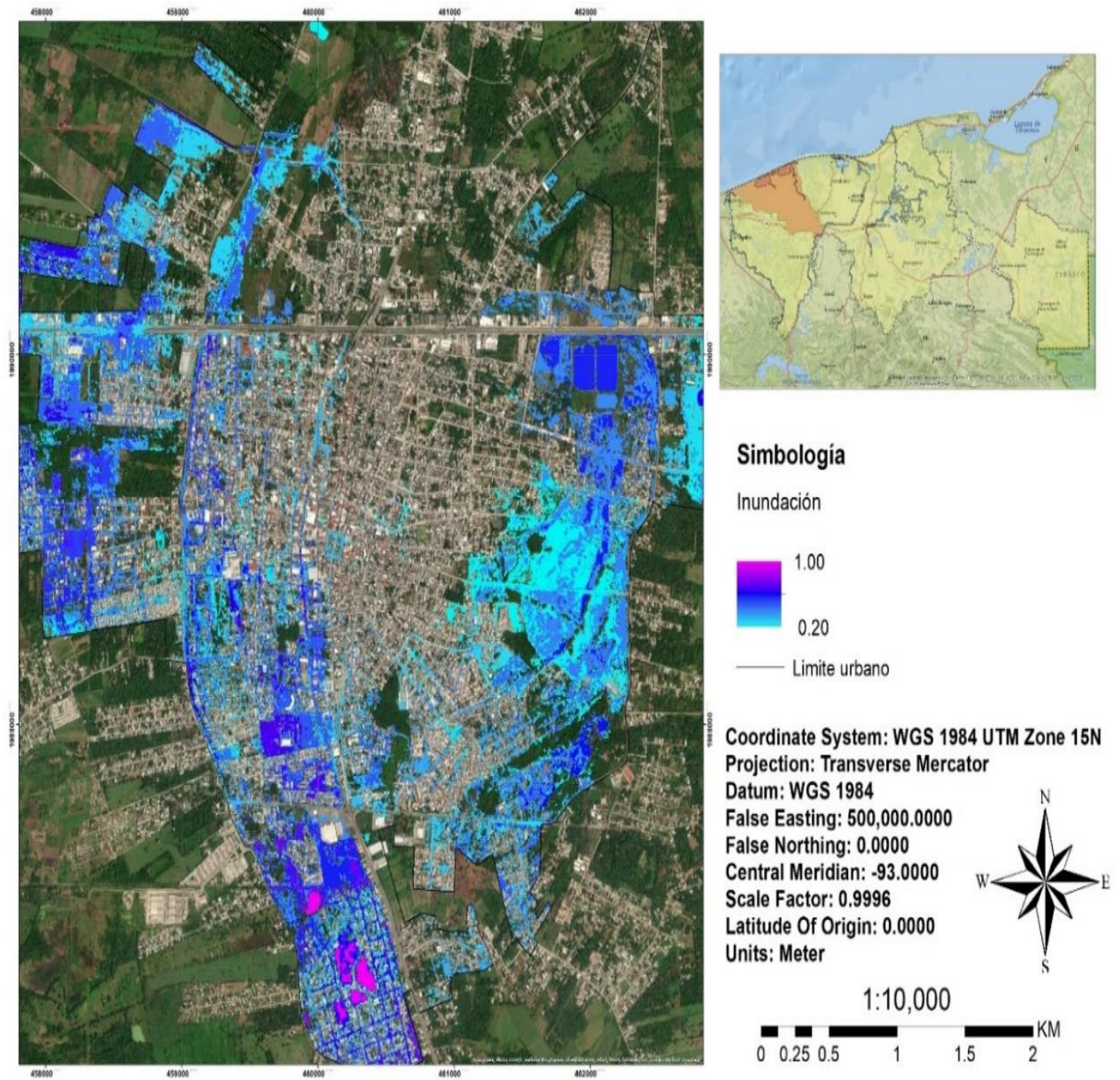


Ilustración 40. Mapa de Peligro con un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia, 2021.

5.2 Análisis del mapa de Vulnerabilidad por inundación

El 51.28% de las viviendas en la ciudad de Cárdenas vive en condiciones de resistentes ante desastres naturales, por lo que tienen una baja exposición de pérdida de bienes ante inundaciones y se muestran en color verde, mientras que el 25.65% viven condiciones medias lo que quiere decir, que están expuestas ante las inundaciones, sin embargo es poco probable que sufran alguna pérdida de bienes, se muestran en color amarillo y finalmente el 23.07% restante de las viviendas muestran un alto grado de vulnerabilidad en comparación con las anteriores y se muestra en color naranja, sin embargo ninguna de ellas llega al grado de pérdida total el cual se representa de color rojo, y como se observa en el mapa de vulnerabilidad no hay indicios de que existan áreas que representen un grado muy alto de vulnerabilidad, lo que indica algo muy bueno para el territorio.



Ilustración 41. Vivienda de tipo III expuesta ante una inundación. El Heroico Cárdenas, 2020.

5.2.1 Mapa de Vulnerabilidad

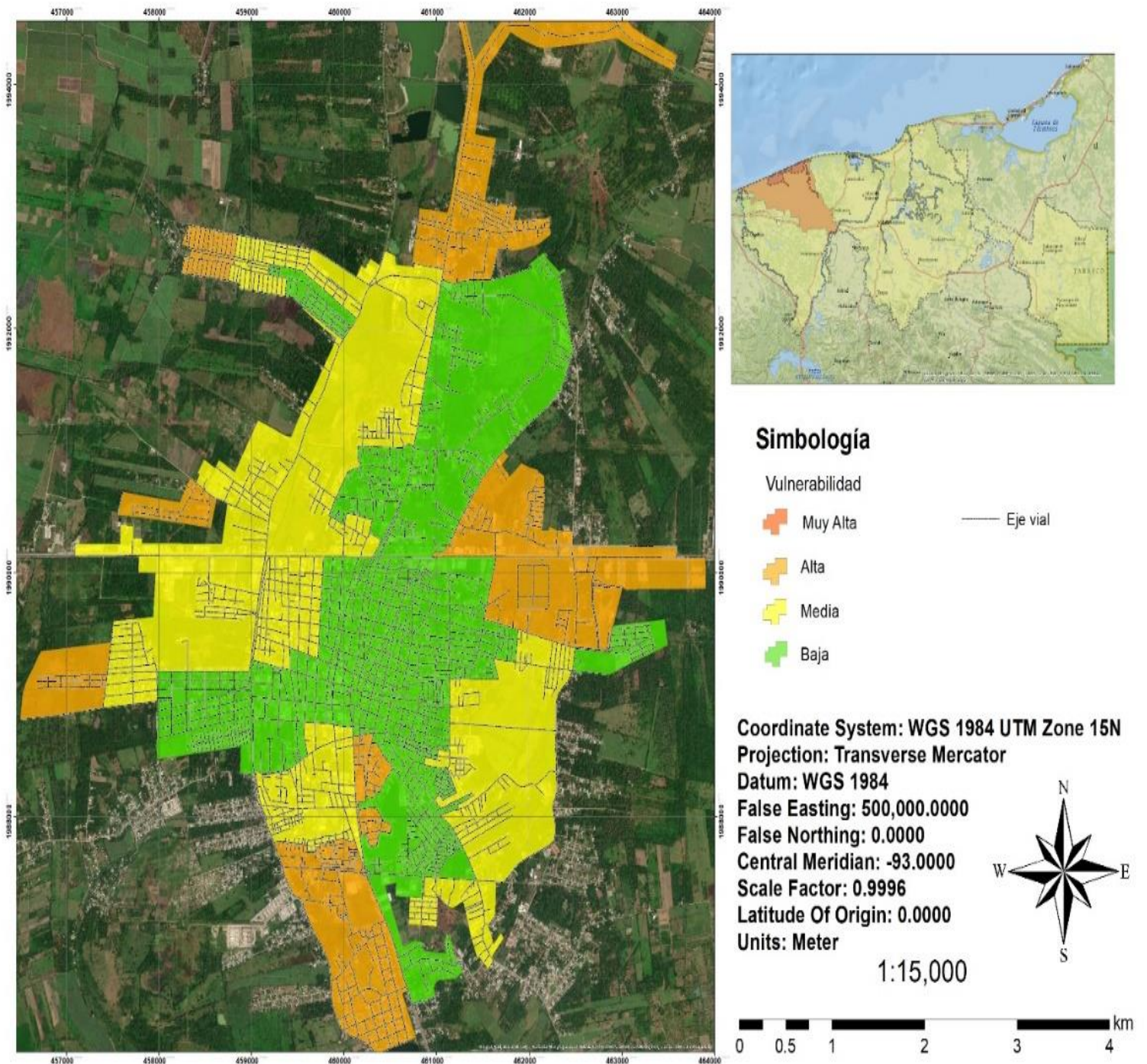


Ilustración 42. Mapa de Vulnerabilidad por Inundaciones. Elaboración propia con datos del INEGI, 2020.

5.3 Análisis del mapa de Riesgo por inundación

El análisis de riesgo muestra que el 66.66% de las viviendas se encuentra en bajas probabilidades de experimentar una inundación, lo que quiere decir que la mayor parte de la población puede resistir o no está expuesta ante una inundación, en el mapa de Riesgo (Ilustración 43) este porcentaje está representado en color verde.

Por otra parte, el 8.3% de las viviendas se encuentran propensas a experimentar una inundación, esto indica que existe un bajo porcentaje de viviendas que pueden padecer pérdidas materiales o afectación a sus hogares, con esta información podemos suponer que debido al bajo porcentaje de exposición se pueden implementar métodos que impidan a estas viviendas atravesar por pérdidas de bienes; este grado de riesgo se encuentra representado en color amarillo, a un costado del antiguo Rio Seco.

Finalmente, de acuerdo con los cálculos de riesgo el 25% de las viviendas se encuentra expuesto a sufrir inundaciones de manera indudable que les ocasione pérdidas materiales, es importante mencionar que el grado de riesgo muestra solo el porcentaje de probabilidad de que ocurra una inundación, pero no muestra decesos, ya que en la ciudad de Cárdenas es extremadamente baja la probabilidad que una vivienda sufra inundación que ocasione una situación lamentable como la pérdida de una vida.

Si bien el resultado es positivo, aún existen puntos expuestas a situaciones angustiosas que deben tratarse de manera inmediata, debido a que no solo la población y las viviendas de las zonas marcadas en rojo se encuentran expuestas también es importante mencionar que las vías de comunicación se ven afectadas, ya que estos fenómenos ocasionan socavones y baches en las calles que pueden provocar accidentes; un ejemplo de esto se muestra en las Ilustraciones 43 y 44.



Ilustración 43. Socavón en la carretera Villahermosa-Cárdenas. Trabuco Noticias, 2020.



Ilustración 44. Socavón en la colonia José Eduardo en Cárdenas, Tabasco. Fuente propia de la investigación, 2020.

5.3.1 Mapa de Riesgo

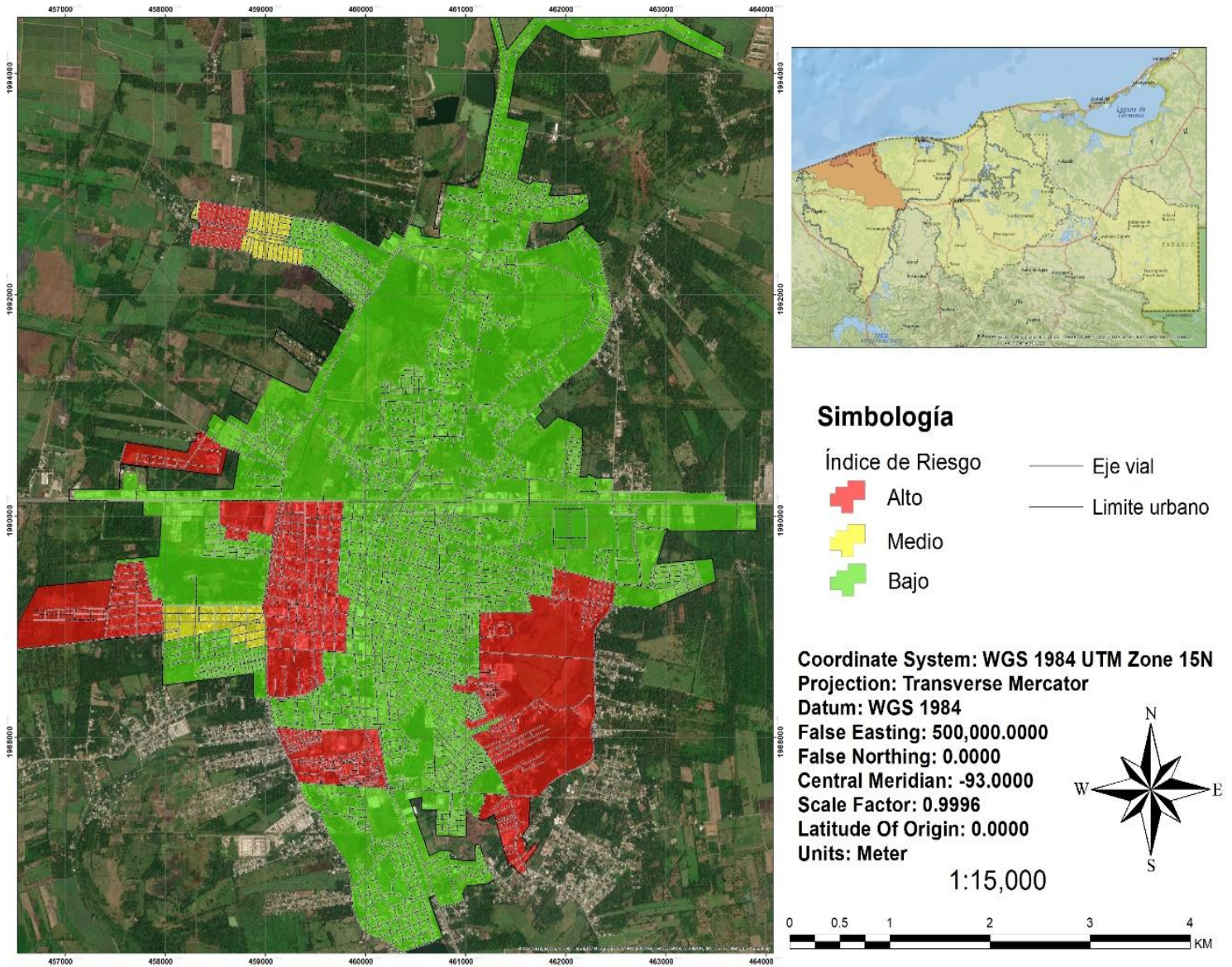


Ilustración 45. Mapa de Riesgo de un periodo de retorno de 20 años. Elaboración propia de la investigación, 2021.

Conclusión y Recomendaciones

Conclusiones

Como hemos mencionado durante el desarrollo de este trabajo, el estado de Tabasco siempre ha presentado problemas de inundaciones debido a los innumerables afluentes que forman parte del territorio, de igual forma influye la carencia de pendientes que impide el escurrimiento de gran parte del agua hacia el Golfo de México. El análisis del territorio tabasqueño muestra que debido a la naturaleza propia del terreno la mayor parte del estado se encuentra vulnerable ante inundaciones a causa de la saturación de los suelos provocado en temporada de lluvias. La relación entre el clima y el terreno natural de la región se han considerado para describir los resultados del estudio, debido a la influencia del clima tropical húmedo, en el que se presentan innumerables precipitaciones cada año, especialmente en la temporada de agosto-noviembre, sin embargo, se ha visto presente el cambio climático manifestándose mediante el cambio de temperaturas, masas de aire frío, lluvias e inundaciones.

Retomando el informe “Cambio climático y medio ambiente” que presentó la ONU en el año 2020 sobre las consecuencias que ocasiona el aumento de la temperatura global, el cual registró un aumento de 0.02°C a 1.1°C desde 1850 hasta el 2020, donde predice un aumento de 0.4°C durante los próximos 20 años, se esperan cambios en el aumento del nivel del mar, cambios en el ciclo hidrológico y variaciones repentinas de fenómenos naturales, que atraerán como consecuencia precipitaciones con mayor intensidad, provocando inundaciones como que se muestran en el mapa de Peligro donde se contempla una intensidad de 77.0 mm/hr y un gasto de 74.30 m³/s para un periodo de retorno de 20 años.

El estudio hidrológico aplicado a un periodo de retorno de 20 años, reflejó que al menos el 60% de la ciudad se encuentra expuesta a inundarse, donde el Periférico es el área más afectada con un tirante de agua que alcanza 1 metro, de la misma forma alrededor del área urbana se muestran zonas tendenciosas a inundarse, también en el mapa de Peligro podemos observar que el centro de la ciudad no muestra índices de inundaciones. Con base en cálculos realizados se determina que una precipitación para un periodo de retorno de 100 años con intensidad de 102.25mm/hr ocasionará el desbordamiento del Río Mezcalapa y provocará inundaciones graves que pondrían en riesgo la vida de la población.

El análisis de vulnerabilidad aplicado al periodo de retorno antes mencionado demostró que un 23.07% de las viviendas, aproximadamente 9 AGEB, se encuentran en condiciones de vulnerabilidad alta, donde la clasificación de materiales de viviendas indica que dentro de este porcentaje coinciden las que están constituidas con elementos frágiles como muros de barro, lámina, madera, asbesto y techos de lámina, cartón y madera. Debido a la complejidad de la metodología se obtuvieron resultados basados en los bienes materiales dañados y no monetarios, ya que el estudio se aplicó por AGEB y no a cada una de las viviendas como sugiere la metodología aplicada.

En base a los resultados obtenidos se demostró que al menos el 66% de la población, que equivale a 160,517 habitantes, que se encuentra en la zona urbana de Cárdenas no está expuesta ante el riesgo de inundarse al grado de perder algún bien material o vidas humanas, es decir el riesgo es bajo, sin embargo el 34% restante de la población equivalente a 82,712 personas viven en zonas vulnerables a inundaciones que pueden afectar su estilo de vida ya que se encuentran ante un riesgo alto, en el que pueden padecer pérdidas de bienes materiales pero el grado de afectación no puede provocar pérdidas de vidas humanas ya que el tirante de agua no representa mayor peligro que pérdida de elementos materiales.

Finalmente, la hipótesis del presente trabajo se demuestra a partir del desarrollo de la metodología, elaborando la simulación que permitió identificar las inundaciones en diferentes zonas de la urbanización, así como la clasificación de las zonas vulnerables a este fenómeno obteniendo como resultado un mapa de riesgo analizado desde los resultados.

Es importante tener presente la importancia que representan los mapas de riesgo dentro de la sociedad, ya que con los cambios que se han presentado y que se presentarán en la naturaleza debemos estar preparados para los desastres que se manifiestan y contemplar la seguridad y protección de la población ante cualquier desastre natural. Asimismo, es importante fomentar el interés sobre estos temas al público en general y a las instituciones académicas correspondientes ya que es trascendental que formen parte de la vida, también se considera relevante la promoción a la población de recomendaciones que deben practicarse durante la presencia de inundaciones para mitigar las afectaciones, por ello se muestran las siguientes recomendaciones en los siguientes párrafos.

Recomendaciones

De acuerdo con los resultados y conocimientos que se tienen sobre la zona de estudio es importante destacar que el municipio necesita establecer métodos o sistemas que ayuden a mitigar las inundaciones dentro del sector urbano, por lo que se espera que el mapa de peligro, vulnerabilidad y riesgo puedan contribuir a la elaboración de proyectos que favorezcan el mejoramiento de la ciudad.

Reforzar el plan de desarrollo de la ciudad para mitigar estos escenarios de peligro, ofreciendo a las viviendas más vulnerables recursos o herramientas que auxilien a las personas que viven dentro en las comunidades expuestas ya que es clara la despreocupación por parte del gobierno municipal las condiciones en las que se encuentran expuestas estas localidades.

Realización de obras de construcción que permitan la filtración o desviación del agua precipitada sobre todo durante la temporada de lluvias, mitigando las afectaciones a la infraestructura urbana, así como el mejoramiento del sistema de drenaje.

Implementación de campañas encargadas de difundir información sobre las consecuencias que conllevan los asentamientos urbanos dentro de zonas en riesgo, y de esta manera concientizar a la población sobre el tema, mostrando lugares seguros que pueden ser habitados sin preocupación de exponerse.

Reforzar y equipar estructuras que funcionan como centros de acopio o albergues, implementar nuevos alojamientos o la construcción de edificaciones que funcionen exclusivamente para situaciones de alto riesgo para resguardar a la población afectada.

Realizar mapas que muestren la ubicación de albergues, rutas de evacuación e instituciones de apoyo en caso de una emergencia.

Utilizar las nuevas tecnologías como el uso de los sistemas de información geográfica para el monitoreo de lluvias que puedan provocar inundaciones, fenómenos meteorológicos, estudios hidrológicos, etc.

Innovación en la organización del ordenamiento territorial, donde se muestren proyectos sustentables para el libre desarrollo de la población.

Anexos

Anexo1. Tabla 23. Características del Hidrograma Unitario Adimensional.

t/tp	q/qp	t/tp	q/qp (m³/hr)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.01	1.29	1.86
0.20	0.08	2.59	13.97
0.30	0.16	3.88	29.80
0.40	0.28	5.17	52.14
0.50	0.43	6.47	80.08
0.60	0.60	7.76	111.73
0.70	0.77	9.05	143.39
0.75	0.83	9.70	154.56
0.80	0.89	10.34	165.74
0.90	0.97	11.64	180.63
1.00	1.00	12.93	186.22
1.10	0.98	14.22	182.50
1.20	0.92	15.52	171.32
1.25	0.88	16.16	163.87
1.30	0.84	16.81	156.43
1.40	0.75	18.10	139.67
1.50	0.66	19.40	122.91
1.60	0.56	20.69	104.28
1.75	0.45	22.63	83.80
1.80	0.42	23.27	78.21
2.00	0.32	25.86	59.59
2.20	0.24	28.45	44.69
2.25	0.22	29.09	40.97
2.40	0.18	31.03	33.52
2.50	0.15	32.33	27.93
2.60	0.13	33.62	24.21
2.75	0.11	35.56	19.55
2.80	0.10	36.21	18.25
3.00	0.08	38.79	13.97
3.25	0.05	42.02	9.87
3.50	0.04	45.26	6.70
3.75	0.03	48.49	4.84
4.00	0.02	51.72	3.35
4.25	0.01	54.95	2.23
4.50	0.01	58.19	1.68
4.75	0.01	61.42	1.12
5.00	0.00	64.65	0.74

Anexo 2. Combinación de tipo de vivienda con el grado de vulnerabilidad. CENAPRED, 2021.

Combinación	Tipo de vivienda	Combinaciones entre tipos de techos y paredes
1	I	Vivienda con muros y techo de material desecho
2	I	Vivienda con muros y techo de lámina de cartón
3	I	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica
4	II	Vivienda con muros de lámina de asbesto y techo de lámina de cartón
5	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o plama y techo de lámina de cartón
6	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o plama y techo de lámina de asbesto o metálica
7	II	Vivienda con muros de barro o bajareque y techo de lámina de cartón
8	II	Vivienda con muros de barro o bajareque y techo de lámina de asbesto o metálica
9	II	Vivienda con muros de barro o bajareque y techo de palma, tejamil o madera
10	II	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de cartón
11	III	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metálica
12	II	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metálica
14	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de palma, tejamil o madera
15	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	II	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón
17	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de palma, tejamil o madera
19	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	IV	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería

Bibliografía

- National Aeronautics and Space Administration. (04 de Noviembre de 2020). *GLOBAL CLIMATE CHANGE*. Obtenido de NASA: <https://climate.nasa.gov/>
- Rojas Vilches, O., & Martínez Reyes, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 86.
- Arellano et al. (s.f.).
- Arellano, et al. (2005). *Las asociaciones de charros en Tabasco: 40 años de historia*. Villahermosa: Universidad Juaárez Autónoma de Tabasco.
- Ayuntamiento de Puebla. (2011). *Atlas de Peligros Naturales*. Puebla: Unidad Operativa Municipal de Protección Civil.
- Bannister, A., Raymond, S., & Baker, R. (2002). *Técnicas modernas en Topografía*. México, D.F.: Alfa Omega, Grupo Editor.
- Bordón Ferre, Y., & Martín Villanueva, R. (2015). *Topografía agraria*. Madrid: SINTESIS.
- Cáma de Diputados. (2019). *Ley de Vivienda*. Ciudad de México: Secretaría General.
- Cámara de diputados . (2021). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Ciudad de México: Secretría General.
- Cámara de Diputados. (2020). *Ley General de Protección Civil*. Ciudad de México: Secretaría General.
- Cámara de Diputados. (2021). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México: Secretaría General.
- Casal, J., Montiel, H., Planas, E., & Vílchez, J. (2020). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Cataluña, España: Edicions UPC.
- CENAPRED. (2009). *INUNDACIONES*. México.
- CENAPRED. (2011). *Metodología para la Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones en Zonas Urbanas*. México: Marco Antonio Salas Salinas.

- CENAPRED. (2017). *Desastres en México: impacto social y económico*. Coordinación Nacional de Protección Civil.
- CENAPRED. (2020). *INUNDACIONES*. Ciudad de México: Secretaría de seguridad y protección ciudadana.
- CENAPRED. (Versión electrónica 2021). *METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGOS POR INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS*. Ciudad de México: CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES.
- CIC Consulting Informático. (13 de Marzo de 2021). Obtenido de CIC Consulting Informático: <https://www.cic.es/sobre-nosotros/>
- CONAGUA. (2014). *“Programa de Medidas Preventivas de Mitigación de la Sequía en los ríos Grijalva y Usumacinta*. UNICACH.
- CONAGUA. (2020). *INFORME ANUAL*. Obtenido de www.conagua.org
- CONAGUA. (19 de Noviembre de 2020). *SMN CONAGUA*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Congreso de la Unión. (2012). *Ley de Expropiación*. Ciudad de México.
- Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (2016). *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. México.
- Continuo de Elevaciones Mexicano. (09 de Agosto de 2021). *CEM*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- (2020). *Desastres Naturales*. http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/10desastres_naturales.pdf. Obtenido de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/10desastres_naturales.pdf
- ESRI. (22 de Abril de 2021). Obtenido de Environmental Systems Research Institute: <https://www.arcgis.com/index.html>
- Esteves, J. M. (2004). *Los desastres de origen*. Hermosillo, México: Estudio Sociales.

- EXCELSIOR. (10 de Noviembre de 2020). Mal cálculo en el desfogue de presa. pág. s.p.
- Felicísimo, Á. M. (Marzo de 2021). *Modelos Digitales del Terreno*. Obtenido de http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf
- Galindo, A. (2015). *Atlas de Riesgos de Centro*. Villahermosa: Talleres Yax-ol.
- Gamboa, F. B. (s.f.). La complejidad del riesgo: breve análisis transversal. *Revista de la Universidad Cristóbal Colón Número 20*, 11-13.
- Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco. (1975). *Reglamento de Construcciones del Estado de Tabasco*. Villahermosa, Tabasco: Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco.
- Gobierno del Estado. (05 de Noviembre de 2020). *tabasco.gob.mx*. Obtenido de <https://tabasco.gob.mx/cardenas>
- Gobierno del Estado de Tabasco. (2019). *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024*. Tabasco: Gobierno del Estado de Tabasco.
- Gobierno del Estado de Tabasco. (05 de Noviembre de 2020). *tabasco.gob.mx*. Obtenido de <https://tabasco.gob.mx/cardenas>
- H. Ayuntamiento . (2016). Plan Municipal de Desarrollo 2016-2018. Cárdenas, Tabasco, México.
- Henández, M. Á. (2013). *Metodología basada en confiabilidad para la evaluación del riesgo por inundación aplicada a la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Tesis de Maestría*. CDMX: Universidad Nacional Autónoma de México .
- Hernández, J. G. (2008). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105443/Cap1_Introduccion.pdf. Obtenido de Coordinación de Hidráulica: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105443/Cap1_Introduccion.pdf
- Holger Benavides, P. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Ediloja Cia. Ltda.
- INEGI. (1997). *División territorial del estado de Puebla*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

- INEGI. (1999). *TABASCO HOY*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (12 de Noviembre de 2010). *SIATL*. Obtenido de SIATL: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/?s=geo&c=1693&e=04#
- INEGI. (2014). *Norma Técnica para la Generación de Modelos Digitales de Elevación*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía .
- INEGI. (2020). *Censos Nacionales*. SNIEP.
- INEGI. (19 de Noviembre de 2020). *Cuentame*. Obtenido de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&e=27#:~:text=Tabasco%20es%20la%20entidad%20del%20pa%C3%ADs%20donde%20m%C3%A1s%20llueve.&text=El%2095.5%25%20de%20la%20superficie,la%20parte%20este%20del%20estado>.
- INEGI. (05 de Diciembre de 2020). *Prontuario de Cárdenas, Tabasco*. Obtenido de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27002.pdf
- INEGI. (09 de Abril de 2021). Obtenido de Marco Geodésico: https://www.inegi.org.mx/temas/geodesia_activa/
- INEGI. (22 de Abril de 2021). Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- INEGI. (Julio de 2021). *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Instituto Geográfico Nacional. (2021). *¿Qué es la Geodesia?* Madrid, España: General Ibáñez Ibero. Obtenido de <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/GDS-Teoria-Geodesia.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (18 de Mayo de 2018). *Gobierno de México*. Obtenido de INECC: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima>

- Landeros Sánchez, C. (2015). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Macro-localizacion-de-Cardenas-Tabasco-Mexico_fig1_280319885
- López, S. C. (2018). El concepto de riesgo. *Recursos Naturales y Sociedad*, 39-41.
- Malma Montaña, J. D., & Moran Espinoza, M. (2013). *SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO CON INTERFAZ WEB DE LA CIUDAD DE PUNO*. Perú: Tesis.
- Martínez, M. A. (1971). *La defensa de Tabasco:1600-1717*. Sevilla: Consejo superior de investigaciones científicas.
- Martínez, M. T. (2010). *Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales*. Colombia: Universidad del Cauca.
- Mora Mariño, W., & Gilberto Ochoa, R. (2016). *Modelamiento de las zonas de inundación por medio de las herramientas Hec Ras, Geo Ras y ArcGIS*. Colombia: Por los autores.
- National Geographic. (05 de Septiembre de 2010). *National Geographic*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/cambio-climatico-sequias-e-inundaciones>
- Nature, H. (2019). *Ciclo hidrológico*. Obtenido de Imagen: www.hidden-nature.com
- Ohmstede, E. (2004). *Desastres agrícolas en México*. México: CIESAS.
- OMS. (2020). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- ONU. (2021). *Cambio climático y medio ambiente*. Organización de Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (Octubre de 2009). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <http://www.fao.org/home/en/>
- Organización Meteorológica Mundial. (2006). *Gestión Integrada de Crecientes: Río Grijalva*. México: Unidad de apoyo técnico.

- Organización Mundial de la Salud. (03 de Marzo de 2021). *Organización Mundial de la Salud*.
Obtenido de OMS:
<https://www.who.int/hac/techguidance/ems/floods/es/#:~:text=FACTORES%20MODIFICADORES%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD&text=Edificios%20y%20cimientos%20no%20resistentes,o%20al%20revestimiento%20con%20cemento>.
- Perez, O. O. (2017). *Vulnerabilidad y vejez: implicaciones y orientaciones epistémicas del concepto de vulnerabilidad*. Jalisco: Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Pizarro, R. (2001). *La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada a América Latina*. Santiago, Chile: Naciones Unidas.
- Proaño, I. J. (2014). *Curso de Hidrología aplicada*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Puchuc, J. T. (2014). *Introducción al Procesamiento de Imágenes de Satélite Gratuitas con Aplicación a los Modelos Digitales de elevación*. Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao.
- RAE. (23 de Abril de 2021). Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/peligro>
- Real Academia Española. (24 de Febrero de 2014). Obtenido de RAE: <https://dle.rae.es/riesgo>
- Rodriguez Becerra, M., & Mance, H. (2007). *Cambio climático: lo que está en juego*. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- Rodríguez Ramírez, E., & Rojas González, I. A. (2021). *Cambio climático: lo que debes saber*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. México, DF.: Alfaomega Grupo Editor.
- Saldaña, R. M. (2007). Teoría del riesgo. *Muy Interesante*, 34.
- Salinas, M. A. (Julio de 2011). *Metodología par la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas*. México D.F.: Salinas, Marco Antonio Salas.
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

- Santos, J. (2004). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- SCT. (15 de enero de 2021). *Secretaría de Comunicaciones y Transporte* . Obtenido de Dirección General de Servicios Técnicos: <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/>
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (S.F.). *Manifestación de Impacto Ambiental*. SCT.
- SEMARNAT. (2009). *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México.
- SEMARNAT. (2013). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Tabasco*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (08 de Diciembre de 2020). *Superficie del país cubierta por vegetación natural, 2011, 2014*. Obtenido de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV01_08%26IBIC_user=dgeia_mce%26IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=* &NOMBREENTIDAD=Tabasco
- Servicio Geológico Mexicano. (06 de Diciembre de 2020). *Rocas sedimentarias*. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano: <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-sedimentarias.html>
- Servicio Geológico Mexicano. (2021). *Peligros y riesgos por fenómenos naturales*. Ciudad de México: Servicio Geológico Mexicano.
- Servicio Meteorológico Nacional. (20 de Noviembre de 2020). Obtenido de Servicio Meteorológico Nacional: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/spi>
- Sosa Pedroza, J., & Martínez Zuñiga, F. (2008). *Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de Comunicación*. México: ESIME (IPN).
- Suñez, J. S. (2009). Los Sistemas de Información Geográfica al servicio de la sociedad. *Tecnologías de la información geográfica*, 03-05.
- Torres N., Á., & Villate B., E. (2001). *Topografía*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Uribe, M. (02 de Abril de 2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/>

Warren C., T., & Russell C., B. (1969). *Topografía elemental*. México: Pax-México.

Wilches-Chaux, G. (1988). *La Vulnerabilidad Global*.