



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Arquitectura

Maestría en Ordenamiento del Territorio

**Análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica del riesgo de inundación
en el Sector Hacienda-Margarita, Puebla**

Tesis que para obtener el título de Maestro en Ordenamiento del Territorio

Presenta:

Eduardo Jerjes Molina Blancas Matrícula 220470255 CVU 1057741

Directora: Dra. Stephanie Scherezada Salgado Montes ID. 100525671 CVU 491615

Codirectora: Dra. María Lourdes Guevara Romero ID. 100521886 CVU 336949

Asesores:

Dra. María de Lourdes Flores Lucero CVU 85792

Mtro. Carlos Alberto Tovar González ID. 100226399 CVU 1092337

Agosto de 2022



Contenido

Introducción.....	3
Metodología	5
CAPÍTULO I. LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN.....	8
1.1 La construcción social del riesgo de inundación.....	8
1.2 Las condiciones que diferencian los niveles de vulnerabilidad	8
1.3 La estructura institucional para atender el riesgo.....	10
CAPÍTULO II. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	14
2.1 La potencia de los SIG para el análisis espacial	14
2.2 Análisis Espacial para determinar el riesgo de inundación.....	15
CAPÍTULO III. ASENTAMIENTOS URBANOS DE LA CIUDAD DE PUEBLA EN RIESGO DE INUNDACIÓN.....	19
3.1 El sistema hidrológico de Puebla	19
3.2 Causas que generan el riesgo de inundación	23
3.3 Estimación de los asentamientos urbanos en riesgo	25
3.4 La política pública relacionada con los riesgos de inundación	29
3.4.1 La Planificación Territorial	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV. RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL SECTOR HACIENDA-LA MARGARITA.	43
4.1 Sector Hacienda-Margarita.....	43
4.2 Análisis Espacial	50
4.3 Simulación Hídrica	73
4.4 Riesgo y Vulnerabilidad	81
CONCLUSIONES.....	96
REFERENCIAS.....	99



Introducción

El presente estudio forma parte de los proyectos de investigación elaborados por el Cuerpo Académico 118 Gestión y Planeación Territorial de la Facultad de Arquitectura de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Además, continua con la sublínea de investigación Riesgos, Vulnerabilidad y Sistemas de Información Geográfica derivada de las tesis de doctorado Empoderamiento ciudadano para mitigar el riesgo de inundación. Caso Colonia La Hacienda Puebla (Salgado Montes, Flores Lucero, & Guevara Romero, 2020) y Gestión para la reducción de riesgo de inundación en el municipio de Puebla (Ramírez Flores & Flores Lucero, 2017).

La dinámica del río Alseseca, como la de otros ríos que atraviesan la ciudad de Puebla, está sujeta a cambios causados principalmente por las precipitaciones que obedecen normalmente a temporadas húmedas y secas propias del clima del valle de Puebla. Las lluvias se presentan en el período entre los meses de mayo a octubre de cada año (Gobierno municipal, 2012). Lo anterior, debido a diferentes causas, entre las cuales se pueden mencionar los microclimas existentes en el valle y los efectos de los fenómenos meteorológicos que suceden en las costas del Golfo y el Pacífico, las condiciones meteorológicas que pueden generar fuertes tormentas, granizadas o lluvias muy copiosas de duración mayor al promedio. Los ríos que principalmente causan inundaciones en la ciudad de Puebla son el río Atoyac, que recorre el municipio en su zona poniente y el río Alseseca en el oriente, y el vaso regulador Puente Negro en el noreste, que está a cielo abierto del río San Francisco. Las inundaciones ocasionadas por estos ríos y la acumulación de aguas pluviales generan avenidas súbitas que ponen a 491 asentamientos urbanos en riesgo de inundación¹.

Los organismos gubernamentales como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), la Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos y la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana han realizado estudios que apoyan y dirigen las acciones de prevención y respuesta a los desastres realizados principalmente por Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos, como el Atlas de Riesgos del Estado de Puebla (2012) y el Atlas de Riesgos del Municipio de Puebla (Gobierno Municipal, 2012).

Fuente: Estudio propio realizado con base en las estimaciones de inundación del Atlas de Riesgo (2012), el cual se especifica con más detalle en el diagnóstico del problema.



Este estudio se centra en el análisis de las condiciones de riesgo de inundación que se encuentran en el río Alseseca, el cual es la corriente principal de la subcuenca Alseseca (RH18Aj). Este río es el único punto de drenaje de toda esta subcuenca, y a su paso por el sureste de la ciudad, los asentamientos urbanos que están cerca del río están bajo riesgo de inundación, específicamente en los asentamientos urbanos colonia La Hacienda y unidad habitacional La Margarita, denominado Sector Hacienda-Margaritas. La pertinencia del análisis es explicar las condiciones que generan el riesgo de inundación y de las situaciones de emergencia que se presentaron el 22 de Julio de 1996, en octubre de 1999, el 15 de junio de 2003, el 10 de junio de 2014, el 12 de julio de 2019 (Gobierno municipal, 2012) (Gobierno Municipal, 2012, págs. 128,129) y el sábado 24 de Septiembre de 2022, cuando una lluvia muy intensa provocó el desbordamiento del río Alseseca que afectó a varias colonias de la ciudad y en el sector Hacienda-Margarita varios carros quedaron varados (infobae, 2022) y se inundó la primaria Hacienda de Guelatao (Intolerancia, 2022), la cual es uno de los equipamientos bajo riesgo que se arrojó nuestro estudio. También se propone cómo generar la información omitida en los estudios de riesgo de desastre que se han llevado a cabo por parte de las instituciones de gobierno.

El problema es que, existe el riesgo de inundación por la construcción de viviendas y equipamientos en el Sector Hacienda-Margarita que afectan viviendas, equipamientos y las vialidades con una frecuencia aproximada de 3.6 años. Actualmente existe una vulnerabilidad de 2,086 habitantes, 202 viviendas, 79 vialidades y 4 equipamientos. Además de las condiciones físicas, el riesgo se presenta debido a que la generalidad de la información que no evidencia la vulnerabilidad en asentamientos urbanos, la baja accesibilidad a los instrumentos de gestión y planeación, y el desaprovechamiento de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han limitado la toma de decisiones por parte del sector gubernamental y social para mitigar el riesgo de inundación. Aunado a esto, existen debilidades en la planeación y gestión de los asentamientos urbanos de la ciudad de Puebla que han incentivado la construcción en áreas poco aptas para el desarrollo urbano, en el caso de estudio, en zonas inundables.

A partir de esto se plantea la **hipótesis** de que los análisis realizados para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Puebla no han sido lo suficientemente precisos para identificar y evaluar la vulnerabilidad física y social de los asentamientos urbanos. Por lo tanto, se considera necesario aplicar las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar el análisis espacial y simulación hidrológica de los procesos que inciden en la generación del riesgo,



que permita replantear y reevaluar nuevas estrategias de prevención y mitigación del riesgo de inundación en asentamientos urbanos. El **objetivo** de esta investigación es analizar la construcción del riesgo de inundación a través de los Sistemas de Información Geográfica para identificar y evaluar la vulnerabilidad social y física, y plantear estrategias de prevención y mitigación del riesgo de desastre en el Sector Hacienda-Margarita.

Este estudio se va a realizar usando una combinación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un sistema de simulación hidrológica para analizar el sector Hacienda-Margaritas, contrastando los resultados con los estudios anteriormente realizados por las instituciones oficiales para la misma zona, con la finalidad de obtener resultados más exactos y gráficos que puedan ser entendibles y por lo tanto que sean más persuasivos para que todos los actores involucrados puedan tomar acciones más específicas y eficaces para apoyar la labor de evitar al máximo los daños producidos por las inundaciones en esta zona. Se espera también que al ser una zona muy representativa de las otras zonas bajo riesgo de inundación en la ciudad, los estudios y resultados puedan ser fácilmente aplicados a cualquier otra zona bajo riesgo hídrico en la ciudad de Puebla o en otras ciudades del país.

Metodología

El proceso de investigación se realizó bajo un enfoque sistémico (Urteaga & Eizaguirre, 2013) de los ámbitos físico, social y político, utilizando métodos de análisis cualitativos y cuantitativos de los datos estadísticos, geográficos y sociales. El enfoque sistémico de la construcción social del riesgo permitió considerar la dinámica del sistema hidrológico y resaltar los procesos de urbanización que inciden en la generación del riesgo de inundación, así como la vulnerabilidad física y social en los asentamientos urbanos (Lungo, 2001).

El análisis espacial del sector Hacienda-Margarita se realizó usando la tecnología SIG con base en los datos alfanuméricos, vectoriales y *raster* de los asentamientos urbanos colonia La Hacienda y la unidad habitacional La Margarita, bajo los principios de Localización, Distribución, Asociación, Interacción y Evolución Espacial (Buzai & Robinson, Sistemas de Información Geográfica en América Latina (1987-2010), 2010, pág. 13) y herramientas de geoprocésamiento, sobreposición e intersección de capas, modelamiento y generación de escenarios futuros. El enfoque sistémico de la construcción social del riesgo (Urteaga & Eizaguirre, 2013) permitió considerar la dinámica del sistema hidrológico y resaltar los procesos de urbanización que inciden en la generación del riesgo de inundación, así como la vulnerabilidad física y social en asentamientos urbanos (Lungo, 2001).



Se utilizó el programa QGIS 3.14² para procesar la información referente a las zonas de inundación y riesgo del Atlas de Riesgos del Municipio de Puebla (Gobierno Municipal, 2012) obtenida del Atlas Nacional de Riesgos del Centro Nacional para la prevención de desastres (CENAPRED , 2012). Se procesó el modelo de elevación digital (MED) en formato ráster con una resolución espacial de 1.5 m, obtenido del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI, 2010), para calcular las curvas de nivel, las pendientes del terreno y realizar la simulación hidrológica. La geometría del área de simulación se representó en una base de datos espacial en formato PostgreSQL con la extensión PostGIS integrada, para que se pudiera exportar al software de modelamiento hidrográfico que en este caso fue el programa HEC-RAS³ en la simulación hidrológica (generación informática del comportamiento del agua en un cauce), basada en la rugosidad del cauce del río y sus márgenes expresada en forma de valores del Coeficiente de Manning⁴, la altitud del terreno expresada en msnm por medio del Modelo de Elevación Digital y distintos gastos⁵ de agua expresados en metros cúbicos por segundo con probabilidad baja, media y alta, para plantear escenarios de inundación con base en períodos de retorno de hasta más de 200 años (SEDESOL, 2012). Los resultados son gráficos, cuantitativos y cualitativos, y permiten analizar el comportamiento de los flujos del río Alseseca.

Se realizó un análisis comparativo de los asentamientos urbanos La Hacienda y La Margarita para contrastar el impacto de las inundaciones. Se realizaron levantamientos fotográficos y georreferenciación de datos referentes a los puntos críticos de desbordamiento y los equipamientos existentes en la zona de riesgo. En el análisis estadístico, se identificó la vulnerabilidad física y social a través de la de los datos tabulares derivados de los resultados del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020), asociados a datos vectoriales de las manzanas urbanas de la Cartografía Geoestadística Urbana (INEGI, 2010) para identificar la población expuesta al riesgo de inundación y los grupos más vulnerables.

² QGIS 3.14 se refiere a iniciales de Quantum GIS versión 3.14, un sistema de información geográfica de licencia libre, desarrollado por Fundación OSGeo.

³ HEC-RAS (acrónimo de Hydrologic Engineering Center and River Analysis System) es un sistema informático de modelación de la hidráulica de flujo de aguas en ríos naturales y otros canales; fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América.

⁴ El **coeficiente** de rugosidad de **Manning** es un índice que mide la resistencia al paso de un flujo en un canal

⁵ Relación entre el volumen del líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.



En el análisis social, se realizaron dos entrevistas estructuradas de manera virtual con actores clave del Centro Universitario de Prevención de Desastres de la BUAP (CUPREDER) y del Instituto Municipal de Planeación del Municipio de Puebla (IMPLAN) respectivamente, con el propósito de reconocer los enfoques de sus estudios y análisis de riesgos de desastres y planeación urbana, así como la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en dichos estudios. Por otro lado, se realizaron entrevistas semiestructuradas con habitantes de la colonia La Hacienda, con la finalidad de conocer la percepción y respuesta ante el riesgo de inundación.



CAPÍTULO I. LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

En este capítulo se explica la teoría de la construcción social del riesgo, la cual determina que los riesgos de desastre devienen de la transformación de los fenómenos naturales en peligros socialmente inducidos por las omisiones en la administración y la gestión del territorio, así como de las excesivas transformaciones del territorio que provocan la degradación del medio ambiente y que expone a la población a amenazas antropogénicas, colocando en situación de vulnerabilidad a determinados grupos sociales, específicamente se explican casos donde existe el riesgo de inundaciones urbanas.

1.1 El riesgo, fenómeno multifactorial

El proceso de la construcción social del riesgo, en el que inciden múltiples factores, Lavell lo define como “una interrupción severa de la vida cotidiana, rutinaria, debido a la exposición a un evento de amenaza, en condiciones de vulnerabilidad y falta de capacidad” (Lavell, 2020). Esta interrupción que puede generar un desastre, es producto de circunstancias como la generación de nuevos asentamientos humanos en áreas amenazadas debido al desconocimiento u omisión del potencial de riesgo de desastres que tienen los pobladores al momento de iniciar su ocupación (Durán & Narváez, Iván, 2020), que no existan instituciones responsables del desarrollo urbano y de generar y aplicar una normativa urbana; de los bajos niveles de organización social y las endeble relaciones establecidas de gobernabilidad urbana, el capital social o las percepciones que predominan sobre la ciudad (Lungo, 2001). Esto obedece a que muchos de los riesgos se sustraen por completo a la percepción humana inmediata (Beck, 1998), por lo tanto, el riesgo no aparece por sí mismo ni obedece a un conjunto simple de causas naturales, entenderlo así requiere un enfoque sistémico para reconocer la parte que le corresponde a la sociedad en la generación de éste. El desafío está en encontrar la relación entre los modelos de urbanización que se siguen y los procesos de generación de riesgos que implican (Lungo, 2001).

1.2 Las condiciones que diferencian los niveles de vulnerabilidad

En América latina con respecto a la expansión urbana, de acuerdo con Lungo, “cualquiera que sea la modalidad de urbanización, ésta implica una relación entre la sociedad y el territorio que,



inevitablemente, genera riesgos de distinta índole y distinto grado, pero también [...] hay modos y umbrales de urbanización que provocan más riesgos y de diferente carácter que otras.” (Lungo, 2001, pág. 9). Sin embargo, en la segunda mitad de la década del 2010, se planteó que no necesariamente es inevitable que la relación sociedad-territorio genere riesgos bajo el nuevo enfoque propuesto desde el **Marco de Sendai** para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030 (Naciones Unidas, 2015) mediante medidas específicas para cada asentamiento humano:

Es necesario trabajar más a todos los niveles para reducir el grado de exposición y la vulnerabilidad, con el fin de evitar que se dé lugar a nuevos riesgos de desastres, y asegurar la rendición de cuentas cuando se originen nuevos riesgos. Deben adoptarse medidas más específicas para luchar contra los factores subyacentes que aumentan el riesgo de desastres, como las consecuencias de la pobreza y la desigualdad, el cambio climático y la variabilidad del clima, la urbanización rápida y no planificada, la gestión inadecuada de las tierras, y factores agravantes como los cambios demográficos, los arreglos institucionales deficientes, las políticas formuladas sin conocimiento de los riesgos, la falta de regulación e incentivos para inversiones privadas en la reducción del riesgo de desastres, las cadenas de suministro complejas, las limitaciones en cuanto a la disponibilidad de tecnología, la utilización no sostenible de los recursos naturales, el debilitamiento de los ecosistemas, las pandemias y las epidemias. (Naciones Unidas, 2015, pág. 10)

En atención a este enfoque se deben de modificar los patrones dominantes actuales en el proceso de urbanización que responden al mercado inmobiliario, los programas de desarrollo urbano a corto plazo y a una administración política específica. Si bien, se han realizado esfuerzos en materia de planificación urbana como la Nueva Agenda Urbana (Naciones Unidas, 2017), en el caso de México no ha sido posible desarrollar una gestión de riesgos participativa que tome en cuenta a los ciudadanos debido a que "el Gobierno tiene una fuerte renuencia para colaborar con los ciudadanos y para establecer nuevas plataformas de inclusión social en la toma de decisiones" (Salgado, Flores, & Guevara, 2016). Los sectores que son parte de aplicación de los modelos de urbanización y la población vulnerable construyen el riesgo, de ahí la necesidad de identificar a los actores sociales que participan en la construcción de ese riesgo (Ramírez Flores & Flores Lucero, 2017).

Es fundamental resaltar "la ausencia de políticas efectivas por parte de las administraciones públicas, tanto en planeamiento urbano como en prevención de riesgos, lo que incrementa la



vulnerabilidad de determinados sectores." (Durán & Narváez, Iván, 2020, pág. 4). En este sentido, la vulnerabilidad es definida como "las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto de amenazas" (EIRD/ONU, 2004). Específicamente, el peligro de inundación y el riesgo de desastre al que están expuestos determinados asentamientos urbanos y sectores de la población, presentan diferentes susceptibilidades determinadas por la edad temprana o avanzada, incapacidades o discapacidades, salud deteriorada, restricciones de movilidad, pobreza, falta de recursos, etc. (Rios-Llamas, 2020). Entonces, el riesgo no impacta a todo los individuos por igual, porque "si bien los riesgos impactan a todos, los efectos son diferenciados" (Alfie Cohen, 2007, pág. 7) y se deben identificar y analizar las múltiples variables para determinar niveles de riesgo y vulnerabilidad.

1.3 La estructura institucional para atender el riesgo

En el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015), como anteriormente se mencionó, se plantea la necesidad del cambio del enfoque del trabajo de las estrategias, instituciones y planes regionales y nacionales en el sentido de la reducción del riesgo de desastres y el aumento de la resiliencia. Esto requiere cambiar el paradigma de acción de los actores sociales y de gobierno desde gestionar la respuesta al desastre hacia promover una cultura y planeación de la prevención del riesgo (Gellert de Pinto, 2012).

La Agenda 20-30 en el Objetivo de Desarrollo Sustentable (ODS) número 11 propone "Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles", y en el indicador 11.5 determina: "De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad". (Naciones Unidas, 2015, pág. 25)

En el caso de México, mediante la Ley General de Protección Civil se plantea una política de Gestión Integral del Riesgo que requiere que las instituciones estén vinculadas y colaboren para que desde las funciones básicas de cada una, se estén atendiendo los riesgos desde un enfoque integral. En las acciones más recientes del gobierno actual se tiene la Estrategia Nacional para el Ordenamiento Territorial (ENOT) en la que se especifica que entre sus tareas más relevantes se encuentra cumplir con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, así como los siete objetivos propuestos por el Marco de



Sendai para la reducción del riesgo de desastres (SEDATU, 2021, pág. 14), así como el principio rector para la reducción del riesgo que incluye la Gestión Integral de Riesgos (GIR). Se propone para cumplir con estos compromisos, concientizar sobre la transversalidad de la GIR a la política pública que incide en la gestión y ordenamiento del territorio a través de la coordinación permanente de todos los niveles territoriales, especificando que se debe de atender prioritariamente la reducción de la vulnerabilidad que conlleva a la prevención de futuros desastres (SEDATU, 2021, pág. 18). También se propone la elaboración de instrumentos de prevención como los Atlas de Riesgo municipales y disminuir las condiciones de vulnerabilidad de los habitantes (SEDATU, 2021, pág. 21). Se propone que para 2040, el 100% de los municipios que conforman el territorio nacional cuenten con instrumentos de Ordenamiento Territorial con componentes de GIR y se reconocerá la vulnerabilidad social de mujeres, niños, persona adultas mayores y con discapacidad, e incorporarán medidas relativas al cambio climático en sus políticas (SEDATU, 2021, pág. 31).

No obstante en la práctica, la vulnerabilidad social se refleja en las estrategias de las dependencias de gobierno que promueven una cultura de respuesta a los desastres, tal como menciona Ramírez: “los mecanismos de gestión para la reducción del riesgo de inundación son insuficientes y deficientes y han sido rebasados por el crecimiento ilegal en zonas inundables, superando la capacidad de gestión de las autoridades, quienes se centran en las situaciones de emergencia”. (Ramírez Flores & Flores Lucero, 2017, pág. 5).

Esto requiere un trabajo estrecho entre las instituciones que hacen estudios de riesgo, las instituciones que se dedican a la protección y respuesta a los eventos de riesgo que ocurran, y las que planean la expansión y el ordenamiento de la mancha urbana para que el fin común sea disminuir la exposición en las zonas bajo riesgos y promover la resiliencia de los centros urbanos. Para promover y dar base jurídica a esta cooperación, bajo la presente administración federal se suscribió el Convenio de Colaboración para desarrollar los procesos que permitan armonizar los ordenamientos de los usos del territorio nacional, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de Septiembre de 2022, con la suscripción de las siguientes entidades federales: la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Marina, la Secretaría de Turismo, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, la Comisión Nacional de Vivienda, el Instituto Nacional del Suelo Sustentable, la Procuraduría Agraria, el Registro Agrario Nacional, la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas,



la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Nacional Forestal. En ese convenio, es destacable el hecho de que a pesar de que textualmente se propone que “se promueva la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, recursos naturales, a fin de aumentar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad social”, no participó la Coordinación Nacional de Protección Civil ni se tomó en cuenta al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) como la entidad que daría la información necesaria e indispensable para lograr cumplir con la meta específica de aumentar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad social. A pesar de que se propone en la Estrategia Nacional para el Ordenamiento Territorial integrar y atender la Gestión Integral del Riesgo, en todo este documento la Gestión Integral ni siquiera es mencionada así como la Protección Civil, por lo que se carece de la cooperación entre los actores federales para atender a esta prioridad. En resumen, la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil están mencionadas solo como meta en la Estrategia Nacional pero no están contempladas en los mecanismos de cooperación oficiales, quedando invisibilizadas en las propuestas del presente gobierno.

Por lo expuesto anteriormente, se debe de tomar en cuenta todo el proceso complejo que da pie a la existencia de riesgos, y que ignora o aumenta la vulnerabilidad de la población.

La construcción de escenarios futuros para la prevención de desastres forma parte de un nuevo enfoque de atención al problema. En Latinoamérica a partir de la década de los 90 se presenta un cambio de paradigma que deja atrás el estudio de desastres como una planeación de la respuesta, para dar paso a un enfoque de prevención (Gellert de Pinto, 2012). Es decir, se debe de trabajar teniendo como meta eliminar o disminuir en lo posible el riesgo en lugar de esperar a que ocurran los desastres. El problema ya no se enfoca en el evento de ocurrencia del desastre y la respuesta consecuente, sino en el riesgo que predispone el desastre, el cual es construido socialmente (Urteaga & Eizaguirre, 2013), entonces si la sociedad genera el riesgo, también puede y debe generar la capacidad para prevenirlo.

Ahora bien, existen trabajos realizados por centros de investigación de riesgos a nivel nacional, como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y en el municipio de Puebla el Centro Universitario de Prevención de Desastres Regionales (CUPREDER) que aplican los Sistemas de Información Geográfica para evidenciar que el riesgo se construye a partir de condiciones antrópicas, han mostrado estrategias de planeación urbana para reducir los riesgos como el Programa de Ordenamiento Ecológico y Urbano Territorial del Municipio de Puebla (Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales (CUPREDER), 2010) y el Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 (Gobierno Municipal Puebla, 2021, pág. 131), realizan estudios



de prevención de desastres y publican sus resultados y planes por Internet para que estén disponibles para la población en general.

Otra de las instituciones que ofrecen un aporte muy importante desde la planeación urbana es el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) que tiene como objetivo “Ser un organismo público descentralizado integrado por profesionales, responsables de la planeación estratégica mediante la formulación, instrumentación, control y evaluación de proyectos que articulen las áreas del gobierno con la ciudadanía y contribuya al desarrollo sustentable del municipio.” (Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), 2022). La existencia de este instituto es una respuesta estructural del gobierno del municipio de Puebla para la observación de la planeación en las diferentes secretarías de gobierno. En su estructura resalta el departamento de Sistemas de Información Geográfica Municipal que tiene como una de sus responsabilidades la creación de plataformas para la publicación de la información geográfica y estadística que el Instituto compila y genera.

Sin embargo, como se analizará más adelante, esa información presenta debilidades en las condiciones de accesibilidad y difusión de información, además, presenta incongruencias entre las instituciones que la producen y las instituciones que la requieren para realizar su trabajo de gestión y planeación urbana. También es notable el hecho de que lamentablemente no se está haciendo un esfuerzo de coordinación entre los municipios que conforman la zona metropolitana de Puebla lo cual era una de las actividades del Instituto Metropolitano de Planeación (IMEPLAN), el cual estaba gestionando una cooperación entre los municipios de Puebla y Tlaxcala para eliminar el crecimiento desordenado que se está presentando en la zona. Como fue señalado por Raúl Espinosa Martínez, presidente de la Comisión de Asuntos Metropolitanos en el Congreso del estado, “Los 18 municipios de la zona metropolitana requieren trabajar de manera conjunta en proyectos que involucran cuestiones del medio ambiente, vivienda y movilidad, pero con la extinción del Instituto Metropolitano de Planeación el actual gobierno no podrá avanzar con un desarrollo ordenado”. (Hernández, 2020)



CAPÍTULO II. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

El propósito del presente capítulo es presentar la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los métodos de análisis para realizar estudios espaciales y geográficos del riesgo de inundación. Se muestran algunos estudios que proveen un antecedente y sustento para los procesos de análisis propuestos en esta investigación y que presentan resultados útiles como referentes en la prevención de ese riesgo. También se presentan plataformas y programas accesibles que pueden ser usadas para realizar esta clase de estudios.

2.1 La potencia de los SIG para el análisis espacial

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una tecnología que tiene un gran potencial para realizar estudios geográficos basados en las capacidades de análisis y modelado espacial, en este sentido, Buzai y Baxendale mencionan que:

El estudio de las manifestaciones espaciales brinda la posibilidad de ver y explorar una configuración empírica en la consideración del territorio como sistema complejo compuesto por diferentes niveles de análisis. La focalización espacial es propia de la Geografía como ciencia. Los SIG en aplicaciones modelísticas de análisis espacial presentan resultados valiosos para el estudio de las configuraciones espaciales y con ello, apoyar acciones académicas en diferentes líneas. (Buzai, et al, 2017, pag. 7)

La capacidad de análisis a través de los SIG se basa en el procesamiento de robustas bases de datos, mismos que se encuentran localizados y distribuidos sobre el espacio geográfico, y el uso de la tecnología que se ha desarrollado en los últimos 30 años desde que aparecieron los primeros productos comerciales y aplicaciones que permiten realizar análisis y estudios cada vez más poderosos y útiles. El territorio puede ser representado a través de dos componentes, por un lado, los elementos localizados sobre la superficie terrestre como asentamientos urbanos, vivienda, equipamientos, cuencas, cuerpos de agua, etc., y por otro lado los atributos, o datos relacionados con esos componentes, que pueden ser de carácter cuantitativo o cualitativo como tipología de asentamientos, población, edades, longitudes, áreas, pendientes y altitudes.

El análisis espacial, de acuerdo con O'Sullivan y Unwin, define su amplitud con base en cuatro contextos de estudio 1) el tratamiento de datos espaciales, 2) el análisis de datos espaciales de un modo descriptivo y exploratorio, 3) el análisis estadístico espacial y 4) el modelado espacial (O'Sullivan & Unwin, 2010).



Los modelos generados por medio del análisis espacial y la simulación hidrológica deben ser usados de forma que promuevan la resiliencia y adaptación de la población y los asentamientos urbanos mediante el sustento de diagnósticos urbanos y el diseño de estrategias para la regulación de los usos de suelo, la preservación de las áreas naturales, la implementación de infraestructura verde y azul para lograr el cometido de que la ciudad sea inclusiva, segura, que tenga infraestructura resiliente y que sea sostenible como se plantea en la Agenda 20-30, en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9, Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación y el ODS 11, Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (Naciones Unidas, 2015).

Algunas de las instituciones que publican datos, información y aplicaciones que permitan hacer estudios de riesgo son, por una parte, el **Servicio Geológico de los Estados Unidos de América** (USGS, 2021) que ha puesto al alcance internacional los Modelos de Elevación Digital (MED) de todo el mundo con resolución de 30 metros por pixel que fueron obtenidos por la misión SRTM 30 (The Shuttle Radar Topography Mission) llevada a cabo en Febrero del año 2000 por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). Los archivos MED correspondientes a México y Centroamérica se encuentran publicados en la página web del **Centro Regional de Enseñanza en Tecnología Espacial para América y el Caribe**, misma en la que el autor de esta investigación colaboró para su creación (Molina, 2019). La empresa Google ha puesto en servidores sistemas útiles para el trabajo geográfico basado en imágenes satelitales como **Google Earth Engine** (Google, 2021), **Google Maps** para consultar la cartografía global y ubicaciones por medio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (Google Maps, 2021), **Google My Maps** que permite publicar información geográfica por parte de los usuarios (Google, 2021). Estas plataformas tienen la gran ventaja de poner al alcance de la población mundial sistemas potentes y útiles para el manejo de información geoespacial, pero es necesario resaltar que algunas requieren un conocimiento especializado y técnico para su aplicación y uso, como los lenguajes de programación *Java* y *Javascript*.

2.2 Análisis Espacial para determinar el riesgo de inundación

Se considera importante resaltar la aplicación de los SIG por su poder analítico y la facilidad de representar variables de análisis tanto sociales, ambientales y urbanas, para obtener resultados que expliquen las causas y determinen el nivel de riesgo de inundación y vulnerabilidad de la población. Una de las facilidades que provee esta tecnología es que se estudian los procesos de distribución e interacción espacial de datos vectoriales o *raster* para generar modelos que



permiten demostrar la incidencia de los procesos de urbanización en la generación del riesgo de desastre en asentamientos urbanos y poder construir escenarios futuros.

En este sentido Buzai *et al* definen:

Lograr la reconstrucción de la evolución de los principales procesos que determinan el funcionamiento del sistema es lo que permite predecir y plantear evoluciones a futuro. Corresponde considerar que la Geografía no es solamente una ciencia del presente como lo establecen las posturas clásicas, sino que también es una ciencia prospectiva de acuerdo a la tradición sistémica. (Buzai G. e., 11/2015, pág. 5)

En el caso específico del análisis de riesgos de inundación, el análisis y el modelado espacial son importantes porque permiten identificar diferentes variables referentes a cauces, topografía del terreno, asentamientos urbanos, vialidades, construcciones, datos demográficos, etc. y asociarlas mediante técnicas como sobreposición e intersección de capas, análisis multivariable, análisis espacial, construcción de escenarios probables a futuro, etc. para poder determinar el nivel de riesgo y de vulnerabilidad (Maskrey, 1998).

Resalta el estudio de (Jafarzadegan & Merwade, 2017), que se concentra en el uso de aplicación de métodos numéricos en modelos de elevación digital para modelar flujos de agua e inundaciones, siguiendo el patrón de las microcuencas presentes en el terreno que permitió evidenciar que los estudios realizados en zonas en donde se tienen datos concretos y específicos se pueden extender a regiones en la que se tienen pocos datos debido a dificultades técnicas, físicas o de distancia, con resultados suficientemente satisfactorios. Por otro lado, Moya Quiroga, Kure y Udo, aplicaron el software HEC-RAS 5 para la simulación hidrológica de corrientes en el caso de la inundación de la zona amazónica de Bolivia; los resultados muestran que este software provee resultados útiles para simular inundaciones incluyendo la característica 2D agregada a este programa a partir de la versión 5 (Moya Quiroga, Kure, & Udo, 2016). El trabajo de Schubert y Sanders se concentra en el uso del software ArcGIS para la aplicación de cuatro modelos diferentes llamados Building Resistance (BR), Building Block (BB), Building Hole (BH) y Building Porosity (BP) para realizar predicciones de inundaciones y daños en áreas urbanas causados por un escenario virtual creado por el fallo de la cortina de la presa Baldwin Hills en California, E.U.A (Schubert & Sanders, 2012). Los resultados muestran que los cuatro métodos son capaces de proveer una alta habilidad de predicción de la extensión y los flujos de una probable inundación.



Estos trabajos resaltan el uso de software tanto comercial como libre para realizar estudios de inundaciones en casos específicos y concluyen que los resultados son útiles para la prevención de los daños y la toma de decisiones enfocadas a la prevención. En este sentido los SIG son una tecnología que se debe aprovechar para atender el riesgo de desastre, específicamente de inundaciones desde un enfoque preventivo, de mitigación y adaptación de los asentamientos urbanos.

La información acerca de los peligros de inundación es crucial para cumplir con el cometido de que “la gestión del riesgo de desastres debe basarse en una comprensión del riesgo en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, exposición de personas y bienes, características de las amenazas y el entorno” propuesto por el **Marco de Sendai** (Naciones Unidas, 2015, pág. 18).

En el caso de México, la generación de información estadística y geográfica es responsabilidad de varias instituciones de acuerdo con los principios internacionales (Marco de Sendai) y de acuerdo con la legislación (Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG)) la información resultante debe estar disponible tanto para las instituciones que la usan como base para su trabajo de gestión y planeación, como para los diferentes sectores sociales. Pero este cometido no siempre se logra completamente.

Una de las fuentes de información es el Atlas de Riesgos de Puebla, que se puede consultar a través de la página web Atlas Nacional de Riesgos Visor Puebla (Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)), sin embargo, la información está fragmentada, presentó dificultades para consultar las capas de inundación de la ciudad de Puebla, y en ocasiones no está disponible el servidor. Ahora bien, cuando se pudo consultar la página del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla y tuvo las funciones de búsqueda activas fue posible entrar a consultar los detalles de los estudios de peligros de la ciudad de Puebla, y de ahí se obtuvieron las capas de inundación para 2012 que se usan más adelante en la comparación entre los estudios oficiales y el estudio realizado en el presente trabajo.

La plataforma Atlas Puebla es más reciente que las anteriores y fue publicada por la Dirección Municipal de Protección Civil (Gobierno Estatal, 2021). Ésta presenta un mapa interactivo que permite visualizar diferentes escalas territoriales del municipio de Puebla con suficiente resolución para poder distinguir hasta manzanas y viviendas dentro del municipio de Puebla. Esta información se presenta como datos vectoriales y ortofotos (raster). Además permite visualizar datos vectoriales referentes a los fenómenos hidrometeorológicos con tiempos de retorno de 5 a



200 años que especifican los estudios de inundación realizados por la dirección, y escenas del territorio.



CAPÍTULO III. ASENTAMIENTOS URBANOS DE LA CIUDAD DE PUEBLA EN RIESGO DE INUNDACIÓN

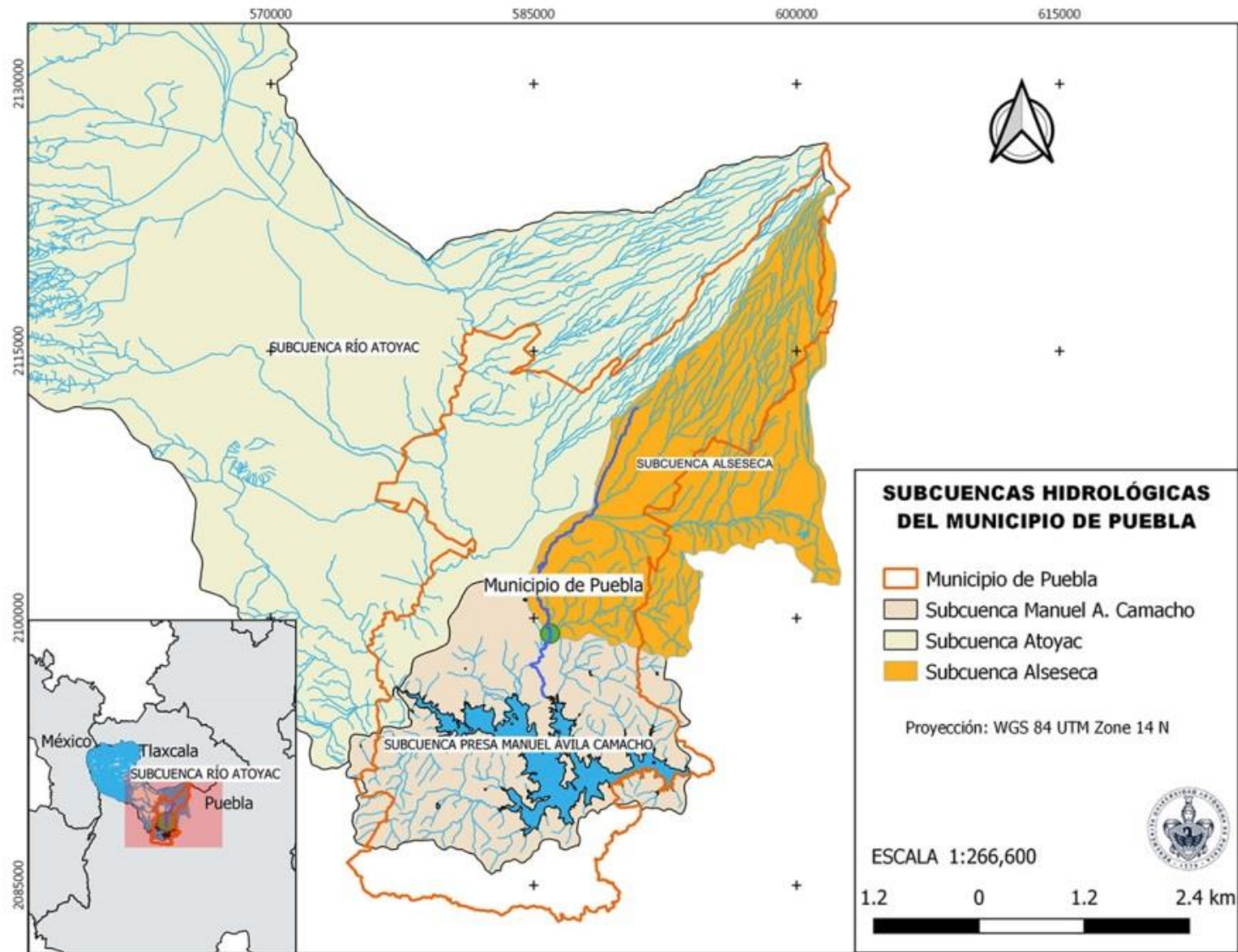
El objetivo del presente capítulo es presentar el marco legal y el proceso de gestión de riesgos de inundación del municipio de Puebla que se sustenta en la política pública federal de la Gestión Integral de Riesgos. En el análisis se muestran las condiciones territoriales, los instrumentos legales y de planeación, así como los estudios oficiales que en el discurso plantean un enfoque preventivo y de respuesta ante las inundaciones en el Estado de Puebla y en el municipio de Puebla en particular.

3.1 El sistema hidrográfico de Puebla

En el análisis espacial del sistema hidrográfico del municipio de Puebla, con base en la carta de la red hidrográfica de la cuenca del río Balsas, se identificó que el municipio responde a las dinámicas de tres subcuencas 1) la subcuenca Atoyac (RH18Ad), que forma parte del sistema hidrológico del río Balsas y al que pertenece el río Atoyac, el río San Francisco y el río Zapatero; 2) la subcuenca presa Manuel Ávila Camacho (RH18Ac) que contiene a la presa del mismo nombre (también conocida como presa Valsequillo) y 3) la subcuenca Alseseca (RH18Aj) (INEGI, 2010), ésta última conduce las aguas de las escorrentías que descienden del volcán La Malinche que forman el cauce principal que es el río Alseseca, que cruza la zona sureste de la ciudad de Puebla (ver Imagen 1).



Imagen 1. Subcuencas hidrológicas del Municipio de Puebla



Fuente: Elaboración propia



El río Alseseca fluye a lo largo de las subcuencas **Alseseca**(RH18Aj) y **Presa Manuel Ávila Camacho** (RH18Ac) antes de desembocar en la presa Manuel Ávila Camacho situada al sur del Municipio de Puebla (Ver Imagen 1).

En el área de la subcuenca Alseseca están contenidas las barrancas Xaltonatl, Tlaloxtoc, Tlapalac, Tiopizcao, Pipilatitla, Caltelotla, Las Animas, Calera y de Santa Ana o de El Muerto, que reúnen las aguas pluviales de las faldas del volcán y confluyen al río Alseseca como corriente principal y como único punto de drenaje de toda la cuenca, la cual tiene un área de 220.94 km². (Gobierno Municipal, 2012)(Ver Imagen 2).

La longitud del río Alseseca en todo su recorrido es de 41.8 km, y la altitud oscila entre 3,800 a 2,080 msnm en el punto de drenaje de la subcuenca, con un desnivel de 1,720 metros. La pendiente media de la subcuenca es de 9.57% y la pendiente del cauce principal es de 3.43%. (Gobierno Municipal, Puebla, 2012) (Ver tabla 1).

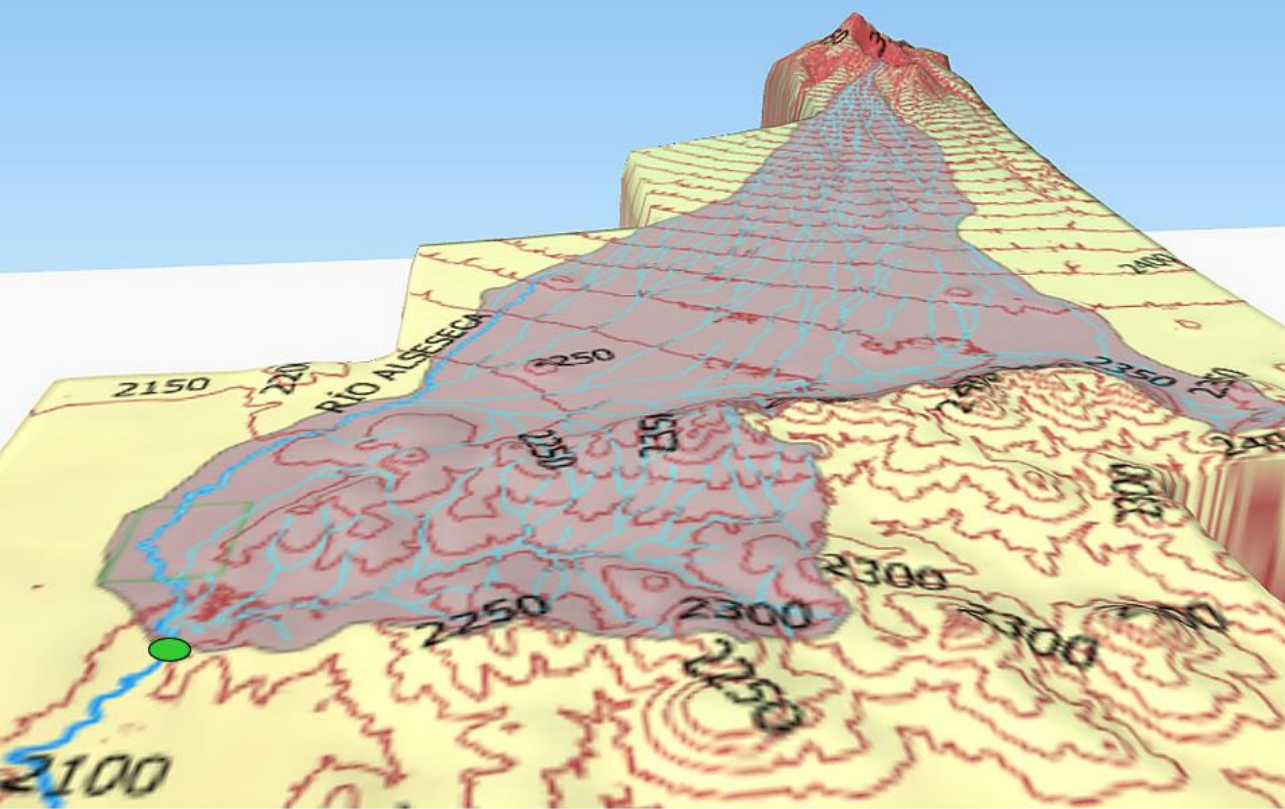
Tabla 2. Características de la subcuenca Alseseca

Elevación máxima en la subcuenca (m)	3,800 msnm
Elevación mínima en la subcuenca (m)	2,080 msnm
Pendiente media de la subcuenca(%)	9.57
Densidad de drenaje	2.0833
Longitud del cauce principal	41.81 km
Pendiente de la corriente principal (%)	3.437

Fuente: Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla, 2012.



Imagen 3. Modelo 3D simulado de la subcuenca Alseseca.



La Gerencia de Aguas Superficiales e ingeniería de Ríos (GASIR), realizó un estudio de los gastos máximos del río Alseseca en agosto de 1997, se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 1. Fuente: Atlas de Riesgos del Municipio de Puebla, Gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos (GASIR) de la subdirección general técnica de CONAGUA, Página 140.

Período en años TR(Tiempo de retorno)	Gasto en m3/s
5	79.8
10	131.0
50	173.3
100	245.4
1,000	305.2
5,000	475.4

Esta tabla explica los diferentes gastos⁶ que han sucedido históricamente en el cauce del río Alseseca. El tiempo de retorno nos da una idea del tiempo que es posible que transcurra antes de que se presente un evento con el mismo nivel de flujo. Otra manera de expresar los resultados de este estudio es la siguiente gráfica de gastos en el tiempo:

5.2.6.2.1. B.- Gráfica de gastos Río Alseseca.

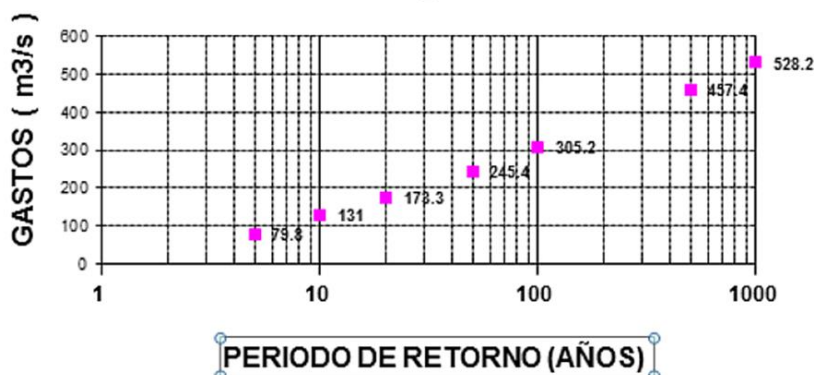


Tabla 2. Fuente: Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Puebla. (2012), Página 140.

Derivado de la tabla 3, sabemos que el mayor gasto que se ha registrado en el río Alseseca es de 528.2 metros cúbicos por segundo con un período de retorno⁷ de 1,000 años. Estas cantidades atípicas de agua circulando por el río aunadas a una urbanización que invade su curso natural

⁶ Gasto: la cantidad de agua circulando por unidad de tiempo. En este caso la unidad de medida es el metro cúbico de agua por segundo

⁷ Período de retorno: se entiende como el tiempo que puede transcurrir antes de que se repita un desastre con los mismos alcances y características.



originan el riesgo al que está expuestos los habitantes de las zonas de riesgo, como se analiza en el siguiente apartado.

3.2 Causas que generan el peligro de inundación

En el municipio de Puebla se presenta el riesgo de inundación debido a que se conjugan varios factores de tipo natural y antrópico. Existen tres subcuencas que alimentan a los ríos Atoyac y Alseseca que aportan agua que procede de nacimientos naturales de agua y aguas pluviales provenientes de las faldas del volcán La Malinche y gran parte de su cauce lo alimentan las aguas de escorrentías desde las zonas más altas de las subcuencas. El suelo de las riberas, taludes y cauce de los ríos es poco apto para los asentamientos urbanos puesto que son de tipo ribereño, el cual está formado por capas sedimentarias que son una agregación de partículas de limo, arena, arcilla, y sustancias orgánicas, en compuestos porosos heterogéneos, por lo tanto son especialmente susceptibles ante la erosión hídrica, están propensos a deslaves y no son lo suficientemente firmes para la construcción de viviendas y equipamientos (Campos & Alvarado, 2021).

Las actividades económicas y de vivienda aportan al flujo de las corrientes de agua y a las barrancas formadas por los flujos no perennes aguas residuales de las industrias como las del sector químico y petroquímico, el textil, el automotriz y autopartes, así como granjas, conjuntos residenciales e inclusive comercios pequeños, como lavanderías, aparte de que se arrojan desechos, escombros y basura que obstruyen el paso natural del agua (Diario Contrarréplica, 2020).

Debido a estas condiciones, han ocurrido recientemente inundaciones en asentamientos urbanos del municipio de Puebla como Geovillas Las Garzas (La Jornada de Oriente, 2021), la colonia Reforma Sur (Milenio Diario, 2021) y la zona de Santa Clara Ocoyucan (El Sol de Puebla, 2018) en zonas de la ribera del río Atoyac, por otra parte, las colonias Casa Blanca, Lomas Flor del Bosque, Haras Ciudad Ecológica, Clavijero, Toltepec Alamos, El Salvador, Amalucan y San Matías Bella Vista (La Jornada de Oriente, 2020) así como la colonia La Hacienda (El Sol de Puebla, 2019) que provocaron daños materiales en sus casas, vehículos y hasta muertes.

La construcción de obras urbanas que modificaron el curso natural de las corrientes de agua, como el entubamiento del río San Francisco (que quedó confinado bajo tierra en la mayor parte) provocan inundaciones cuando por exceso de agua colapsan los desagües y el alcantarillado,



como en el caso de la inundación provocada en el Centro Escolar Niños Héroes de Chapultepec (CENHCH) en el año 2018 (Diario Cambio, 2018).

Otro caso es el constreñimiento del río Alseseca para estrechar su cauce original, esto se puede ver en diversos asentamientos urbanos de la ciudad como la zona de la colonia la Hacienda, la unidad habitacional Guadalupe y la Unidad Habitacional la Margarita lo que provoca inundaciones por desbordamiento del río Alseseca (Ángulo 7, 2019). En algunos casos, la gente en condiciones de pobreza llega a apropiarse de los terrenos aledaños a los ríos y construyen asentamientos irregulares que se encuentran bajo el mismo riesgo, tal es el caso de la colonia Cuitláhuac (Silverio , 2021).

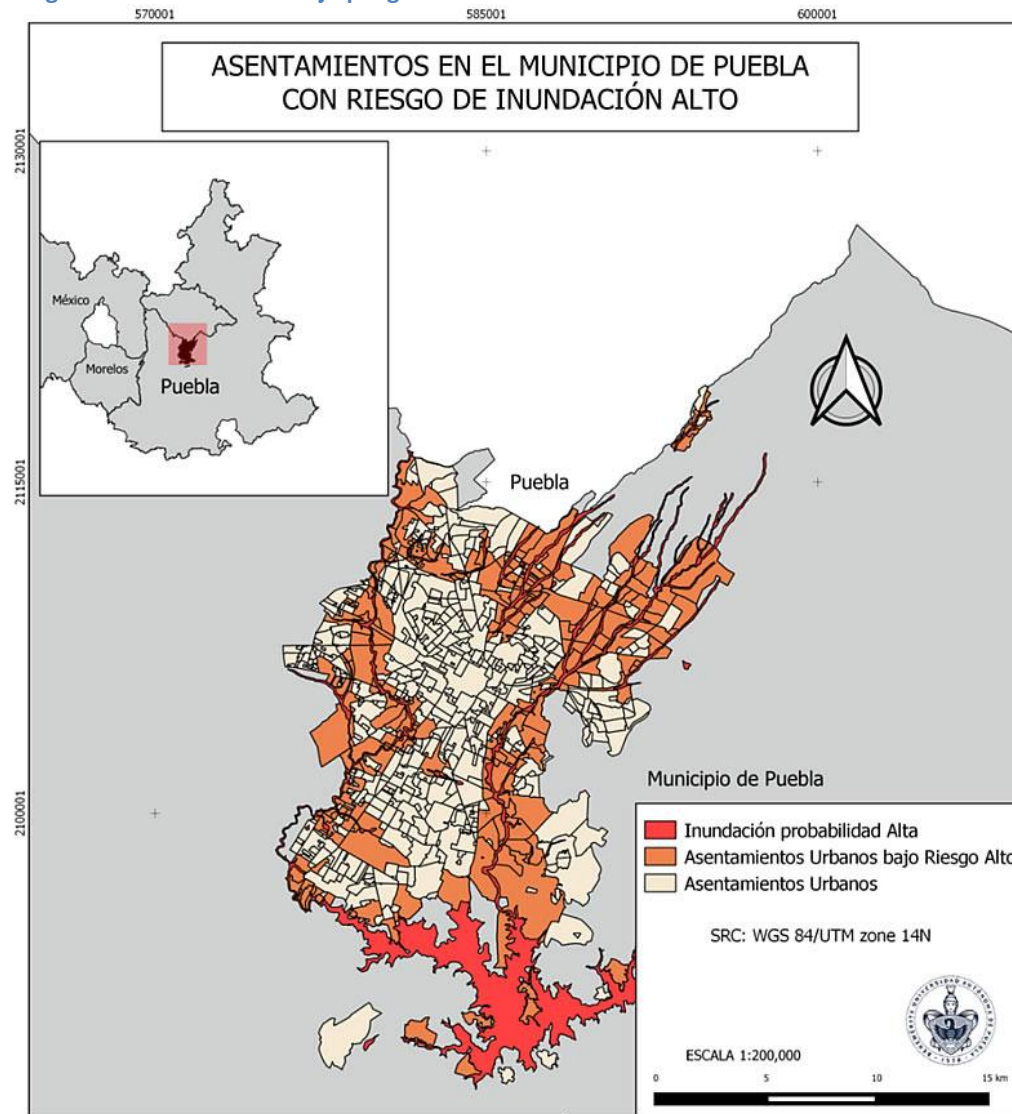
3.3 Estimación de los asentamientos urbanos afectados por inundaciones

El río Alseseca, que atraviesa las zonas noreste y sureste el municipio Puebla, es una corriente cuyo cauce de agua perenne inicia en el asentamiento urbano de la Resurrección, el curso se dirige primero de Noreste a Suroeste y después de Norte a Sur, hasta desembocar en la presa Manuel Ávila Camacho (Atlas de Riesgos del Estado de Puebla, 2021, pág. 138). En el eje, se identificaron 51 asentamientos urbanos que tienen construcciones erigidas en terrenos muy cercanos a la ribera del río (ver imagen 4), y que están expuestas a daños materiales y humanos cuando se desborda (ver tabla 4).

El número de asentamientos en riesgo en el municipio de Puebla que se identificó mediante el análisis espacial es de 491 a través de la sobreposición de capas y la asociación espacial de la capa vectorial de asentamientos urbanos de la ciudad de Puebla (INEGI, 2010) y las capas de inundación con probabilidad alta, media y baja del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla (Atlas Nacional de Riesgos, 2022)(ver imagen 3).



Imagen 4. Asentamientos bajo peligro alto de inundación.



Fuente: Elaboración propia con base en las capas de inundación del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla.



Se obtuvieron tres capas de asentamientos urbanos con diferentes niveles de peligro de inundación, mismas que se generaron por la sobreposición de las capas de los asentamientos urbanos y las zonas bajo peligro de inundación. Sin embargo, se encontró una falla en la determinación de la zonificación en el Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Puebla, ya que los resultados arrojan que la zona de riesgo de inundación alto, la cual es la de menor extensión espacial, involucra a 262 asentamientos urbanos, la zona de riesgo de inundación medio involucra a 417 asentamientos urbanos, la zona de riesgo de inundación bajo, la cual es la más amplia, involucra a 491 asentamientos urbanos. En este sentido, el número total de asentamientos (1,170) no coincide con el real (491) debido a que la zonificación determina algunos asentamientos con riesgo alto y bajo a la vez. Esta condición en la información geoespacial, se debe a que no se planteó una metodología rigurosa en la generación de datos, lo que propicia que los resultados queden abiertos a la interpretación respecto al nivel de riesgo de cada asentamiento urbano.

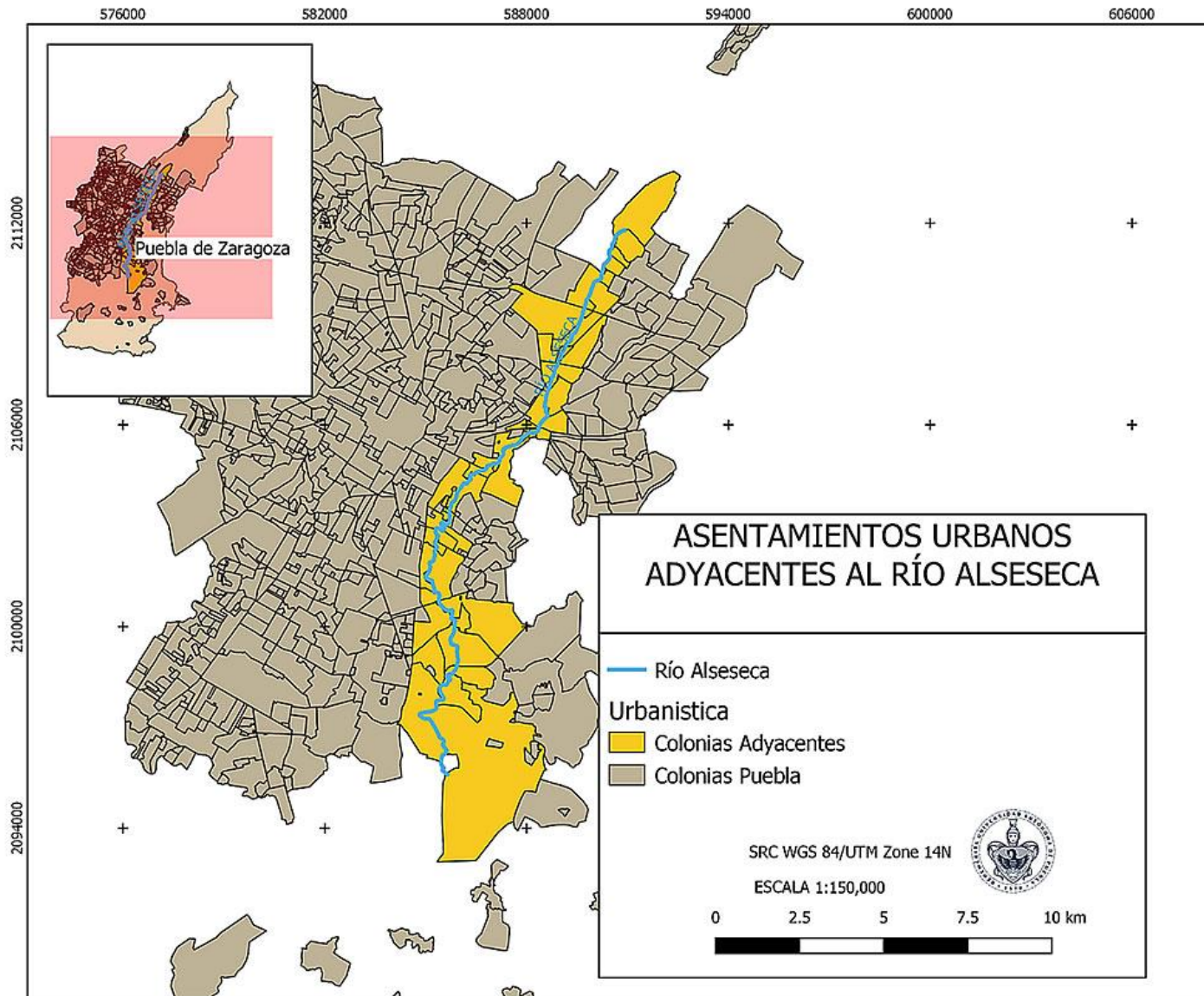
Como resultado del análisis espacial de la intersección de los asentamientos urbanos y las zonas de peligro de inundación, el conteo de los asentamientos involucrados es:

- La zona de peligro de inundación alto, la cual es la de menor extensión espacial, involucra 262 asentamientos urbanos.
- La zona de peligro de inundación medio involucra 417 asentamientos urbanos.
- La zona de peligro de inundación bajo, la cual es la más amplia, involucra 491 asentamientos urbanos.

El río Alseseca, que atraviesa las zonas noreste y sureste de la ciudad de Puebla, es una corriente cuyo cauce de agua perenne inicia en el asentamiento urbano de la Resurrección, el curso se dirige primero de Noreste a Suroeste y después de Norte a Sur, hasta desembocar en la presa Manuel Ávila Camacho (Atlas Nacional de Riesgos-Puebla, 2021, pág. 138). En el eje, se identificaron 51 asentamientos urbanos que tienen construcciones erigidas en terrenos muy cercanos a la ribera del río (ver Imagen 4), y que están expuestas a daños materiales y humanos cuando se desborda (ver tabla 4).



Imagen 5. Asentamientos urbanos adyacentes al río Alseseca.



Fuente: Elaboración propia.



El **Plan de Emergencia del río Alseseca** que forma parte del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla (Gobierno Municipal, 2012), presenta una estimación de los gastos que pueden correr por el río y los posibles daños causados a los asentamientos urbanos que se encuentran en riesgo de inundación. (Ver tabla 4)

Con base en esta información se tomaron los gastos para la simulación de inundaciones que se va a desarrollar más adelante. Estos datos se toman como referencia por provenir del estudio oficial publicado en el Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Puebla (ver Tabla 4) .

Tabla 4. Estudio de gastos de inundación en el río Alseseca.

Tipo de Inundación	Gasto preventivo o crítico en m3/s	Observaciones
Alerta	100-172	-Coordinación entre Instancias responsables de emitir comunicados con oportunidad, de las condiciones prevalecientes del clima.
Inundación leve	173-304	-Se inundan viviendas con tirantes mínimos de 0.30 y 0.40 m, de las colonias: La Gloria, Miguel Negrete, Esfuerzo Nacional, Alseseca, Tres Cruces y fraccionamiento La Hacienda
Inundación moderada	305-457	-Se inundan con tirantes de hasta 1.00 m, viviendas de las colonias: La Gloria (parte baja), Miguel Negrete, Esfuerzo Nacional, Alseseca, Tres Cruces y Lomas de San Miguel, también viviendas de las colonias: Joaquín Colombres, San Luis Gonzaga Gregorio Ramos (La Providencia), América Sur e Ignacio Zaragoza.-Se estima que cuando el agua alcance un tirante de 1.00 m, por el área de la colonia El Cristo se interrumpirá la circulación en la vialidad Vicente Suárez y por consiguiente en el libramiento a Tehuacán.
Inundación severa	Mayor a 458	-Los daños son graves, la sección del cauce del Río revestida con concreto a la altura de la colonia la Hacienda puede ser superada; también se vislumbra el riesgo de que los



	<p>puentes del libramiento a Tehuacán, Joaquín Colombres, La Garita, Ignacio Zaragoza y La Margarita resulten insuficientes provocando remanso del agua; se inundarían viviendas de las colonias: Joaquín Colombres, San Luis Gonzaga, Gregorio Ramos (La Providencia 1ª Sección), Gregorio Ramos (La Providencia 2ª Sección), América Sur, La Gloria, Santa Bárbara, El Chamizal, El Cristo, Ignacio Zaragoza, 2 de Abril, Miguel Negrete, Esfuerzo Nacional, Alseseca, Valle del Sol, La Margarita, La Hacienda, Tres Cruces y Lomas de San Miguel</p>
--	---

Fuente: Atlas de Riesgos Naturales Municipio de Puebla (Gobierno Municipal, 2012) .

3.4 La política pública para la gestión de riesgos de inundación

En el análisis documental de los instrumentos oficiales se identificaron dos políticas públicas para atender situaciones de riesgo y desastre, la Gestión Integral del Riesgo y el Ordenamiento Territorial. A nivel federal, se planteó una política de Gestión Integral de Riesgos en la Ley General de Protección Civil (Gobierno Federal, 2012) que ha permeado también en la política del Ordenamiento Territorial a través de la Ley General de Asentamientos Humanos y Ordenamiento Territorial (Gobierno Federal, 2021). Estas leyes plantean un proceso de identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos y atenderlos involucrando a los tres niveles de gobierno a través de instrumentos de planeación como el Programa Nacional de Protección Civil (Gobierno Federal, 2014), en donde se especifica que: “La Ley General de Protección Civil establece que en el caso de los asentamientos humanos ya establecidos en Zonas de Alto Riesgo, las autoridades deben determinar acciones para mitigar el riesgo, al mismo tiempo que deben poner en marcha las medidas de seguridad adecuadas para el caso de un riesgo inminente (artículos 75 y 87)” y con respecto a la legislación se establece claramente que la legislación no está completa con respecto a los riesgos a los que está expuesta la población: “La Ley General de Protección Civil contempla como delito grave la construcción en zona de riesgo, pero este hecho no es sancionado en la legislación penal federal, lo que convierte al precepto en inaplicable. Existen algunos casos en los que las autoridades locales cuentan con la normatividad que les permita evitar los asentamientos en zona de riesgo. Sin embargo, muchas veces no es aplicada,



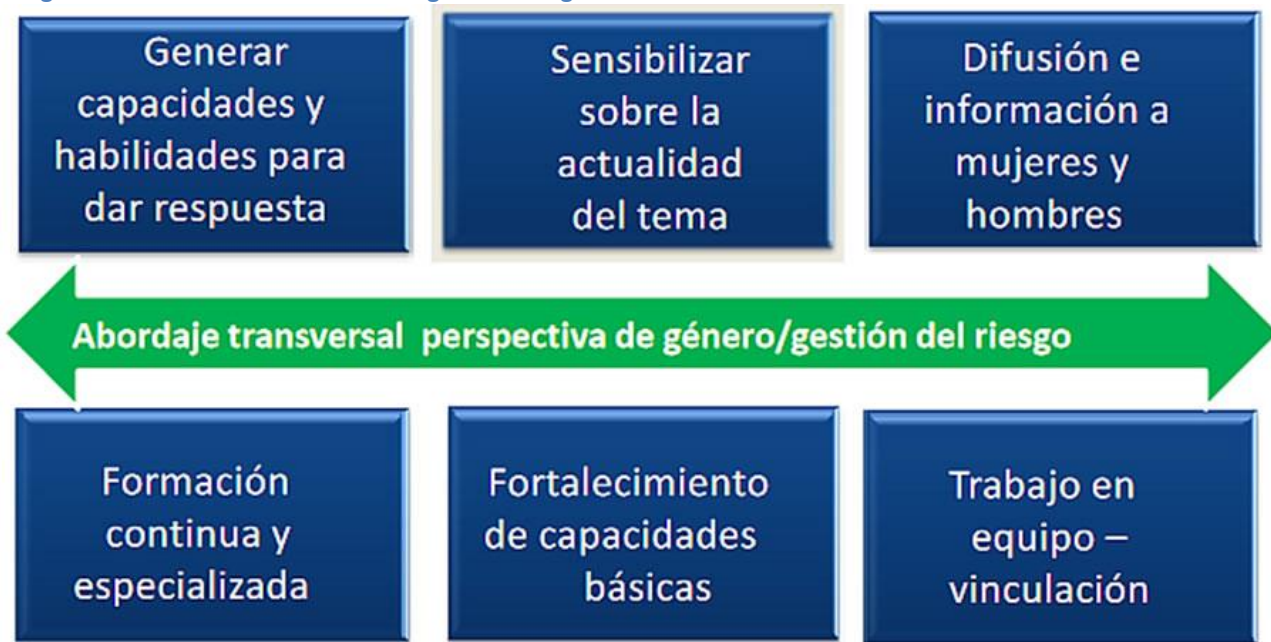
debido a que los costos de reubicar a personas asentadas en estas zonas son muy altos, o a otras razones fuera de ordenanza.”

Las condiciones que construyen el riesgo hídrico para los asentamientos humanos se originan en muchos casos con la construcción sobre las riberas de un río que invaden zonas federales, mismas que están definidas en el artículo 3 , fracción XLVII, de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), se define como Ribera o Zona Federal a las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias (Gobierno Federal, 1992, pág. 7). En este sentido, las zonas federales son sitios en donde no está permitido construir, sin embargo más adelante se podrá evidenciar que estas restricciones no siempre son cumplidas.

En el nivel de gobierno estatal, el Plan Operativo ante Emergencias Hidrometeorológicas plantea un proceso de gestión y plan de acción, así como un diagnóstico espacial de los municipios susceptibles a inundación para lograr una Gestión Integral del Riesgo (Gobierno Estatal, 2020, pág. 5) (Ver Imágenes 5,6 y 7).



Imagen 5. Definición de la Gestión Integral del Riesgo.



Fuente: Plan Operativo ante Emergencias Hidrometeorológicas 2020.

También este plan contiene el siguiente mapa de riesgo de inundación por municipios, como se ve en la Imagen 6.

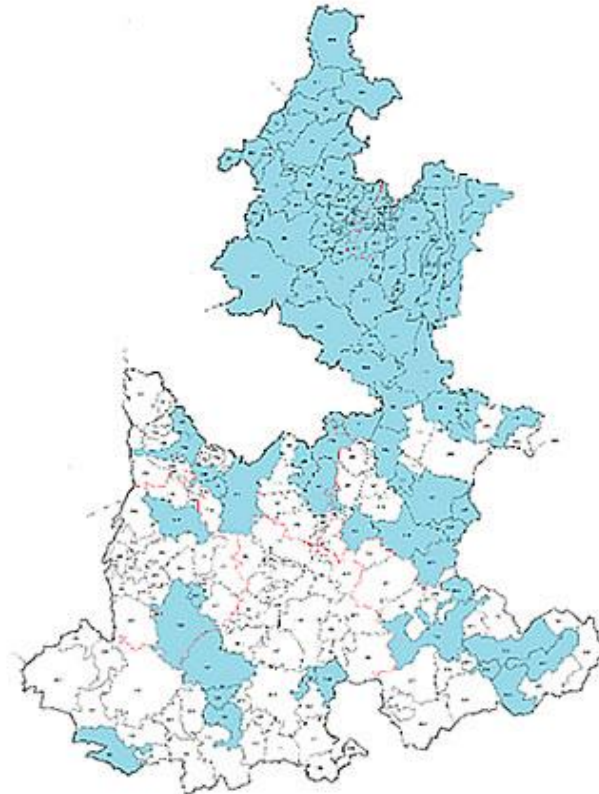




Inundaciones

104 Municipios susceptibles

N° de Municipio	Municipio	N° de Municipio	Municipio
117	Rafael Lara Grajalles	184	Tlapacoya
118	Los Reyes de Juárez	186	Tlatlauquitepec
119	San Andrés Cholula	187	Tlaxco
123	San Felipe Tepatlán	190	Totoltepec de Guerrero
128	San José Chiapa	192	Tuzamapan
130	San Juan Atenco	194	Venustiano Carranza
132	San Martín Texmelucan	196	Xayacatlán
140	San Pedro Cholula	197	Xicotepec de Juárez
142	San Salvador el Seco	199	Xiutetelco
154	Tecamachalco	200	Xochiapulco
156	Tehuacán	202	Xochitlán de Vicente Suárez
157	Tehuizingo	204	Yaonahuac
158	Tenampulco	207	Zacapoaxtla
162	Tepango de Rodríguez	208	Zacatlán
164	Tepcaca	209	Zapotitlán de Méndez
167	Tepetzintla	211	Zaragoza
170	Tepeyahualco de Hidalgo	212	Zautla
172	Tetela de Ocampo	213	Zihuateutla
173	Teteles de Ávila Castillo	214	Zinacatepec
174	Teziutlán	215	Zongozotla
178	Tlacuilotepec	216	Zoquiapan
183	Tlaola	217	Zoquitlán

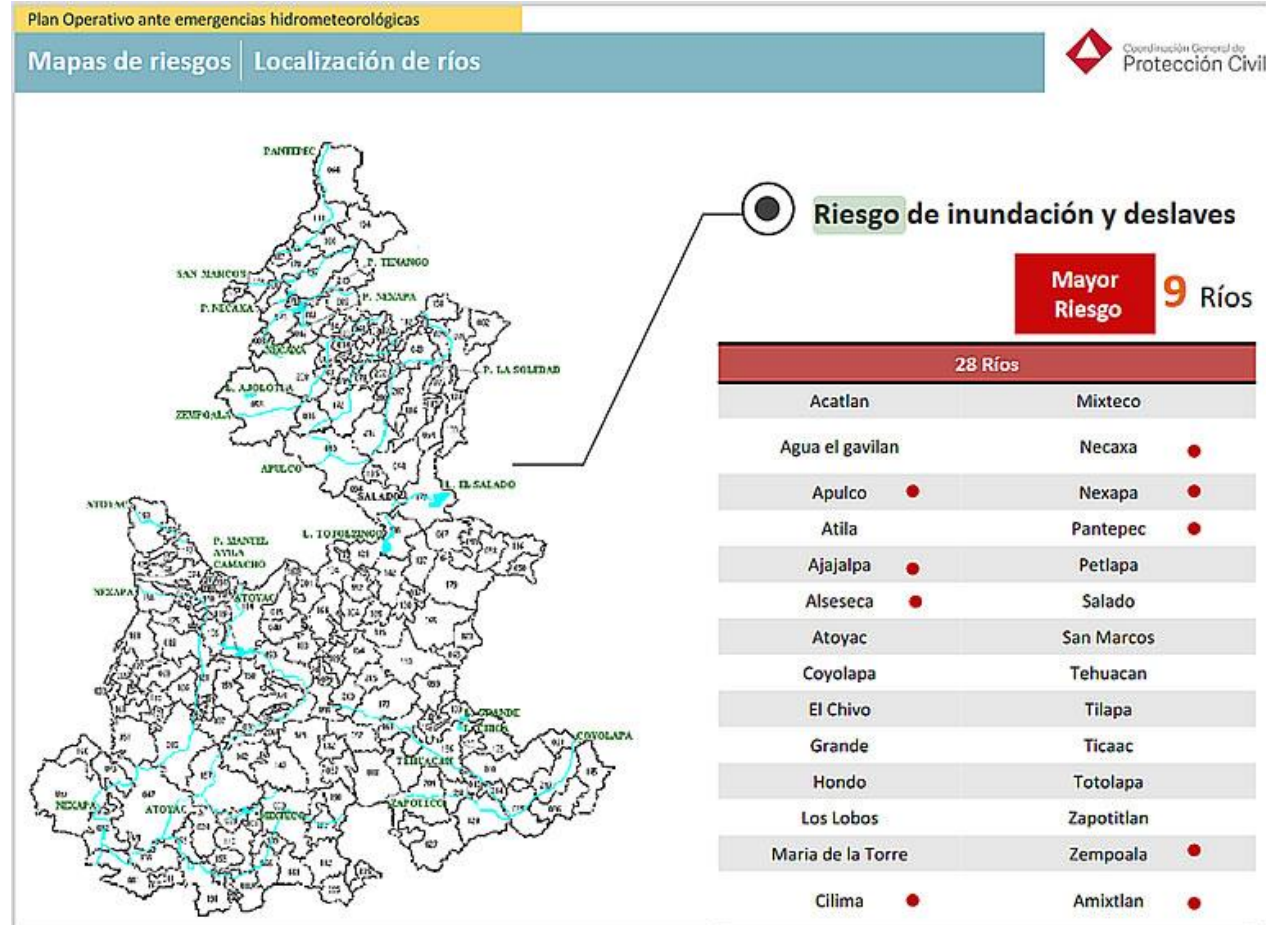


Fuente: Plan Operativo ante Emergencias Hidrometeorológicas 2020.



Se incluye también el mapa de riesgo con los ríos mayor registro de inundaciones del Estado de Puebla como se puede observar en la Imagen 7.

Imagen 7. Ríos con mayor registro de inundaciones.



Fuente: Plan Operativo ante Emergencias Hidrometeorológicas 2020.



El Programa Nacional de Protección Civil 2014-2019, en la Estrategia 5.1, especifica el uso de la investigación aplicada, la ciencia y la tecnología para atender a la Gestión Integral de Riesgos, (Gobierno Federal, 2014). También presenta en la estrategia 1.1 un enfoque preventivo en las actividades de Protección Civil (Gobierno Federal, 2012). Asimismo, este enfoque de prevención y resiliencia se identificó en la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU) que en el artículo 64 establece que la estrategia de Gestión Integral de Riesgos deberá provenir de la legislación local y deberá incluir acciones de prevención, y cuando proceda, la reubicación de los asentamientos humanos bajo riesgo, y deberá poner atención también en las acciones reactivas que en conjunto permitan a las ciudades incrementar su resiliencia (Gobierno Federal, 2021).

En el orden de gobierno municipal, el **Código Reglamentario del Municipio de Puebla COREMUN** (Gobierno del Estado de Puebla, 2021), en el Artículo 7 Bis 1, especifica que las autoridades municipales en el ámbito de sus respectivas competencias, podrán celebrar acuerdos de coordinación administrativa entre ellas, para ejercer con eficacia la organización y funcionamiento del Municipio.



En materia de planificación territorial, podemos observar que existe un enfoque de prevención y resiliencia con respecto a los asentamientos humanos. En la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU) (Gobierno Federal, 2021), al especificar las atribuciones de las entidades federativas, establece que deberán prevenir y evitar la construcción de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo tomando los atlas de riesgo como base, esto deja en claro la importancia de los atlas de riesgo y de su utilización, y para los municipios, establece que son los responsables de regular, controlar y vigilar las áreas declaradas como reservas, los usos del suelo de áreas y predios, así como las zonas de alto riesgo en los asentamientos que se encuentren dentro del municipio, y lo que es más importante, deberán de promover y ejecutar las acciones necesarias para prevenir y mitigar el riesgo de los asentamientos humanos, aumentando su resiliencia ante fenómenos naturales y antropogénicos.

Esta misma ley propone la formación de los llamados Observatorios Ciudadanos para el estudio y difusión de información acerca de los problemas socio-espaciales en su Artículo 99 (Gobierno Federal, 2021, pág. 45): quienes asegurarán la participación social, de las instituciones académicas, de los organismos empresariales y organizaciones civiles para el estudio, investigación, organización y difusión de información y conocimientos sobre los problemas socio-espaciales y para conformar los nuevos modelos de políticas urbanas y de gestión pública. Cabe resaltar que se menciona específicamente el uso de los Sistemas de Información Geográfica para dar a conocer los resultados que obtengan. Para apoyar el funcionamiento de los observatorios, las dependencias y entidades de las administraciones de todos los niveles deben compartir la información y conocimientos que posean con todos los interesados en los temas de Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio y garantizar la interoperabilidad y la consulta pública remota de esos datos mediante sistemas de información. (Gobierno Federal, 2021, pág. 46).

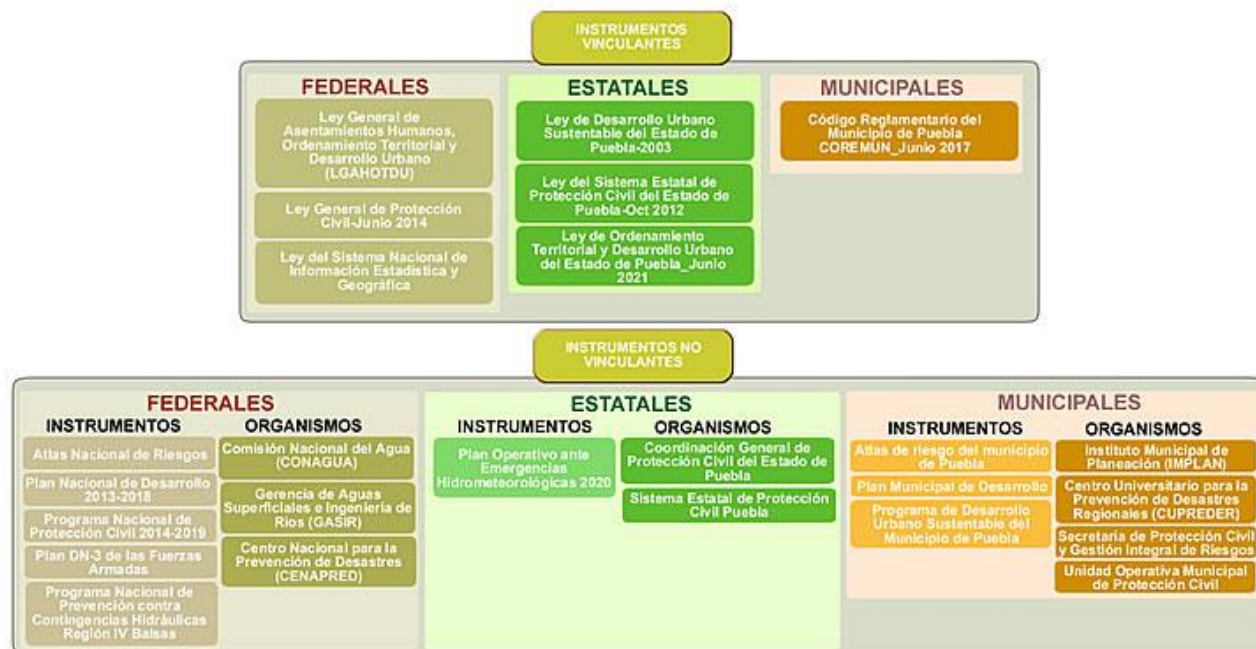
En el nivel estatal, la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Puebla (Gobierno del Estado de Puebla, 2021), establece en el artículo 14, fracción XXVI, que el gobierno estatal debe prevenir y evitar la ocupación por asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, de conformidad con los atlas de riesgo y la legislación aplicable, y en el artículo 31, fracción V, especifica la corresponsabilidad de los niveles de gobierno, especificando que el Estado podrá convenir con el gobierno federal los mecanismos de planeación de las zonas metropolitanas para una coordinación entre acciones e inversiones que propicien el desarrollo y correspondiente regulación de los asentamientos humanos junto con la participación de los municipios que corresponda, de acuerdo con las disposiciones legales aplicables.



Los resultados de la investigación con respecto a los instrumentos vinculantes y no vinculantes existentes se sistematizaron en un diagrama que permite identificar los actores responsables o que podrían incidir en las acciones. (Ver imagen 8).



Imagen 8. Diagrama de Leyes e Instrumentos relacionados con la prevención de desastres.



Fuente: Elaboración propia.



En el municipio de Puebla, como una respuesta estructural e institucional a la necesidad planteada de una correcta planeación del ordenamiento del territorio, en el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), en donde se genera información que da respuesta a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Agenda 2030. Entre los objetivos que aplican a las funciones de este instituto, es de importancia para este estudio el objetivo 11 que determina lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles (Naciones Unidas, 2015). Los resultados que se han publicado hasta el momento se pueden encontrar en la sección INDICADORES ODS de la página web oficial del IMPLAN (Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), 2022). Sin embargo, respecto a este indicador, no incluye el apartado 11.5 que determina que “de aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad” (Naciones Unidas, 2015, pág. 25).

El IMPLAN genera información estadística y geográfica a nivel municipal y aunque no realiza estudios de riesgos, generan datos que proveen a otras instancias que si realizan estudios de esta naturaleza. Específicamente para este contexto, el IMPLAN ha contribuido con el Plan de Movilidad Urbana Sustentable de Puebla (Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), 2016), en donde se muestran puntos de inundación pluvial y fluvial en algunas vialidades y también la delimitación de la microcuenca del río Xonaca para evidenciar las inundaciones que han afectado a algunos equipamientos urbanos. Además se están desarrollando plataformas para mostrar datos de la Carta Urbana, de los espacios públicos por medio del (Sistema de Información Geográfica Municipal de Puebla (SIGEM), 2021). Por otro lado, a partir de la nueva administración municipal 2021-2024, se está produciendo nueva información con respecto a riesgos que se puede consultar en la plataforma (Atlas Puebla, 2021) que fue desarrollada en colaboración con la Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos del municipio de Puebla. Esta plataforma presenta datos vectoriales y *raster* de una forma interactiva, de modo que es posible hacer acercamientos a una zona de interés dentro del municipio de Puebla y además se pueden visualizar capas relacionadas con peligros y riesgos. En los peligros se pueden visualizar las capas correspondientes a los estudios de inundación desde 5 hasta 200 años de tiempo de retorno en niveles que van desde probabilidad muy baja a muy alta. (Ver Imagen 9).



Imagen 9. Capas de fenómenos hidrometeorológicos en la página del Sistema Estatal de Protección Civil.



Fuente: Sistema Estatal de Protección Civil del Gobierno del municipio de Puebla.



Se identificó que la extensión de las capas de posible inundación que presenta la plataforma es más específica en extensión espacial respecto a las capas disponibles en el Atlas de Riesgos Naturales del CENAPRED, sin embargo, la información que presenta solo puede ser consultada, es decir, no se pueden descargar la información, por lo cual no es posible hacer un estudio comparativo con nuestros resultados de estudio usando Sistemas de Información Geográfica. Y como resultado de las investigaciones realizadas durante la Estancia de investigación se evidenció que estos estudios no fueron realizados por el IMPLAN ni tampoco fueron realizados directamente en Protección Civil, sino que esta Dirección contrató los servicios de una empresa independiente llamada Soluciones SIG, quien realizó los estudios de inundación por medio de la aplicación de la herramienta Watershed de Acumulación de Flujo de Esri/ArcMap. Las corrientes se identifican con el método de Strahler y de Shreve con la herramienta de Clasificación de arroyos, como especifica el libro impreso que nos facilitaron en el IMPLAN llamado Atlas de Peligros y Riesgos del municipio de Puebla 2021 (Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos, 2021).

En segunda instancia, cuando se escoge visualizar las capas de Riesgo, también se tienen disponibles un solo grupo de capas sin tiempos de retorno, separadas por la probabilidad de ocurrencia, desde Muy Alta hasta Muy Baja. El despliegue de estas capas para el sector Hacienda-Margarita se puede ver en la Imagen 10.



Imagen 10. Capas de peligros en la página del Sistema Estatal de Protección Civil.



Fuente: Sistema Estatal de Protección Civil del Gobierno del municipio de Puebla.



Se observa que la escala territorial mínima es de manzana urbana, no es posible desplegar una escala menor como predios o viviendas en riesgo de inundación, esto no es posible en este mapa porque no presenta una capa de construcciones. Tampoco se pueden descargar estas capas para poder hacer estudios comparativos con los resultados de este trabajo.



CAPÍTULO IV. RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL SECTOR HACIENDA-LA MARGARITA.

El objetivo del presente capítulo es analizar las causas que provocan las inundaciones por el desbordamiento del río Alseseca en el Sector Hacienda-Margarita que está conformado por los asentamientos urbanos colonia La Hacienda, y la unidad habitacional La Margarita. Este sector padece recurrentemente de las crecidas del río Alseseca, este estudio se va a enfocar en las áreas que están en riesgo de inundación, porque se considera que un análisis detallado de los posibles alcances de las inundaciones, las soluciones que se puedan aplicar y los métodos existentes para prevenir y dar respuesta a las contingencias, sería representativo de una gran parte de las posibles áreas de inundación en otros asentamientos del municipio de Puebla.

4.1 Sector Hacienda-Margarita

En el municipio de Puebla, a lo largo del cauce de sus ríos principales hay múltiples asentamientos urbanos y zonas habitadas que se han construido en las áreas expuestas a riesgo de inundación, y de hecho padecen históricamente de eventos recurrentes. Y hay un caso particular que es notorio por la frecuencia con la que suceden inundaciones y que es mencionado en estudios de riesgo (Solís Montero & Solís Gomez, 2012), (Atlas de Riesgos Naturales Municipio de Puebla, 2012), (Salgado Montes, Flores Lucero, & Guevara Romero, 2020), (Ramírez Flores & Flores Lucero, 2017). La Hacienda, es un asentamiento consolidado que tiene como eje un tramo del río Alseseca, está situada cerca del punto en el que el río drena a la siguiente subcuenca (RH18Ac), presa Manuel Ávila Camacho, y colinda con la unidad habitacional La Margarita (ver imagen 11). El tramo del río Alseseca que se va a estudiar comienza en el puente del Boulevard Juan Pablo II y termina en el Boulevard Municipio Libre, la longitud del tramo del río es de 2, 258 metros.



Imagen 11, El río Alseseca y los asentamientos urbanos adyacentes al tramo del río estudiado.



Fuente: Elaboración propia.



Debido a que esta zona padece recurrentemente de las crecidas del río Alseseca, este estudio se va a enfocar en las áreas que están bajo riesgo hídrico dentro de ésta área, porque se considera que un análisis detallado de los posibles alcances de las inundaciones, las soluciones que se puedan aplicar y los métodos existentes para prevenir y dar respuesta a las contingencias, sería representativo de una gran parte de las posibles áreas de inundación en otros asentamientos de la ciudad de Puebla.

El tramo del río Alseseca que se va a estudiar comienza en el puente la Margarita sobre el boulevard Juan Pablo II y termina donde el río pasa por debajo del Puente del boulevard Municipio Libre. La longitud del río a lo largo del tramo que se va a estudiar es de 2,258 metros. Ésta área se va a llamar de ahora en adelante el **Sector Hacienda-Margarita**.

Debido a que el río Alseseca recibe las escorrentías de todas las corrientes de la subcuenca Alseseca, la mayor parte del agua de las precipitaciones que caigan en la subcuenca aumenta el gasto del río y por lo tanto pueden causar inundaciones en las áreas habitadas generando un riesgo hídrico.

En aproximadamente la mitad de la longitud estudiada del río, a partir del puente la Margarita y hasta casi llegar a la altura de la intersección de las calles Hacienda Vista Hermosa y boulevard Circunvalación en el asentamiento urbano la Hacienda, el lecho del río está revestido de concreto (ver Imagen 12). La longitud de este tramo revestido es de 922.5 metros.



Imagen 12. Tramo revestido de concreto del río Alseseca a la altura del Sector Hacienda-Margarita.



(Fuente: Molina, 2020)



El tramo revestido de concreto del río forma parte de la infraestructura existente que se ha construido para prevenir los daños provocados por las inundaciones, los cuales tienen cierta utilidad, ya que sin estas obras los daños serían más graves, pero este acondicionamiento no existe a lo largo de todo el río. Esta situación protege hasta cierto punto a los asentamientos que se encuentran a la altura del revestimiento, pero aumenta el riesgo de inundación y deslave a partir del punto en donde termina, el cual llega como se mencionó anteriormente hasta aproximadamente a la mitad del sector Hacienda-Margarita, y a partir del lugar en que se termina, sigue habiendo construcciones que se encuentran cerca del cauce del río (Ver Imágenes 13 y 14).



Imagen 13. Extensión del tramo revestido.



Fuente: Elaboración propia.



Imagen 14. Final del revestimiento y Secundaria Técnica No. 42.



Fuente: Cruz, 2016.



A partir del punto en el que se termina el revestimiento, los taludes del río están sujetos a deslaves causados por la erosión, obstrucciones por la acumulación de los detritos que transporta el agua, y por la suma de estos factores, el agua puede desbordarse en las avenidas súbitas.

4.2 Análisis Espacial

La base para este estudio es la aplicación de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica y una representación del terreno estudiado en forma de Modelo de Elevación Digital (DEM) la cual es una matriz en formato *raster* en la que cada celda está representado un valor que corresponde a la altitud sobre el nivel del mar de ese punto geográfico expresada en metros. Con base en esta información se tiene representada internamente en el Sistema de Información Geográfica la topografía del terreno, lo cual junto con otras capas de información, permiten una aproximación muy cercana a la realidad en la zona geográfica en donde ocurren las inundaciones.

La combinación de los programas de software **QGIS**⁸ y **HEC-RAS**⁹ permitió realizar estudios de la topología del terreno, superposición de capas que representan el río junto con sus riberas, las construcciones, vialidades y equipamientos en la zona junto con imágenes satelitales, simulaciones de corrientes de agua con distintos caudales para predecir los alcances de las posibles inundaciones, y elaboración de mapas de riesgo para mostrar los resultados del análisis. Además de plantear los escenarios de inundación, permitió estimar las construcciones y el número de habitantes afectados.

Las posibles aplicaciones de la representación del terreno no solo abarcan los escenarios prospectivos, se exploraron las actividades humanas que provocan el crecimiento de la mancha urbana e invaden las zonas por las que pasan los excesos de agua en la zona, construyendo el riesgo al que están expuestos los habitantes. Al mismo tiempo se estimó la vulnerabilidad de los habitantes que depende de múltiples factores como la edad, la cercanía a las áreas inundables y acceso a la información.

Para la realización de los estudios en el presente trabajo se tienen disponibles como fuente de datos para la representación del terreno los archivos de Modelo de Elevación Digital (DEM) bajados de la

⁸ QGIS son iniciales de Quantum GIS, un sistema de información geográfica de licencia libre desarrollado por la Fundación OSGeo.

⁹ HEC-RAS (acrónimo de *Hydrologic Engineering Center y River Analysis System*) es un Sistema informático de modelación de la hidráulica de flujo de aguas en ríos naturales y otros canales, fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América



página web Mapas del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2022), con resolución espacial de 1.5 metros por pixel, para el año 2020. A partir de las cartas topográficas E14B43E3 y E14B53B1 se elaboró un mosaico y un recorte de mosaico que contiene al sector Hacienda-Margarita.

Se tiene también disponible una ortofoto digital del sector en formato ráster de una resolución espacial de 10 cms. por pixel (obtenida mediante el software Universal Maps Downloader) que se puede desplegar al mismo tiempo que los resultados de los estudios en el Sistema de Información Geográfica para poder hacer un estudio por superposición sobre la imagen y reconocer visualmente si las capas de inundación afectan a los asentamientos urbanos.

Para tener datos básicos para usar el Sistema Informático Hidrológico HEC-RAS, se realizaron 44 cortes perpendiculares al cauce del río a una distancia promedio de 40 metros, y quedaron numerados a partir del inicio del tramo del río en el área de estudio y los números consecutivos de los cortes aumentan progresivamente aguas abajo, y se despliegan al mismo tiempo que las polilíneas que definen el cauce del río, sus riberas y los límites máximos de inundación (ver Imagen 15).



Imagen 15. Cortes transversales del río Alseseca.



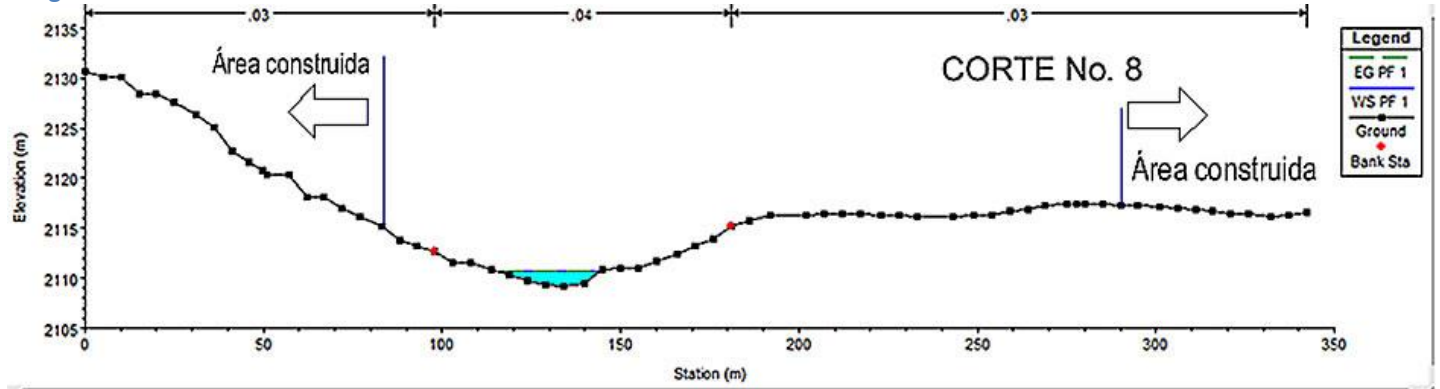
Fuente: Elaboración propia.



Mediante estudios en campo e información disponible de investigaciones anteriores se identificaron tres puntos específicos en donde el agua comienza a salir del cauce cuando suceden las inundaciones, y estos puntos se localizan aproximadamente entre los cortes 8 y 9, en el corte 22 y en el corte 35, de forma que en éstos puntos se estudió el relieve mediante los cortes transversales en HEC-RAS con los siguientes resultados:

En el corte 8 se pueden ver las diferencias de terreno a lo largo del corte, en donde se han indicado en dónde comienzan las construcciones a cada lado del río. De esta forma es evidente que las construcciones del lado izquierdo, que corresponde al asentamiento urbano La Hacienda, se encuentra mucho más cerca del río (30 metros) que las construcciones del lado derecho (más de 150 metros) y a menor altitud (4 metros) con respecto al paso del agua en el río que las primeras construcciones en el lado derecho (15 metros), que corresponde a la unidad habitacional La Margarita (ver Imagen 16).

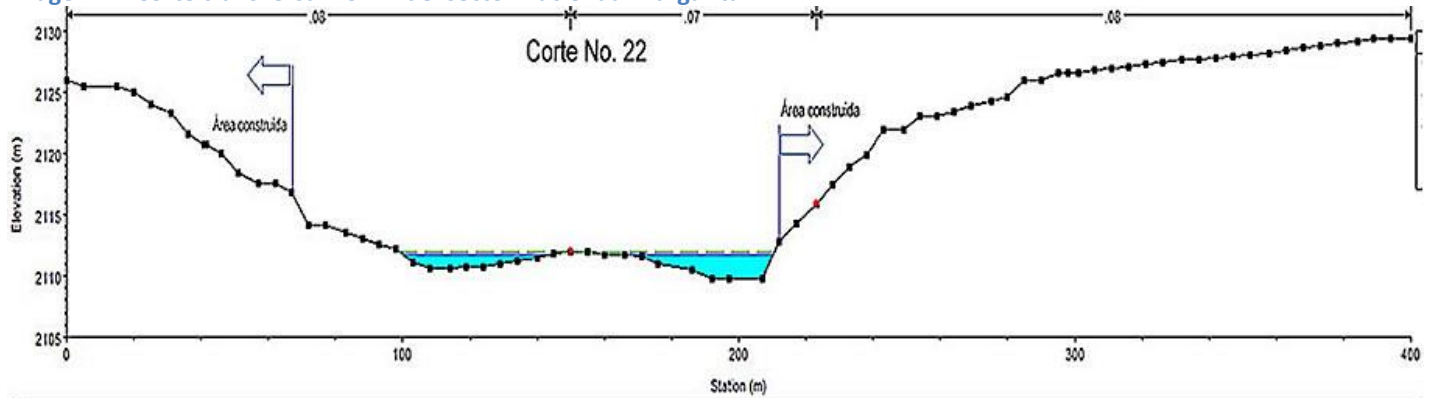
Imagen 16. Corte transversal número 8.



Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma podemos visualizar el corte No. 22 en donde se puede observar que en este caso está bajo mayor peligro el lado derecho, que corresponde a la unidad habitacional La Margarita. (Ver Imagen 17).

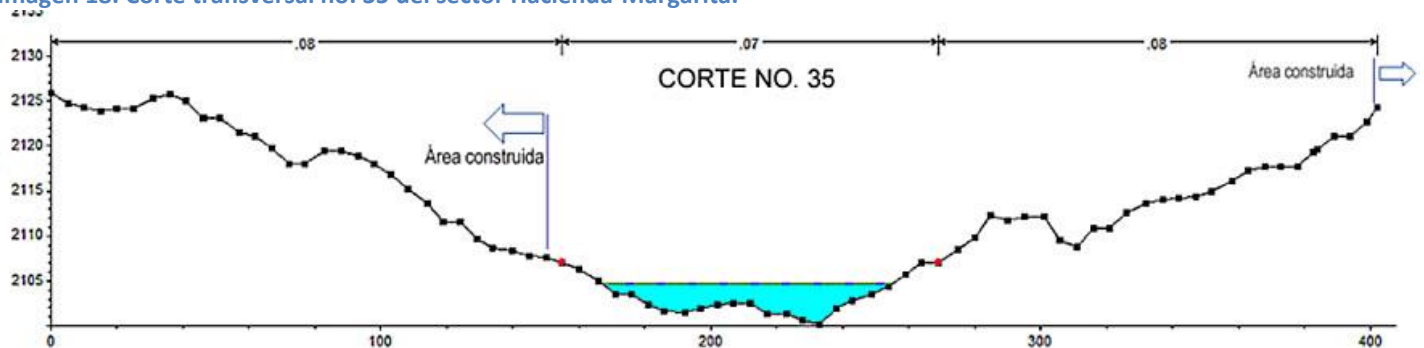
Imagen 17. Corte transversal no. 22 del sector Hacienda-Margarita.



Fuente: Elaboración propia.

El corte no. 35 evidencia que el lado izquierdo está bajo mucho mayor peligro de inundación puesto que las primeras construcciones comienzan 4 metros sobre el paso del agua mientras que el lado derecho las primeras construcciones se encuentran a 20 metros sobre ese nivel (Ver Imagen 18).

Imagen 18. Corte transversal no. 35 del sector Hacienda-Margarita.

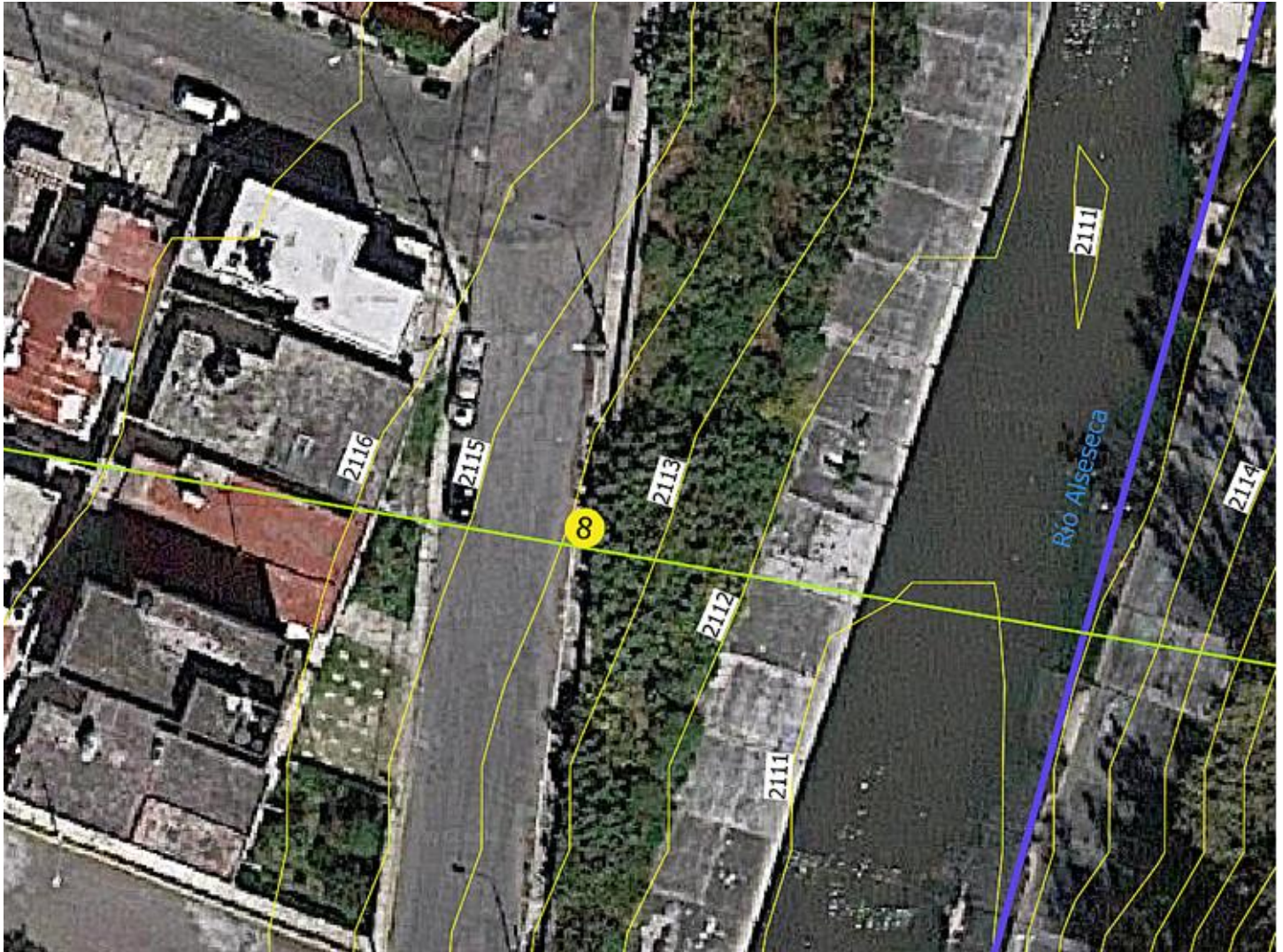


Fuente: Elaboración propia.

Se generaron curvas de nivel a un metro de distancia, las que desplegadas junto con la ortofoto de las áreas conflictivas permiten evidenciar en qué lugares y porqué el agua sale de su cauce. Para el primer corte, el No. 8, es posible ver cómo en el lado de la Hacienda las primeras construcciones están aproximadamente a 2115 msnm, tres metros sobre el lecho del río que está a 2111 msnm, lo cual significa que hay un desnivel de tan solo 4 metros sobre el paso del agua (Ver Imagen 19).



Imagen 19. Corte transversal no. 8 del sector Hacienda-Margarita costado La Hacienda.



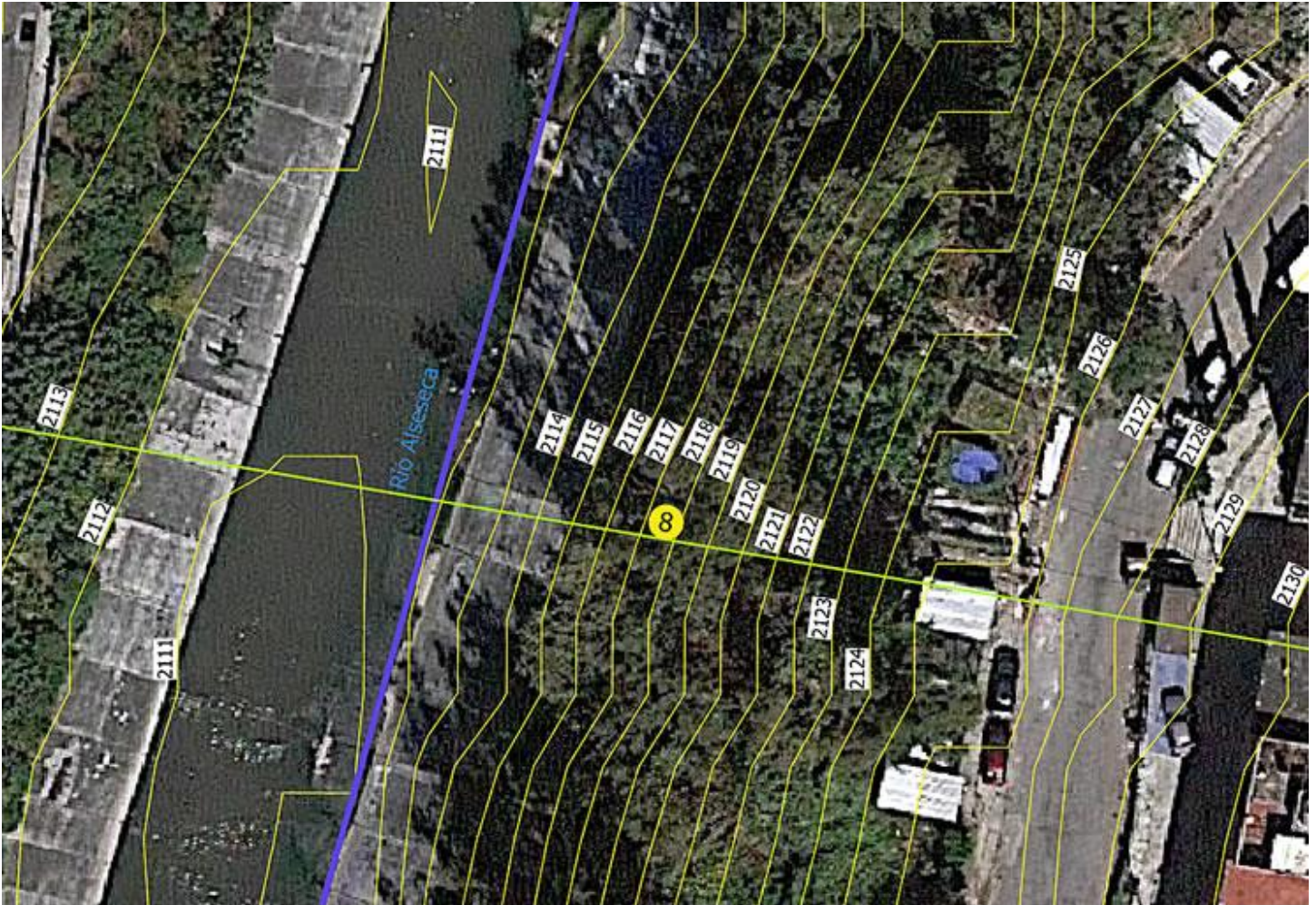
Fuente: Elaboración propia



Para el mismo corte las construcciones localizadas en La Margarita comienzan a 2126 msnm, a un desnivel de 15 metros sobre el lecho del río (Ver Imagen 20).



Imagen 20. Corte transversal no. 8 del sector Hacienda-Margarita costado La Margarita.

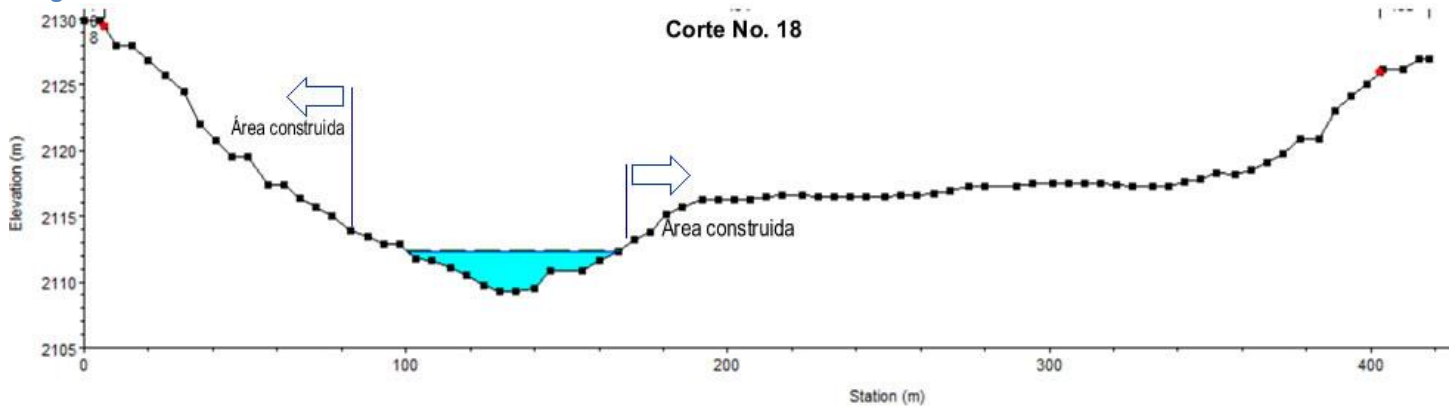


Fuente: Elaboración propia



Otro punto conflictivo se encontró en la zona alrededor del corte 18, en donde se puede identificar que en este caso las construcciones del lado de la Hacienda se encuentran más alejadas del paso del agua, mientras que las construcciones en la Margarita están mucho más cercanas (Ver Imagen 21).

Imagen 21. Relieve en el Corte transversal no. 18.

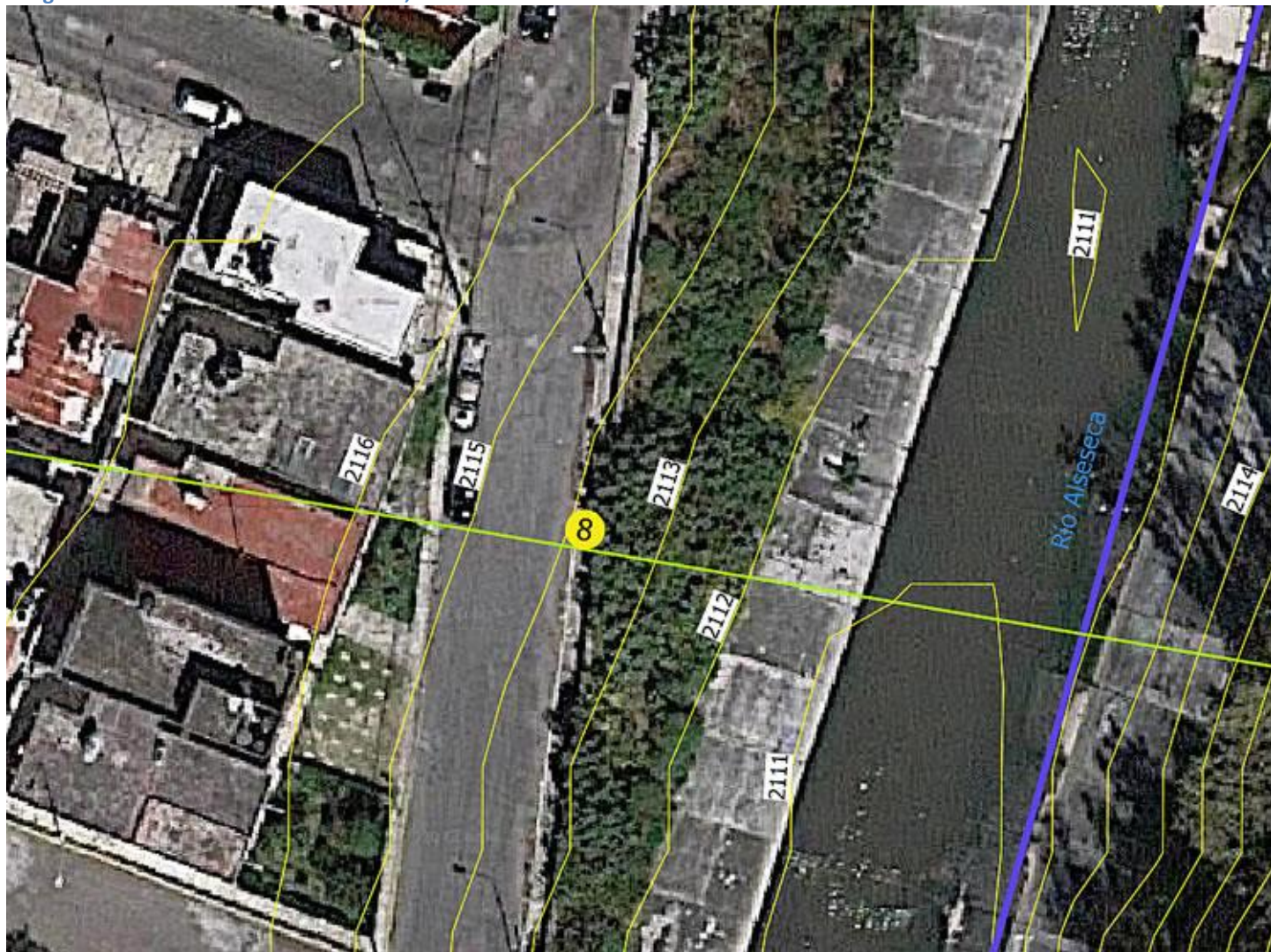


Fuente: Elaboración propia

Las curvas de nivel en este corte muestran que las construcciones en La Hacienda están más alejadas, a 32 metros de la orilla del río, pero a 2112 msnm, lo cual es solo un desnivel de 3 metros sobre el paso del agua que está a 2109 msnm (Ver Imagen 22).



Imagen 22. Curvas de nivel en el corte 18, costado La Hacienda.



Fuente: Elaboración propia



En el costado de La Margarita, las construcciones están mucho más cerca de la orilla del río, a tan solo 8 metros de distancia, lo cual contradice la disposición oficial de no construir a menos de diez metros de cauce de un río y se considera zona federal. Esto nos muestra que una franja de construcciones en la Margarita han sido situadas en una zona bajo un peligro alto, sin que haya un terraplén ni área no construida para protegerla de las crecidas. Sólo se ha construido una barda de ladrillos para proteger estas construcciones (Ver Imagen 23).



Imagen 23. Curvas de nivel en el corte 18, costado La Margarita.



Fuente: Elaboración propia



De estas observaciones se puede identificar el área construida y densamente habitada en la Margarita que está bajo estas condiciones de peligro y que está delimitada en la Imagen 24.



Imagen 24. Área bajo peligro en La Margarita.



Fuente: Elaboración propia



El siguiente punto conflictivo se identifica en los cortes 21 y 22, que se encuentran en el punto final del revestimiento de concreto del río, en la curva en la que se ubica la escuela Secundaria Técnica número 42, en la unidad habitacional La Margarita (ver Imagen 14). El corte transversal del terreno número 22 evidencia que La Hacienda se encuentra a 2,117 msnm, con una diferencia de 18 m de altitud sobre el lecho del río que está a 2109 msnm; mientras que la escuela secundaria se encuentra a 2111 m, solo dos metros de diferencia respecto al lecho. En este caso, la escuela secundaria es la construcción que está bajo mayor peligro de inundación (ver Imágenes 25 y 26).



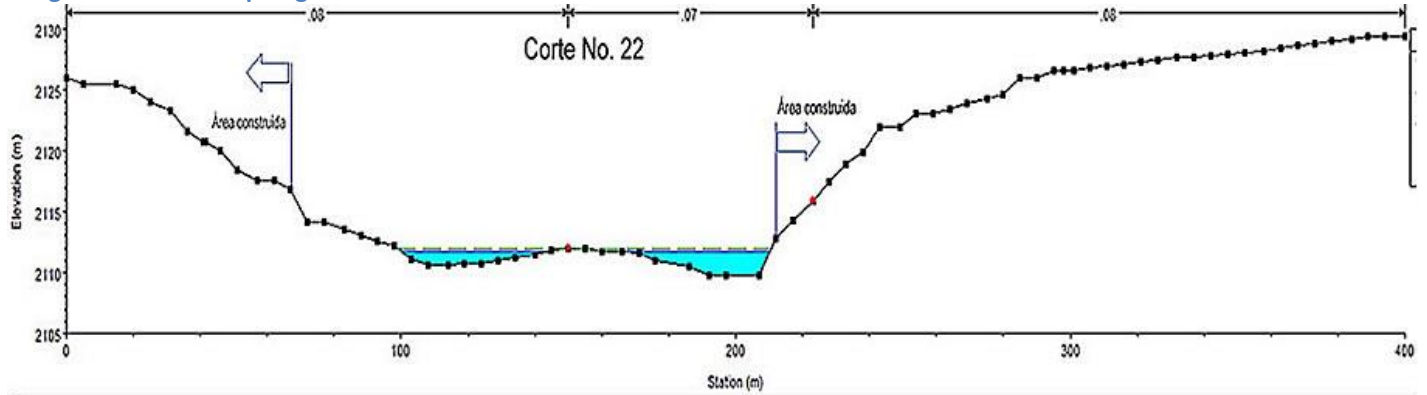
Imagen 25. Vista vertical del corte transversal no. 22.



Fuente: Elaboración propia



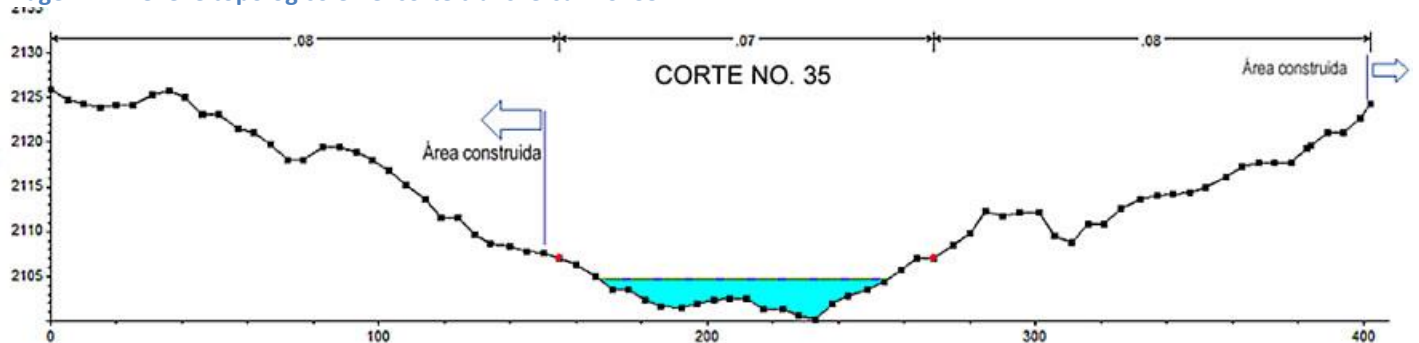
Imagen 26. Relieve topológico en el corte transversal No. 22



Fuente: Elaboración propia

El punto conflictivo que se encuentra en los cortes 34, 35 y 36 presenta también está expuesto a una alta probabilidad de inundación. Específicamente, en el corte 35 se encuentra el menor desnivel con respecto al río en la colonia La Hacienda, en donde se encuentra una vialidad y construcciones a 2,111 msnm, con una diferencia de 4 m respecto a la altura promedio del flujo del río de 2105 msnm (ver Imagen 27). Se observa que, a pesar de que existe vegetación entre la primera vialidad y el río, la altitud es menor respecto al paso del agua; por lo tanto, este es un punto de potencial peligro ante el aumento de los volúmenes de agua del río. Se identificó, con base en las curvas de nivel, que la primera vialidad del lado correspondiente a La Margarita se encuentra a una altitud de 2,124 m, con una diferencia de 17 m con respecto al flujo del agua, y que el terraplén entre el cauce y las construcciones está ocupado por un área no habitada cubierta de vegetación (ver Imagen 29).

Imagen 27. Relieve topológico en el corte transversal No. 35



Fuente: Elaboración propia



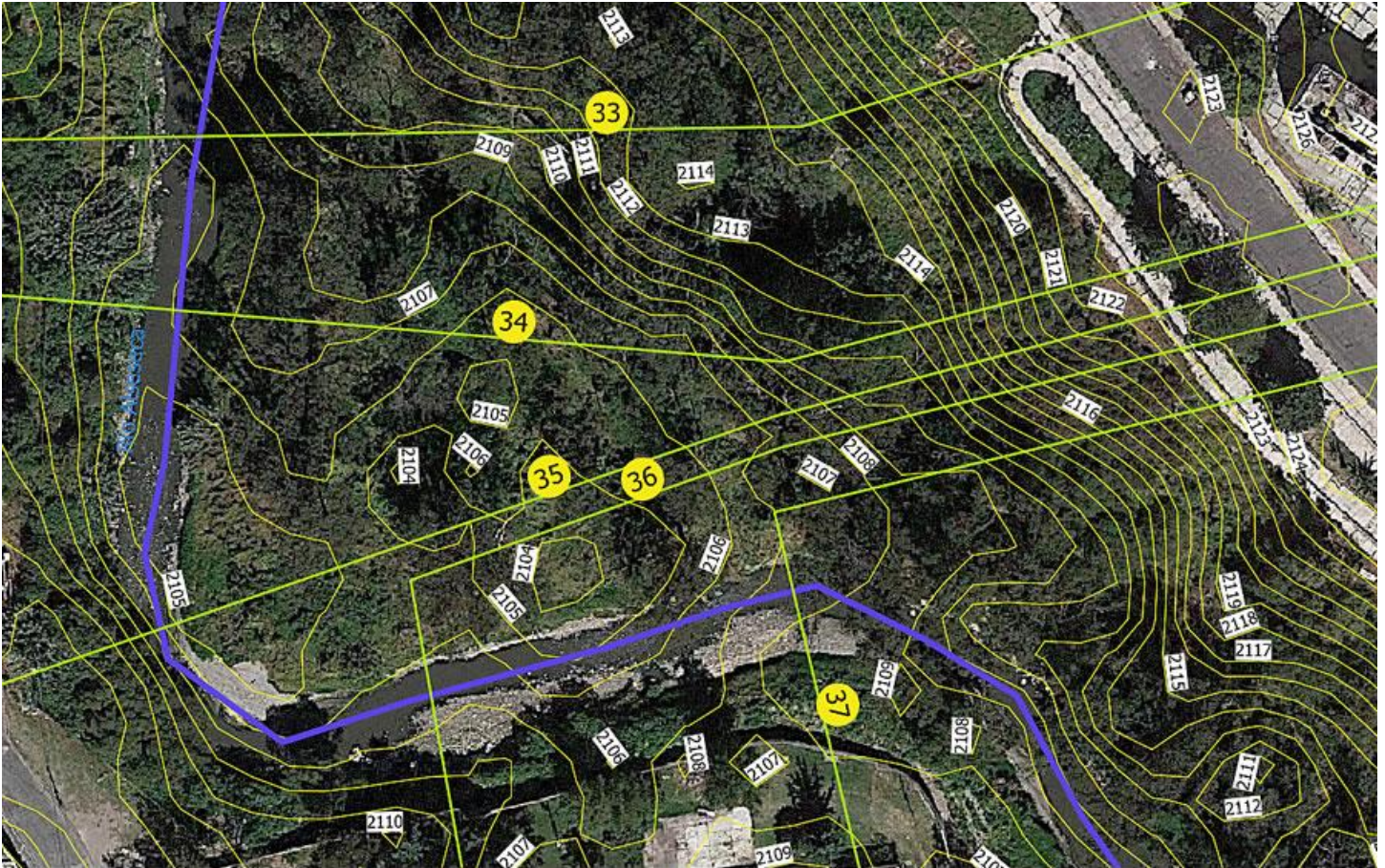
Imagen 28. Vista vertical en el corte transversal No. 35



Fuente: Elaboración propia



Imagen 29. Vista vertical en el corte transversal No. 35 costado La Margarita



Fuente: Elaboración propia



Este análisis realizado con base en los datos de altitud del relieve topográfico provenientes del Modelo de Elevación Digital (MED), permite evidenciar que existen puntos de conflicto que presentan una mayor probabilidad de inundación debido a que las altitudes de las construcciones son mínimas con respecto a la altitud del paso del agua en el río Alseseca. Esto significa que, al crecer el caudal del río junto con los volúmenes y el nivel del agua, los desbordamientos se pueden iniciar en estos puntos, lo que ocasionaría que las construcciones cercanas fueran las primeras en sufrir las afectaciones provocadas por la inundación de aguas contaminadas.

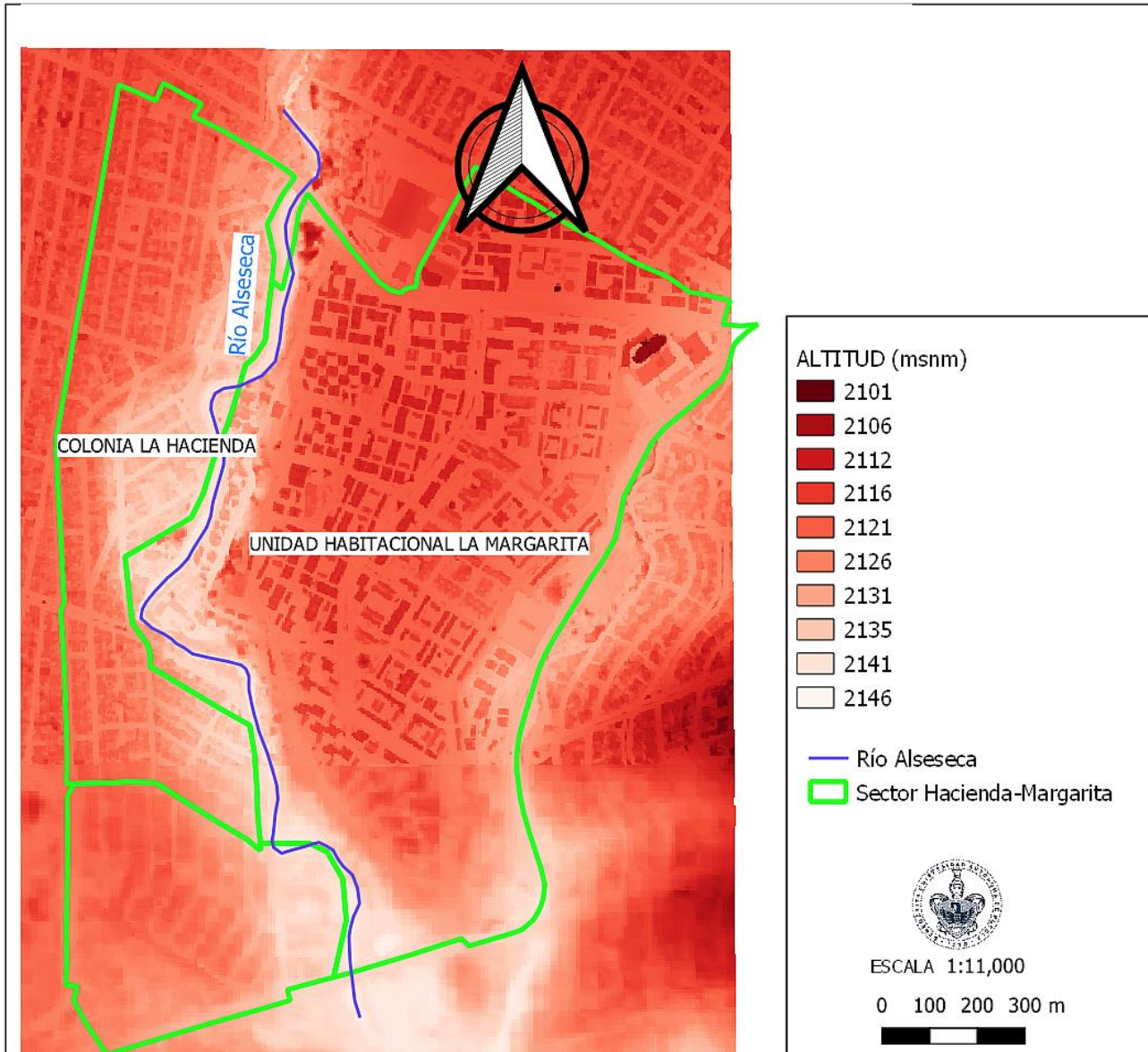
Es muy importante agregar que existe además el **peligro** de que los cimientos de las construcciones que están edificadas sobre el lecho del río sean erosionados por el paso del agua, puesto que están contruidos sobre un suelo poco sólido y por lo tanto inestable, formado por la acumulación de capas de distintos materiales, el cual es llamado suelo ribereño (Campos & Alvarado, 2021), aunque por el difícil acceso a las márgenes del río no fue posible identificar los diferentes tipos de cimentación que tienen las construcciones en la zona de estudio.

Para proveer un mayor sustento a las conclusiones del estudio de cortes de terreno, se realizaron análisis complementarios aprovechando los algoritmos disponibles dentro del software QGIS 3.14, los cuales se detallan a continuación.

En el análisis de las altitudes del sector se procesó un modelo *raster* en pseudocolor, que se generó a partir del Modelo de Elevación Digital. Los pixeles que representan los puntos de menor altitud aparecen en tonos opacos del color rojo, y varían hacia tonos brillantes al aumentar la altitud; el rango oscila entre 2,101 y 2,146 msnm. Se puede observar que el área con menor diferencia de altitud respecto al cauce del río y más extensa corresponde al asentamiento urbano La Hacienda. Se identificó con base en este modelo, que La Hacienda cuenta con áreas de menor altitud y que son más extensas en comparación con La Margarita, ya que los pixeles de tonalidades opacas oscilan entre 2,106 m y 2,116 m; por lo tanto, La Hacienda es la que tiene mayor probabilidad de inundación. La superposición de capas vectoriales correspondiente a las manzanas y a equipamientos urbanos, así como a la capa *raster* correspondiente a las altitudes, se desplegó para identificar dónde hay condiciones de vulnerabilidad (ver Imagen 30).



Imagen 30. Análisis de altitudes



Fuente: Elaboración propia.

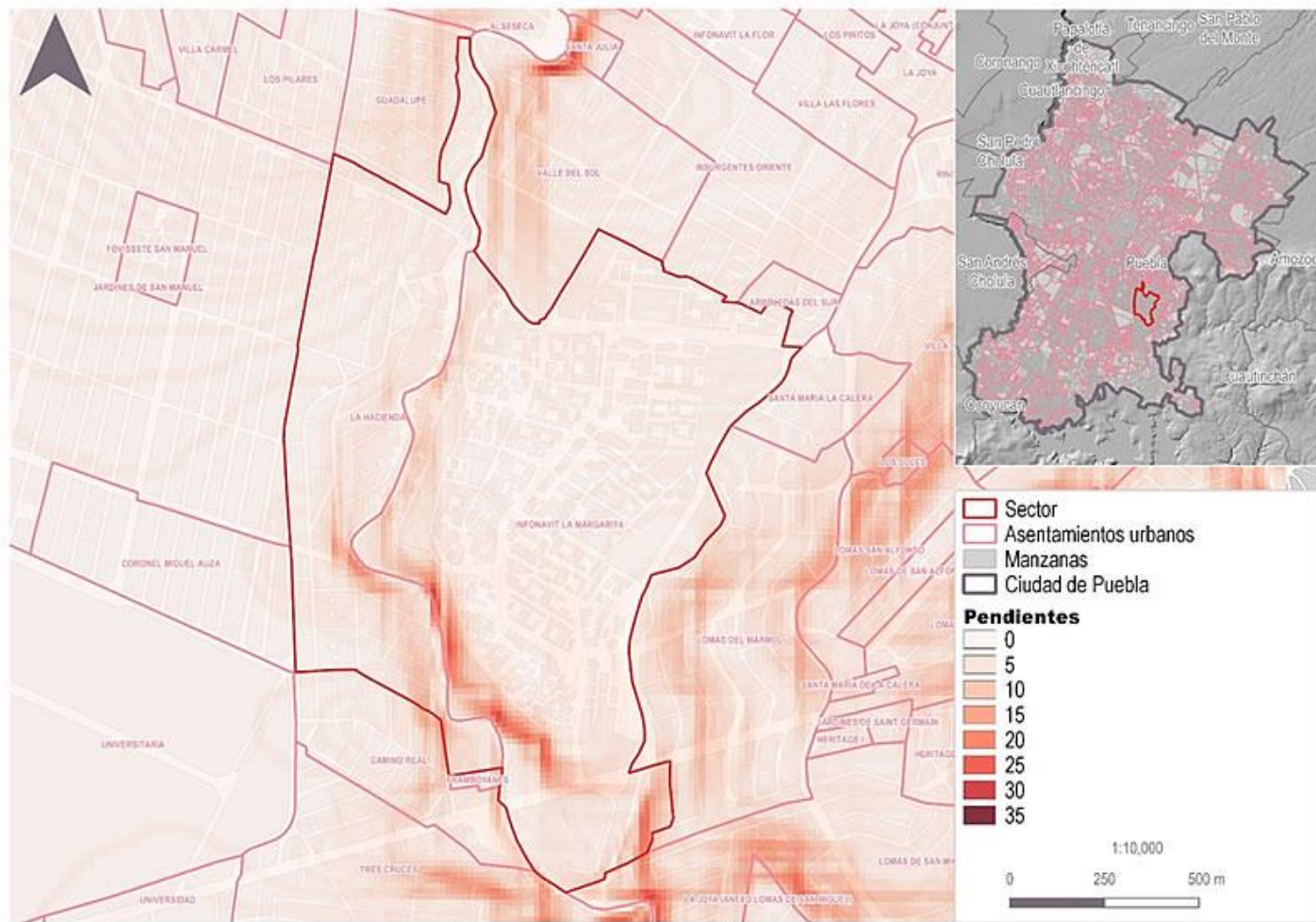


El modelo de pendientes se elaboró en el programa QGIS 3.14 con base en el MED y aplicando la herramienta Pendiente. El MED se procesó y se obtuvo un archivo raster cuya capa representa, en cada pixel, la pendiente del terreno en rangos de valores de 0 a 90 grados de inclinación. Para la representación de pendientes del sector se utilizó una paleta de pseudocolor con una variedad de tonos; los tonos brillantes representan pendientes horizontales a partir de los 0 grados; por otra parte, los tonos opacos representan fuertes pendientes con inclinaciones de hasta 35 grados (ver Imagen 31).

En el sector se identifican en tonos opacos del color, aquellos que representan fuertes pendientes que oscilan entre 33 y 38 grados, es decir, la inclinación del suelo es mayor. Mediante la técnica *overlay mapping*, se identificó que en el área de la unidad habitacional La Margarita presenta una fuerte pendiente de 33 grados en promedio que la protege de las crecidas del río, mientras que del lado de la colonia La Hacienda existe una pendiente de 16 grados respecto al cauce del río. Esto permite evidenciar que La Hacienda se construyó en una planicie contigua al lecho del río que aumenta las probabilidades de acumulación de los flujos de agua pluviales y fluviales.



Imagen 31. Análisis de pendientes



Fuente: Elaboración propia

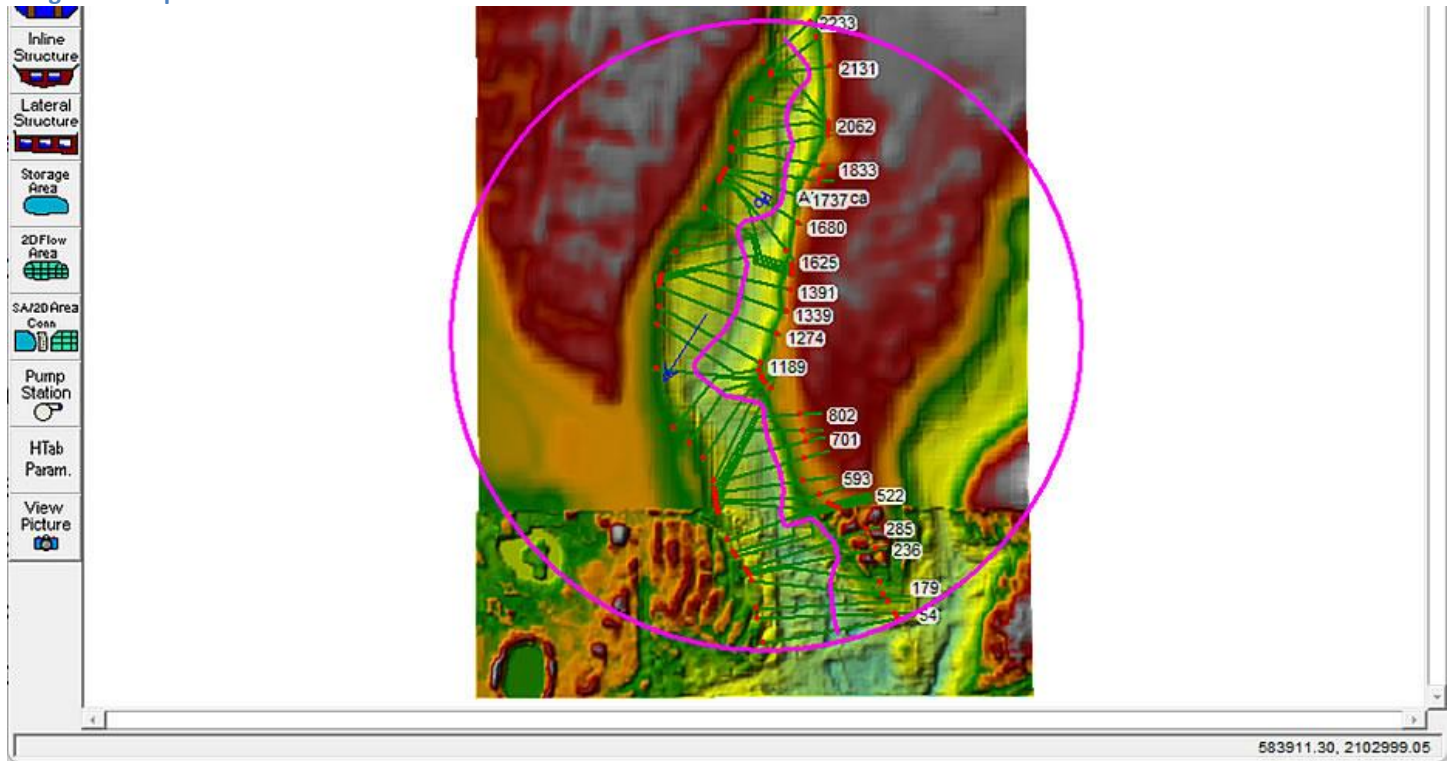


4.3 Simulación Hídrica

Mediante la aplicación del programa QGIS 3.14 y HEC-RAS 5.0.3, con base en el MED y en los gastos históricos registrados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (Atlas de Riesgos Naturales Municipio de Puebla, 2012, pág. 141) como parámetros, se generaron tres polígonos que definen niveles de las zonas inundables, es decir las zonas **bajo peligro** de inundación. El gasto de agua de 174 m³ por segundo es uno de los parámetros que se utilizó y que corresponde a una probabilidad alta de inundación, el gasto de 350 m³ se usó para una probabilidad media de inundación, y el gasto de 458 m³, para una probabilidad baja que representa la inundación más extensa. En el programa HEC-RAS se introducen los datos del MED del sector de estudio, los archivos vectoriales que representan el río, las márgenes del río, los límites máximos dentro de los cuales quedaría la extensión máxima de una inundación, y los cortes transversales al río. La representación espacial del sector Hacienda-Margarita con estos datos se puede observar en la Imagen 32.



Imagen 32. Representación del escenario de estudio en HEC-RAS.



Fuente: Elaboración propia



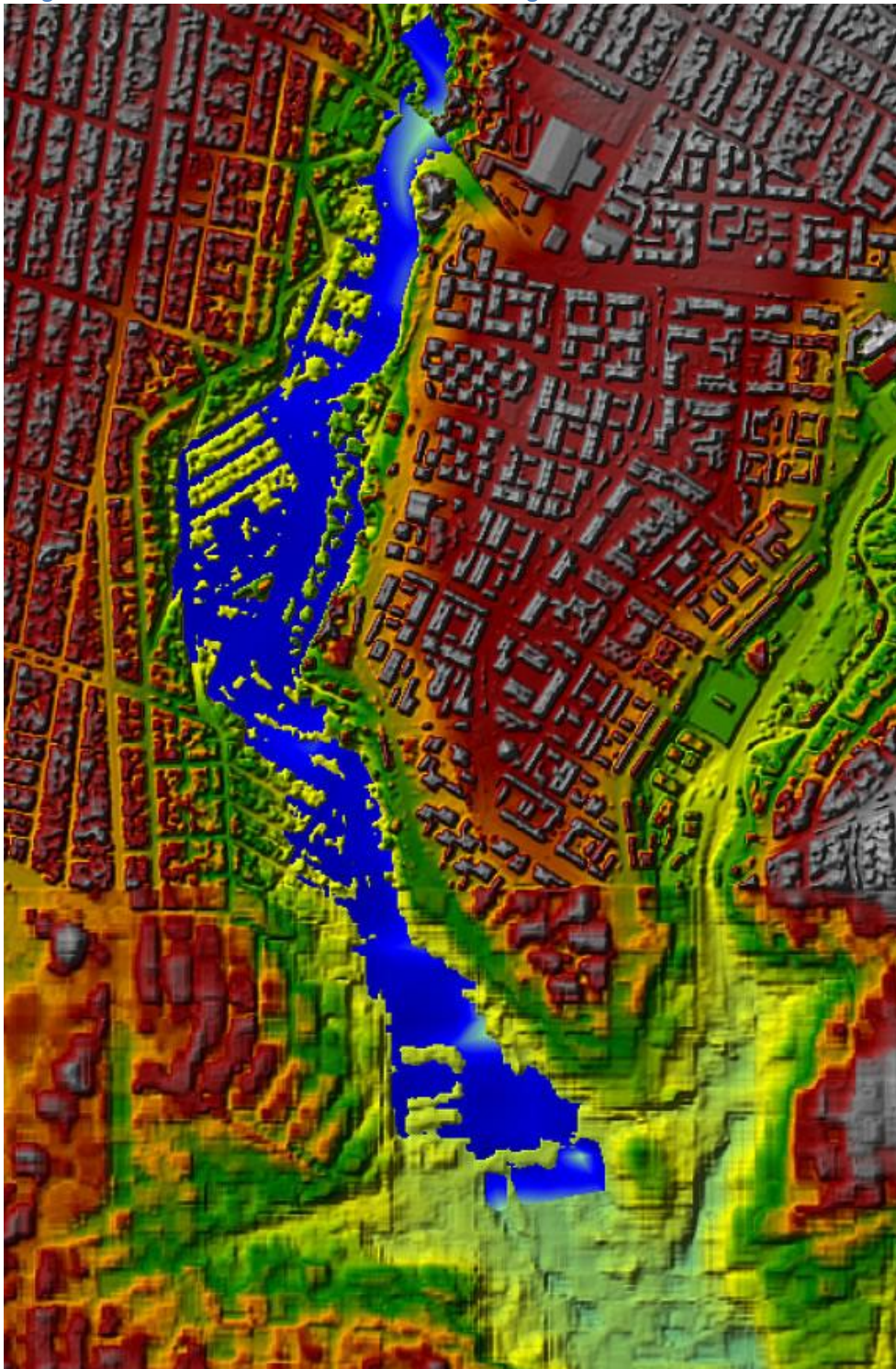
También se introdujo el parámetro del gasto en metros cúbicos por segundo en forma de Flujo Estático o de forma de Flujo dinámico comenzando por un gasto inicial, luego un gasto máximo que simule la crecida del río y un gasto final. También se da como parámetro un estimado de la rugosidad del terreno dividido en la rugosidad del lecho por el que corre el agua y los márgenes por los que correría el agua en caso de una inundación por medio de coeficientes de rugosidad de Manning (Oliveras, 2016).

Tomando en cuenta estos valores, se escogió un coeficiente de 0.08 para los márgenes del río, de 0.04 para el lecho del río recubierto de concreto y de 0.075 para el lecho que no tiene recubrimiento, lo cual representa que la rugosidad del lecho del río aumenta a partir del punto en el que termina la cobertura de concreto, que es en donde está el corte transversal número 21.

Al correr la simulación se obtiene una capa de extensión del agua que para el caso de la inundación de extensión máxima se puede ver en la Imagen 33.



Imagen 33. Resultados de la simulación de máximo gasto en HEC-RAS.



Fuente: Elaboración propia

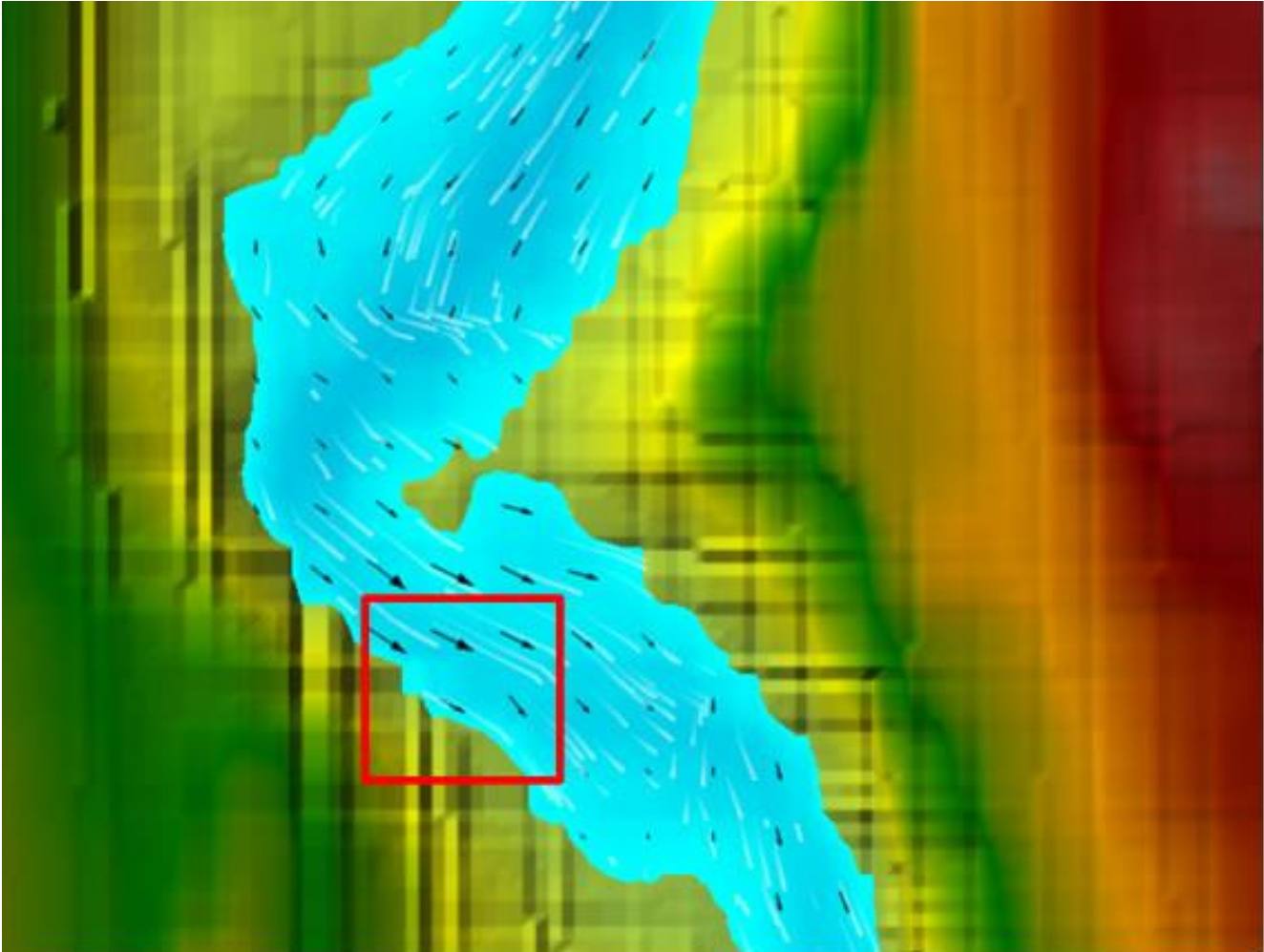


La capa obtenida se exportó como archivo con formato *shape* (.shp) de forma que se puede abrir en el software QGIS para continuar con el estudio.

Un resultado notorio es que si se despliegan las velocidades del agua en la simulación, la cual es denotada como vectores en forma de flechas negras, cuya longitud denota la velocidad del líquido, se puede observar cómo la velocidad del agua aumenta a partir del punto en el que termina la cobertura de concreto del lecho del río, el cual está marcado con un marco rojo en la Imagen 34, lo cual provoca que los desechos y sedimentos que el agua transporta circulen a mayor velocidad haciendo la inundación más peligrosa a partir de ese punto.



Imagen 34. Aumento de velocidad en el fin del tramo recubierto.



Fuente: Elaboración propia



Otro resultado relevante que se obtuvo es que para la inundación de extensión máxima, en la Margarita quedan cubiertos 56,092 m² habitados, en contraste con la Hacienda donde el área afectada es de 143,590 m² habitados, es decir que el área inundable en la Hacienda tiene una extensión de más del doble de área que en la Margarita (ver Imagen 35).



Imagen 35. Áreas habitadas inundadas



Fuente: Elaboración propia



4.4 Riesgo y Vulnerabilidad

A partir de la obtención de las zonas **bajo peligro** de inundación, se aplicó la técnica *overlay mapping* con las capas vectoriales correspondientes a las manzanas y los equipamientos (INEGI, 2010), y a las construcciones (Instituto Registral y Catastral del Estado de Puebla, 2020); además, se georreferenciaron las bases de datos alfanuméricos de población y vivienda (INEGI, 2020), relacionando los datos con la tabla de atributos de la capa vectorial de las manzanas. Realizando una intersección de los elementos de estas capas, los resultados muestran que existen 775 construcciones, 2,361 habitantes, 54 vialidades y 4 equipamientos vulnerables. La población de la zona afectada incluye a 519 menores de seis años, lo cual es un 22% y 283 mayores de 60 años, lo cual representa el 12%, lo cual es el 34% de la población total bajo mayor vulnerabilidad.

Las instituciones educativas bajo peligro son la Escuela primaria Hacienda de Guelatao que tiene 495 alumnos (Municipios de México), la Escuela secundaria Técnica num. 42 que tiene 487 alumnos (Municipios de México) y la Escuela Secundaria General No. 8 Gobernador Merino Fernández que tiene 691 alumnos (Municipios de México). Esto agrega un total de 1,673 habitantes temporales a la población vulnerable por la edad.

(Ver Imagen 36, Ver Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Población bajo mayor vulnerabilidad por el factor edad.

Población total afectada	Población menor de 6 años	Población mayor a 60 años
2,361 habitantes	519 (22%)	283 (12%)

Fuente: Elaboración propia.



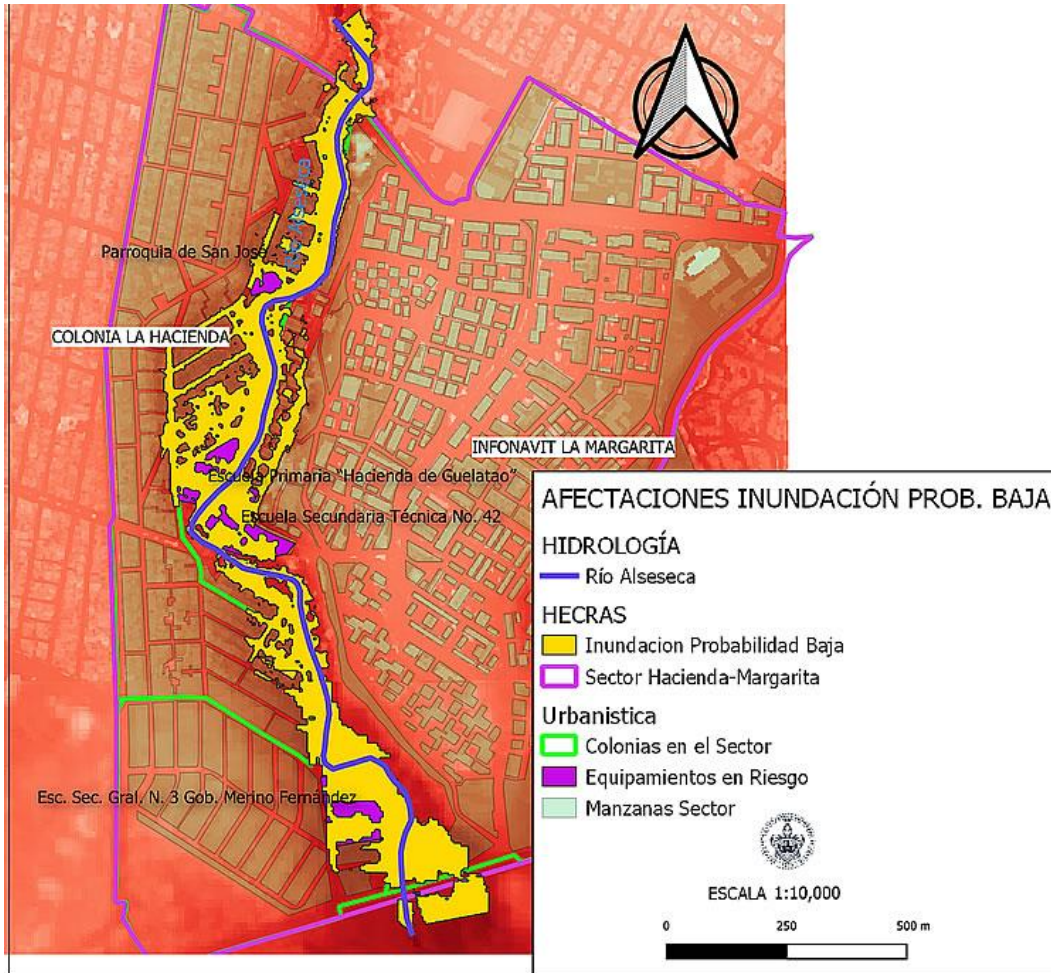
Tabla 6. Población de los equipamientos educativos en la zona de riesgo.

Equipamiento	Número de alumnos
Escuela primaria Hacienda de Guelatao	495
Escuela secundaria Técnica num. 42	487
Escuela Secundaria General No. 8 Gobernador Merino Fernández	691
TOTAL	1,673

Fuente: Elaboración propia.



Imagen 36. Overlay Mapping de la capa de inundación con probabilidad baja y capas urbanísticas



Fuente: Elaboración propia



En el análisis del sector se reconoció, a través de los recorridos de campo, que en el punto donde finaliza el revestimiento de concreto, los equipamientos con mayor peligro de inundación son la escuela primaria Hacienda de Guelatao y la Escuela Secundaria Técnica número 42 (Ver Imagen 37).



Imagen 37. Detalle con inundación de probabilidad alta



Fuente: Elaboración propia



Existen en algunos tramos, muros perimetrales contruidos con ladrillos (Imagen 38), los cuales se construyeron debido a las situaciones de emergencia que ya se han presentado y que han afectado los bienes inmuebles y muebles como en el caso de la escuela Secundaria No. 42 (ver Imagen 14). Estas obras tienen una función de protección hasta cierto punto, porque los desechos y escombros que puede transportar en una crecida pueden derrumbar estas paredes y para una cierta altura del agua en una inundación podrían ser rebasadas, como en el caso de una inundación de probabilidad media que afectaría a la escuela secundaria a pesar de la protección de la barda de ladrillos (Ver Imagen 39).



Imagen 38. Muro de protección en la colonia La Hacienda



Fuente: Cruz, (2016)



Imagen 39. Detalle con inundación de probabilidad media



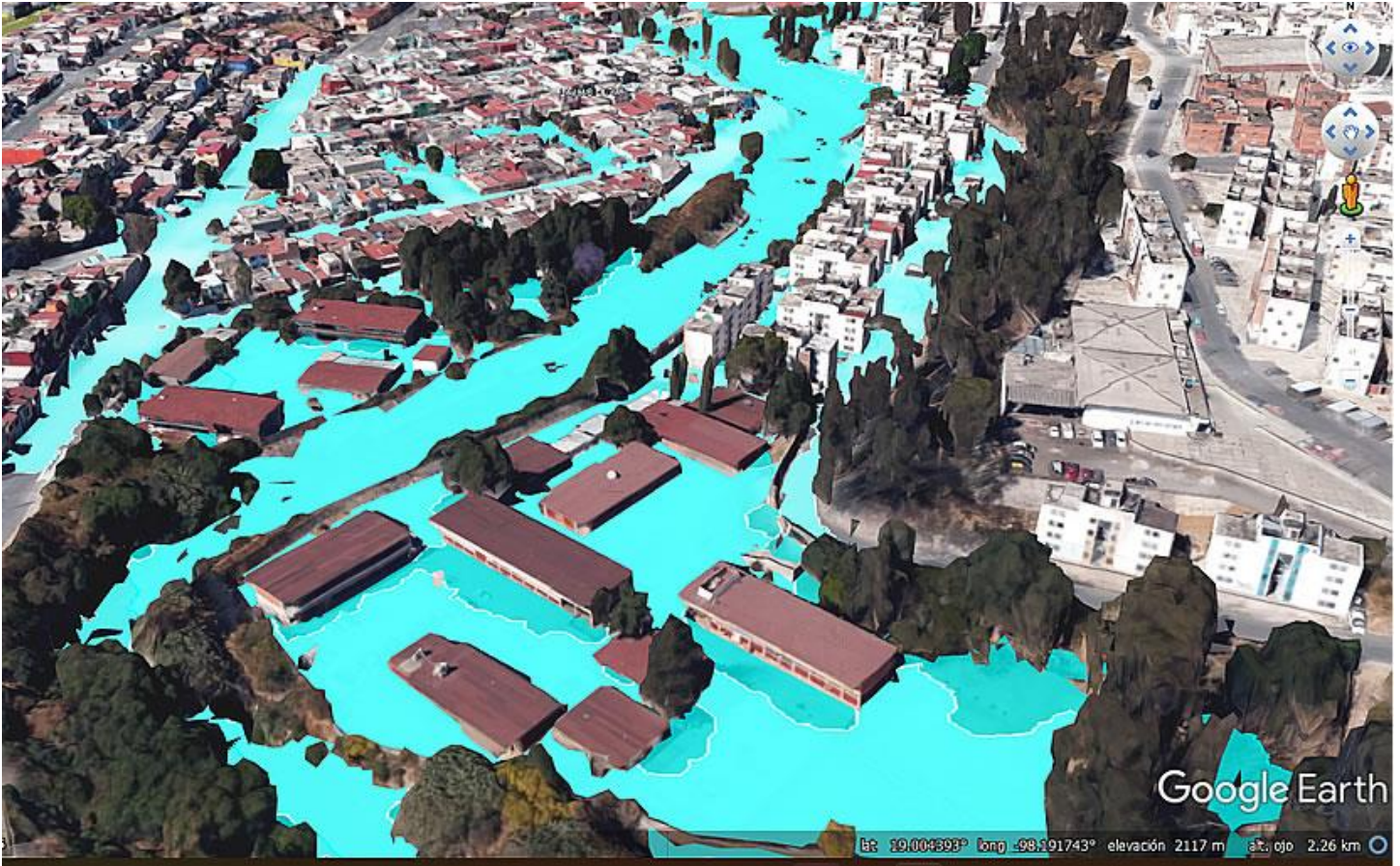
Fuente: Elaboración propia



Para visualizar los resultados obtenidos se pueden exportar las capas de inundación obtenidas en formato KML, de forma que es posible abrirlas dentro de la plataforma Google Earth, y puesto que en el sector de estudio las construcciones están representadas en una simulación de 3D, se pueden visualizar los posibles alcances de la inundación dentro del paisaje 3D generado en Google Earth. (Ver imagen 40)



Imagen 40. Visualización en Google Earth de la inundación más extensa.



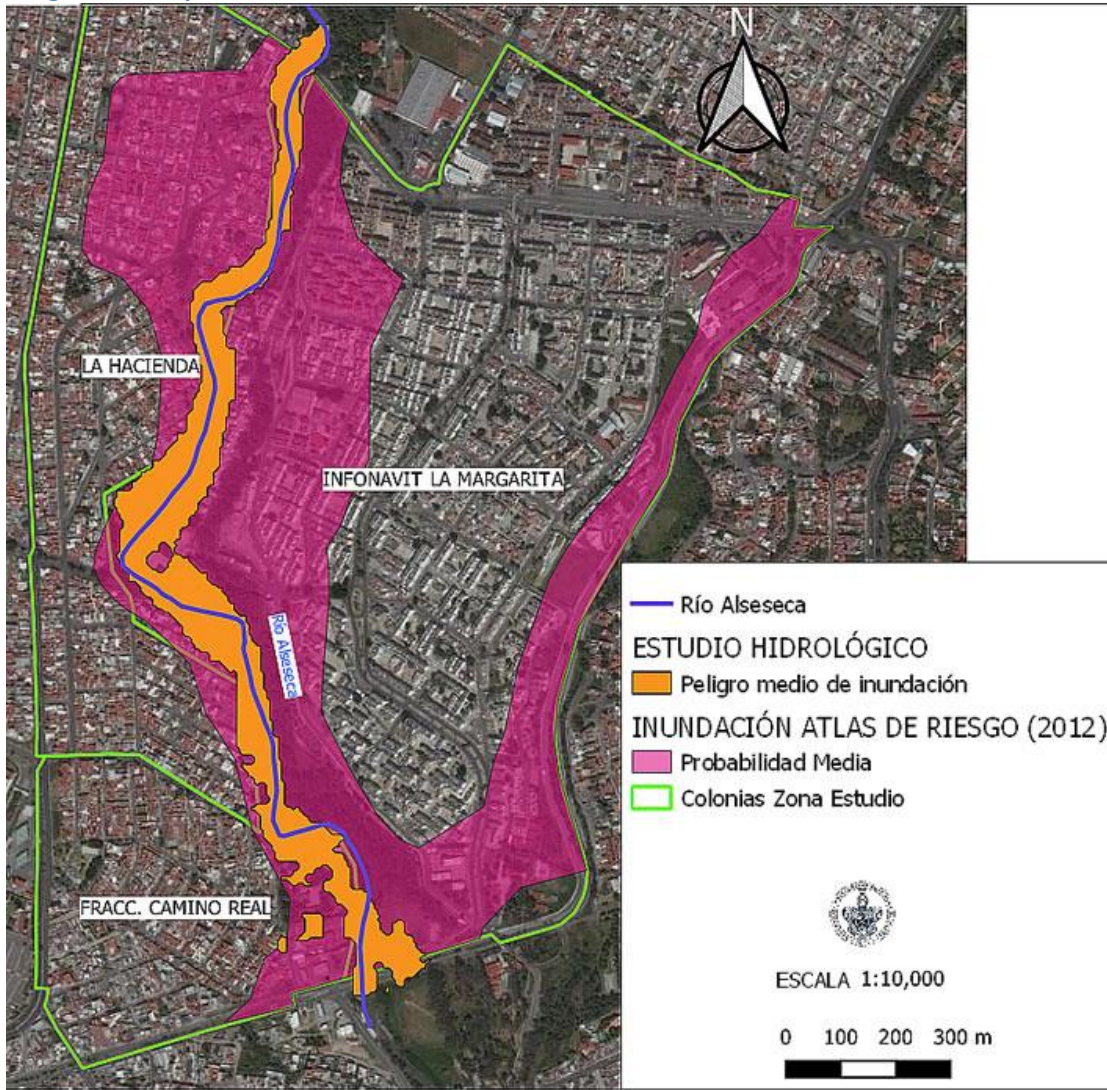
Fuente: Elaboración propia en la plataforma Google Earth.



Usando el software QGIS se realizó una superposición de capas para comparar los polígonos de la capa de inundación más amplia obtenida del Atlas de Riesgos Naturales publicado por el CENAPRED con la capa obtenida en el estudio para la inundación de mayor extensión junto con la capa que representa al río, una capa de polígonos que representan los asentamientos urbanos del sector y una ortofoto del sector Hacienda-Margarita. Esta comparación evidencia que la capa oficial es muy general y amplia, abarca zonas en las que no se tiene registro histórico de inundación y se extiende en una gran extensión en donde no transcurre ningún río que podría crear una inundación fluvial. La capa que se obtuvo como resultado del estudio es más específica espacialmente, muestra con más detalle hasta dónde podría llegar el agua en una inundación extrema y abarca menos construcciones, vialidades y habitantes en riesgo que la capa oficial (Ver Imagen 41 y la Tabla 7)



Imagen 41. Comparación de estudio realizado con el estudio oficial



Fuente: Elaboración propia



TABLA 7. Comparación entre los resultados del Estudio y el Estudio oficial.

	ATLAS DE RIESGOS	ANÁLISIS ESPACIAL
Construcciones (Total 15,500)	3,219 (21% del total)	775 (5%)
Vialidades (Total 1,464)	498 (34%)	54(4%)
Habitantes (Total 27,837)	10,300 (37%)	2,361 (8.5%)
Equipamientos	8	4

Fuente: Elaboración propia

Realizando una intersección de capas entre la capa calculada de inundación con mayor extensión y la capa de manzanas del sector que incluye información acerca de los habitantes de cada manzana afectada, se puede comparar la cantidad de habitantes afectados en los dos asentamientos urbanos. Los habitantes afectados en la colonia La Hacienda son 1908, lo cual es casi el doble que el número de habitantes en la Unidad Habitacional La Margarita (Ver Tabla 8. Ver imagen 42).

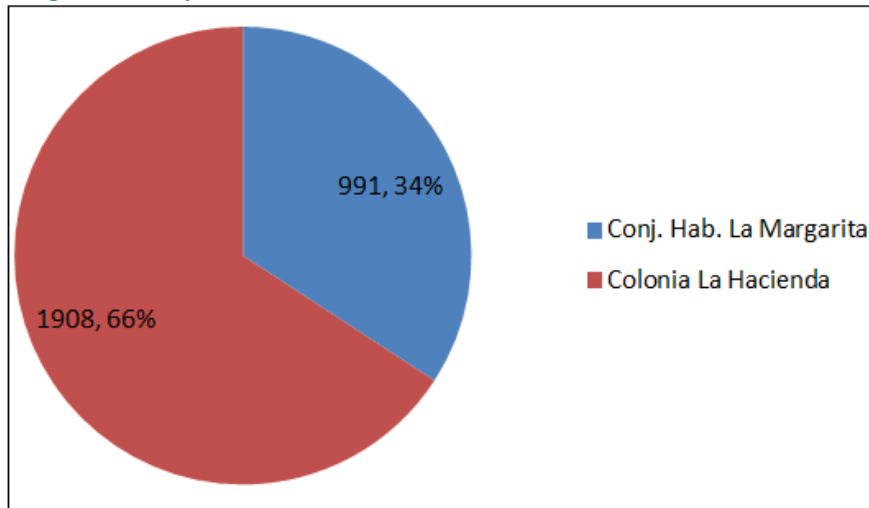


TABLA 8. Comparación entre el número de habitantes afectados.

Asentamiento urbano	Habitantes afectados
Conj. Habitacional La Margarita	991
Colonia La Hacienda	1908

Fuente: Elaboración propia

Imagen 42. Comparación de los habitantes afectados.



Fuente: Elaboración propia



La información detallada a nivel de asentamientos urbanos que provee el estudio podría ayudar a definir estrategias más específicas y dar base para tomar decisiones orientadas al enfoque de la prevención y mitigación del riesgo.

Derivado de las entrevistas informales se identificó que los habitantes han sufrido inundaciones en sus viviendas, de las consecuencias que habían sufrido y de la duración de la inundación y la altura del agua. (Comunicación personal, 2021). Con las diferentes respuestas, se atestiguó que las personas que viven en las zonas más inundables tienen una sensación de inseguridad y poco apoyo con relación al **peligro** bajo el que se encuentran. No niegan que reciben apoyo cuando han sucedido las inundaciones, pero consideran que no hay suficiente información para estar más prevenidos cuando la inundación era inminente, y sienten en general que la llegada de la ayuda por parte de las instancias de apoyo es muy lenta. Han sufrido grandes pérdidas en sus pertenencias y viven bajo el miedo de que se repitan las inundaciones cada vez que ven que llueve intensamente.



CONCLUSIONES

Partiendo del planteamiento de que el riesgo es el resultado de que haya construcciones e individuos que pueden sufrir los daños causados, y para que exista este riesgo debe de haber actividades humanas involucradas, se plantea que el estudio debe estar enfocado sistémicamente en la construcción social del riesgo propuesto por Beck (Beck, 1998), y los procesos de urbanización que inciden en la generación de este riesgo, junto con una evaluación de la vulnerabilidad diferenciada que existe en las zonas bajo riesgo, propuesto por Mario Lungo, (Lungo, 2001).

Los hechos encontrados a lo largo del estudio muestran cómo es que la sociedad participa en múltiples formas para construir el riesgo, y cómo esto impacta en la vulnerabilidad diferenciada por elementos físicos como las áreas con distinto riesgo por la topografía del terreno y la altitud y por elementos sociales como la población vulnerable por su edad. De esto último hay que hacer un énfasis en que cada uno de los individuos que estén presentes en la misma zona que puede tener el mismo nivel de peligro, pueden tener una vulnerabilidad muy diferente dependiendo de diferentes factores.

Es importante hacer notar que estos resultados muestran las zonas que tienen un mayor peligro de inundación, junto con las viviendas que serían afectadas. A pesar del peligro existente, en la zona se siguen construyendo y comercializando las casas, la zona sigue estando densamente habitada, y al vender o rentar las casas, en la mayoría de los casos no se les informa a los posibles compradores acerca del peligro bajo el que está la propiedad, para mantener el valor de venta alto. Esta es una situación que se debería de remediar publicando la información sobre las zonas inundables de una forma accesible fácilmente al público en general para que los posibles compradores se puedan informar antes de adquirir una vivienda en las zonas que están bajo peligro y para evitar que se sigan comercializando sin advertencias las propiedades en las zonas inundables.

Se pudo comprobar que la orientación de las instancias involucradas sigue siendo la atención a los desastres cuando ya ocurrieron, por lo tanto se propone un cambio de enfoque a la prevención y a la resiliencia tal como se plantea en la Agenda 20-30 y en el Marco de Sendai. Se utilizaron las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica abiertos, primero analizando los estudios oficiales de riesgo de inundación en la el sector Hacienda-Margarita, y después realizando estudios propios que pudieron ser comparados con los resultados oficiales. De ésta comparación fue patente que los estudios oficiales son muy generales, en la mayoría de los casos no es posible saber qué metodología siguieron para obtener sus resultados y el mayor detalle al que se llega a ellos es el de manzana en el caso de las zonas afectadas por inundaciones, por lo tanto aún son mejorables en precisión para que sean instrumentos de apoyo a la toma de decisiones con



respecto a la planeación, la prevención de riesgos y a la correcta organización de las acciones de respuesta en situaciones de emergencia.

En cuanto a la política del riesgo, se encontró que los estudios de riesgo realizados están mejorando en cuanto a la extensión espacial de los alcances de las posibles inundaciones, pero no abarcan un estudio de la vulnerabilidad de la población involucrada por las inundaciones que provean bases para la prevención y los instrumentos vinculantes provenientes del gobierno federal no son lo suficientemente específicos para que las instituciones involucradas estén obligadas a realizar un mayor trabajo para mejorar este panorama. Con respecto a las políticas de gobierno, Ramírez menciona que “los mecanismos de gestión para la reducción del riesgo de inundación son insuficientes y deficientes y han sido rebasados por el crecimiento ilegal en zonas inundables, superando la capacidad de gestión de las autoridades, quienes se centran en las situaciones de emergencia” (Ramírez Flores & Flores Lucero, 2017).

Los estudios de inundación estatales llegan a la escala mínima de municipio, y los estudios municipales, aunque están mejorando en su detalle, no pasan de la escala mínima de manzana en las áreas habitadas bajo riesgo, por lo cual dificulta consultar o conocer los alcances de las posibles inundaciones al nivel de vivienda, lo cual es de suma importancia para que los habitantes puedan identificar si su casa se encuentra en una zona de riesgo, o para que las instituciones puedan planear las actividades de prevención y respuesta.

Se impone la necesidad de que la información concerniente a riesgos esté disponible por medios confiables, actualizados y accesibles a través de diferentes formatos. Se considera en este estudio, que la información digital es una de las más accesibles ya que genera bajos costos de publicación, se puede actualizar de manera frecuente y puede llegar a una cantidad masiva de gente. En esta era digital es una forma fácil de consultar la información publicada, ya que las personas cada vez están más familiarizadas con la tecnología de la información y las comunicaciones, para lo cual es muy útil que haya Sistemas de Información Geográfica publicados en la red que muestran mapas interactivos en los que el usuario puede visualizar diferentes escalas territoriales en altos niveles de detalle, sin embargo, esto requiere el levantamiento y actualización de datos principalmente en escalas urbanas, así como la inversión dedicada a construir plataformas y profesionalizar al talento humano para su desarrollo y aplicación.

Se recomienda un uso más amplio de la tecnología SIG mediante el software de uso libre para la generación de datos específicos y además que se capacite al personal para poder utilizar esas tecnologías, y la participación de las universidades y los órganos colegiados es fundamental para la profesionalización de los actores que toman decisiones con respecto a riesgos y respuesta a los desastres.



En el caso de estudio, se pudo constatar que las obras construidas no son suficientes para mitigar el riesgo de inundación y la vulnerabilidad de los pobladores, ni para aumentar la resiliencia del sector expuesto a las inundaciones. Los muros que existen a la fecha contruidos de una sola capa de ladrillos no son una defensa lo suficientemente sólida contra los desechos que puede transportar el agua en una crecida grande, y los lugares en donde solo existe malla de alambre no constituyen una barrera contra el agua. Deberían de ser reemplazados por muros más sólidos para lo cual sería más conveniente que fueran de mampostería, con cimientos muy sólidos y que rodeen completamente a las áreas inundables, porque actualmente no son continuos.



REFERENCIAS

(CUPREDER), C. U. (2021). (E. J. Blancas, Entrevistador)

(IMPLAN), I. M. (2022). (E. J. Blancas, Entrevistador)

Alfie Cohen, M. (2007). Una nueva gestión ambiental El riesgo y el principio precautorio. *Espacio Abierto Cuaderno Venezolano de Sociología*, 7.

Ángulo 7. (2019). *En 3 días, lluvias dejan 6 muertos, inundaciones y desbordamiento en Puebla*. Obtenido de <https://www.angulo7.com.mx/2019/07/14/en-3-dias-lluvias-dejan-6-muertos-inundaciones-y-desbordamiento-en-puebla/>

Ayuntamiento del Municipio de Puebla. (s.f.). *Puebla Capital*. Obtenido de <https://pueblacapital.gob.mx/iii-funciones-objetivos-y-actividades-relevantes/funciones-objetivos-y-actividades-relevantes/462-instituto-municipal-de-planeacion>

Beck, U. (1998). *La Sociedad del Riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Paidós.

Buzai, G. e. (11/2015). Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Anuario de la División Geografía*, 5.

Buzai, G., Baxendale, C., Cacace, G., Humacata, L., Caloni, N., & Cruz, M. (2012). Geografía y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la escuela secundaria. Reflexiones y propuestas para el trabajo en las aulas de la República Argentina. *Revista Geográfica* 152, 21.

Campos, A., & Alvarado, S. (2021). *Suelos ribereños y su importancia para el bien común*. Obtenido de Instituto de Ecología - INECOL: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-1/redes-tematicas/17-ciencia-hoy/1300-suelos-riberenos-y-su-importancia-para-el-bien-comun>

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2019). *Fascículo Inundaciones*.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (s.f.). *Atlas Nacional de Riesgos - Puebla*. Recuperado el Mayo de 2021, de http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/AtlasEstatales/?&NOM_ENT=Puebla&CVE_ENT=21

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (s.f.). *Atlas Nacional de Riesgos Visor Puebla*. Recuperado el Mayo de 2021, de <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/app/Estados/VisorPuebla/>

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (s.f.). *Atlas Nacional de Riesgos-Puebla*. Recuperado el Mayo de 2021, de http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/AtlasEstatales/?&NOM_ENT=Puebla&CVE_ENT=21

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (s.f.). *Centro Nacional de Prevención de Desastres*. Recuperado el Mayo de 2021, de <https://www.gob.mx/cenapred>



- Comunicación personal. (2021). (E. J. Blancas, Entrevistador)
- Coordinación General de Protección Civil. (2020). *Plan Operativo ante Emergencias Hidrometeorológicas* .
- Diario Cambio. (2018). *¡No es Venecia, es el CENHCH! Tras #MegaAguacero la gente terminó en el techo de los autos*. Obtenido de <https://www.diariocambio.com.mx/2018/secciones/metropolis/item/30452-no-es-venecia-es-el-cenhch-tras-aguacero-la-gente-termino-en-el-techo-de-los-autos-fotos-y-video>
- Diario Contrarréplica. (2020). *Empresas, generadoras de contaminación del Atoyac*. Obtenido de <https://puebla.contrareplica.mx/nota-Empresas-generadoras-de-contaminacion-del-Atoyac20207644>
- Durán, G., & Narváez, Iván. (2020). Espacio urbano periférico y la construcción social del riesgo en ciudades intermedias. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 4.
- EIRD/ONU. (2004). *Vivir con el Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Switzerland, Geneva.
- El Sol de Puebla. (2018). *Se desborda el Atoyac a la altura de la 11 sur*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/se-desborda-el-atoyac-a-la-altura-de-la-11-sur-puebla-clima-lluvia-rio-1992043.html>
- El Sol de Puebla. (2019). *Se desborda el río Alseseca e inunda varias viviendas*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/se-desborda-el-rio-alseseca-e-inunda-varias-viviendas-3893464.html>
- G. Buzai, C. B. (2012). Geografía y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la escuela secundaria. Reflexiones y propuestas para el trabajo en las aulas de la República Argentina. *Revista Geográfica*, 63-92.
- Gellert de Pinto, G. I. (2012). El cambio de paradigma: de la atención de desastres a la gestión del riesgo. *Boletín Científico Sapiens Research*, 2(1).
- Gobierno Federal. (05 de 2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013
- Gobierno Federal. (04 de 2014). *Programa Nacional de Protección Civil 2014-2019*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343076&fecha=30/04/2014
- Gobierno de la República. (2016). *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. CDMX.
- Gobierno del Estado de Puebla. (2017). *Código reglamentario para el municipio de Puebla(COREMUN)*.
- Gobierno del Estado de Puebla. (2017). *Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Puebla*.
- Gobierno del Estado de Puebla. (2021). *Ley de Desarrollo Urbano Sustentable del Estado de Puebla*. Recuperado el 2022, de Congreso Puebla:



https://www.congresopuebla.gob.mx/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=12924&Itemid=

Gobierno del Municipio de Puebla. (2012). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla*. Puebla, Puebla.

Google. (2021). *Google Earth Engine*. Obtenido de <https://developers.google.com/earth-engine>

Google. (2021). *Google my Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps/d/u/0/home>

Google. (s.f.). *Google Forms*. Obtenido de <https://docs.google.com/forms/d/1nYhwlbw2tG6nyGw58OL1CS1Gt7PvHyDCTOr16JfYX6l/edit?hl=ES>

Google Maps. (2021). Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps>

Handal-Silva, A., Pérez Castresana, G., Morán Perales, J. L., & García Suastegui, W. (2017). Historia de la contaminación hídrica del Alto Balsas. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*, 3(9), 3,4.

INEGI. (2010). *Cartografía Geoestadística Urbana*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?t=0710000000000000&tg=3604>

INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). (s.f.). *INDICADORES ODS*. Recuperado el 2022, de <https://implan.pueblacapital.gob.mx/indicadores-ods/itemlist/category/34-resultados>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2022). *Mapas - INEGI*. Recuperado el 2022, de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). *Red hidrográfica. Escala 1:50 000. Edición 2.0. Subcuenca hidrográfica RH18Aj R. Alceseca. Cuenca R. Atoyac. RH Balsas*. CDMX, México.

Jafarzaghan, K., & Merwade, V. (2017). A DEM-based approach for large-scale floodplain mapping in ungauged watersheds. *Journal of Hydrology*, 550, 13.

La Jornada de Oriente. (2020). *Se desborda río Alseseca: causa inundaciones y pérdidas materiales en ocho colonias de Puebla y Amozoc*. Obtenido de <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/alseseca-inundacion/>

La Jornada de Oriente. (2021). *Denuncian vecinos de Geo Villas Las Garzas II constantes inundaciones con heces fecales; Concesiones Integrales no les ha respondido*. Obtenido de <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/vecinos-heces-fecales-concesiones-integrales/>

Lavell, A. (2020). *El COVID-19: Relaciones con el riesgo de desastres, su concepto y gestión*.

Lungo, M. (2001). Expansión de las ciudades en Centroamérica y generación de riesgos urbanos. *Revista Realidad*, 9.

Maskrey, A. (1998). *NAVEGANDO ENTRE BRUMAS*. La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al análisis de riesgo en América Latina. *La Red*.



- Milenio Diario. (2021). *Se desborda el río Atoyac por lluvias intensas*. Obtenido de <https://www.milenio.com/politica/comunidad/lluvias-puebla-provocan-desbordamiento-rio-atoyac>
- Molina, J. (2019). *CRECTEALC*. Obtenido de <https://www.inaoep.mx/~crectalc-org/USGS.html>
- Moya Quiroga, V., Kure, S., & Udo, K. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Revista Iberoamericana del Agua* 3.
- Naciones Unidas. (2015). Agenda 20-30.
- Naciones Unidas. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Sendai, Japón.
- Oliveras, J. (Febrero de 2016). *HidroJING*. Obtenido de *Cómo seleccionar el coeficiente de rugosidad de Manning en cauces naturales*.
- O'Sullivan, D., & Unwin, D. (2010). *Geographic Information Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Puebla, Gobierno del Municipio de. (2017). *Código Reglamentario del Municipio de Puebla (COREMUN)*. Puebla.
- Ramírez Flores, J. M., & Flores Lucero, M. (2017). *Gestión para la Reducción del Riesgo de Inundación en el Municipio de Puebla*. (R. i. BUAP, Ed.) Puebla, Puebla, México.
- Red de América. (s.f.). *Red de América*. Obtenido de <https://www.redeamerica.org/>
- Salgado Montes, S. S., Flores Lucero, M., & Guevara Romero, M. L. (2020). *Empoderamiento ciudadano para mitigar el riesgo de inundación. Caso: Colonia La Hacienda, Puebla*. (R. i. BUAP, Ed.) Puebla, México.
- Salgado, S., Flores, M., & Guevara, M. (2016). Gestión participativa para mejorar las condiciones de accesibilidad urbana La Hacienda, Puebla. *Revista Electrónica Nova Scientia*.
- Sánchez, O. (2018). *Incertidumbre territorial en el proceso de desastre de inundación en zona Diamante*.
- Schubert, J. E., & Sanders, B. F. (2012). Building treatments for urban flood inundation models and implications for predictive skill and modeling efficiency. *ELSEVIER*.
- Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos. (s.f.). *Atlas Puebla*. Recuperado el 2022, de http://solucionessig.com.mx/ATLAS_PUEBLA/
- SEDESOL. (2012). *Atlas de Riesgos Naturales Municipio de Puebla*. Puebla: SEDESOL.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). (2021). Obtenido de <https://www.usgs.gov/>
- Silverio, J. (2021). *La Movilidad en Asentamientos Irregulares, un asunto relegado. El Caso de la Colonia Cuitláhuac, Municipio de Puebla*.
- Solís Montero, J., & Solís Gomez, C. (2012). *Iniciativa Reserva Urbana en Áreas de Inundación*. Acapulco.



Urteaga, E., & Eizaguirre, A. (2013). La construcción social del riesgo. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*(25), 170.

