

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias Marinas
Especialidad en Gestión Ambiental



“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PRESENTE EN UNA
SECCIÓN DEL ARROYO EL AGUAJITO, ENSENADA BAJA
CALIFORNIA”

TRABAJO TERMINAL

Que para obtener el Diploma de
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presenta
CAROLINA FERMAN CARRAL

Director de tesina
DR. ALEJANDRO GARCÍA GASTELUM

Ensenada B.C., a 28 de Enero del 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PRESENTE EN UNA SECCIÓN DEL
ARROYO EL AGUAJITO, ENSENADA BAJA CALIFORNIA"

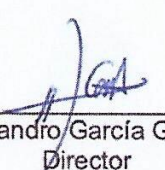
TESINA

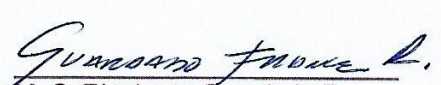
QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN GESTION AMBIENTAL

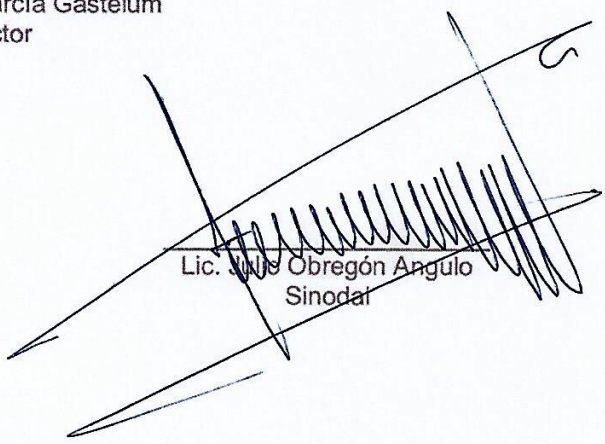
PRESENTA:

CAROLINA FERMAN CARRAL

APROBADA POR:


Dr. Alejandro García Gastélum
Director


M. C. Rigoberto Guardado France
Sinodal


Lic. Julio Obregón Angulo
Sinodal

RESUMEN

“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PRESENTE EN UNA SECCIÓN DEL ARROYO EL AGUAJITO, ENSENADA BAJA CALIFORNIA”

Los desastres son un problema a escala global y una seria amenaza al desarrollo sostenible. Esta situación ha llevado a la necesidad de estudiar, manejar e intentar hacer frente a estos eventos a escala global, nacional y local. En este trabajo se llevó a cabo una evaluación de la vulnerabilidad de un tramo del arroyo “El Aguajito” en la ciudad de Ensenada, el cual ha sido afectado previamente por eventos de inundación. Para lograrlo se siguió la metodología propuesta por CENAPRED en 2011. Se llevó a cabo una modelación hidrológica utilizando el modelo Hec-Ras, obteniendo como resultado escenarios de inundación ante eventos con periodos de retorno de 2, 5, 50 y 100 años. Posteriormente se delimitaron las manzanas afectadas y con base en la información proporcionada por el censo de población 2010 de INEGI, se calculó el índice de vulnerabilidad para cada una de las manzanas expuestas a los eventos de inundación. Los escenarios de inundación mostraron profundidades de hasta 4m de profundidad dentro del cauce del arroyo y de hasta 2 m. Como resultado de la evaluación de la vulnerabilidad presente se encontró que en su mayoría (3453 habitantes) el área presenta una condición de vulnerabilidad media. Este trabajo tiene la finalidad de ser una base para la toma de decisiones y el manejo de riesgo por inundación.

Palabras clave: Vulnerabilidad, Inundación, Ensenada, manejo de riesgo, modelación.

Destacados:

- La zona presenta una exposición ante fenómenos de inundación.
- En su mayoría la zona presenta una condición de vulnerabilidad media.
- Los estudios de vulnerabilidad son clave para un manejo de riesgo adecuado.

Objeto de estudio: Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos.

Extensión geográfica: Centro poblacional de Ensenada, Baja California

DEDICATORIA

A mi Papá, José Luis Ferman (†), por enseñarme la importancia de las Ciencias Ambientales y porque este es solo un paso más para lograr todas esas metas en las que soñamos juntos.

A mi Mamá, Josefina Carral, por su cariño, fortaleza y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alejandro García Gastélum por su apoyo y confianza durante todo el proceso.

Al M. C. Rigoberto Guardado France por su apoyo y sembrar en mí el interés por los fenómenos naturales.

A la Coordinación de Protección Civil Ensenada por su apoyo y disposición para trabajar en conjunto.

Al grupo académico de la especialidad en Gestión Ambiental por todos los conocimientos que compartieron con nosotros.

A mis compañeros de Generación por la ayuda, resolución de dudas y por esas sesiones de grupo de apoyo en el irish para platicar de todo un poco.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Autónoma de Baja California, por el apoyo otorgado y brindarme la oportunidad de continuar mi preparación académica.

A mi familia por su apoyo incondicional y motivación constante.

INDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 ANTECEDENTES	9
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2 MARCO CONCEPTUAL	16
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.	16
2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA.	16
2.3 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.	16
2.4 INUNDACIÓN PLUVIAL.....	16
2.5 DESASTRE CAUSADO POR FENÓMENOS NATURALES.....	17
2.6 VULNERABILIDAD.....	17
2.7 VULNERABILIDAD FÍSICA.	17
2.8 ZONA DE RIESGO.	18
2.9 DECLARATORIA DE EMERGENCIA.	18
3 OBJETIVO	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4 JUSTIFICACIÓN	20
5 ÁREA DE ESTUDIO	22
5.1 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS.....	23
5.2 PRECIPITACIÓN.	24
6 MÉTODOS	25
6.1 MODELACIÓN CON HEC-RAS.	26
6.2 CATEGORIZACIÓN DE ZONA IMPACTADA.	27
6.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	27
7 RESULTADOS.....	29
7.1 MODELACIÓN CON HEC-RAS.	29
7.2 CATEGORIZACIÓN DE LA ZONA IMPACTADA.....	33
7.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	34
8 DISCUSIÓN	36
9 CONCLUSIONES.....	39
9.1 MODELACIÓN CON HEC-RAS	39
9.2 CATEGORIZACIÓN DE LA ZONA IMPACTADA.	39
9.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.	40
10. BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXO METODOLÓGICO.....	44
MODELO DE INUNDACIÓN.	44
CATEGORIZACIÓN DE ZONA IMPACTADA.	46
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.	47
ANEXO CARTOGRÁFICO	52

INDICE DE TABLAS

TABLA I. POBLACIÓN EN RIESGO.	35
TABLA II VALORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL GASTO. FUENTE: ALONSO, 2013	44
TABLA III VALORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA EN CADA PERIODO DE RETORNO. FUENTE: CENAPRED, 2006	44
TABLA IV COEFICIENTES DE RUGOSIDAD UTILIZADOS	46
TABLA V GASTOS UTILIZADOS PARA CADA PERIODO DE RETORNO ANALIZADO EN LA SIMULACIÓN.	46
TABLA VI. CÁLCULO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	48
TABLA VII. CONTINUACIÓN DEL CÁLCULO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	49
TABLA VIII. CONTINUACIÓN DEL CÁLCULO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	50
TABLA IX CONDICIONES DE VULNERABILIDAD SEGÚN LOS VALORES OBTENIDOS DEL ÍNDICE	51

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FOTOGRAFÍAS DEL SITIO. FUENTE: PROPIA	11
FIGURA 2. USO DE LLANTAS PARA DELIMITAR Y CANALIZAR EL ARROYO. FUENTE: PROPIA.....	12
FIGURA 3. SE PUEDE OBSERVAR EL ESTADO ACTUAL DEL ARROYO CON LLANTAS, BASURA Y VEGETACIÓN DENTRO DEL CAUCE. FUENTE: PROPIA.....	12
FIGURA 4. A LO LARGO DEL ARROYO SE PUEDEN ENCONTRAR ALGUNOS PUENTES. FUENTE: PROPIA.....	13
FIGURA 5. SE OBSERVA UN CRUCE DE AUTOMÓVILES Y BASURA DENTRO DEL CAUCE DEL ARROYO. FUENTE: PROPIA	13
FIGURA 6. ZONA DONDE EL ARROYO SE ENCUENTRA CANALIZADO. FUENTE: PROPIA.....	14
FIGURA 7. ASENTAMIENTO IRREGULAR PRESENTE DENTRO DEL CAUCE DEL ARROYO. FUENTE: PROPIA.....	14
FIGURA 8. BASURA Y LLANTAS DENTRO DEL CAUCE DEL ARROYO.	15
FIGURA 9. ÁREA DE ESTUDIO, EN AZUL SE MARCA EL TRAMO DEL ARROYO QUE SE ANALIZARÁ.	22
FIGURA 10. CLASIFICACIÓN HIDROGRÁFICA INEGI 1:250 000 Y 1:50 000. FUENTE: ALONSO (2013).....	23
FIGURA 11. PRECIPITACIÓN ANUAL (MM) REGISTRADA DURANTE 1976 A 2008 EN CUATRO ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL MUNICIPIO DE ENSENADA, B.C. EL CIPRÉS, PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA, SAN CARLOS Y MANEADERO. FUENTE: DÍAZ (2014).	24
FIGURA 12. PROCESO PARA LOGRAR LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL ARROYO "EL AGUAJITO" ANTE EL RIESGO DE INUNDACIÓN.	25
FIGURA 13. DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE INUNDACIÓN.	26
FIGURA 14. DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS POSIBLES ZONAS INUNDABLES ANTE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS.....	27
FIGURA 15. DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS POSIBLES MANZANAS IMPACTADAS.	28
FIGURA 16. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ARROYO "EL AGUAJITO" ANTE UN ESCENARIO DE INUNDACIÓN CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS.	30
FIGURA 17. ESCENARIOS DE INUNDACIÓN PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 2 Y 5 AÑOS.	31
FIGURA 18. ESCENARIOS DE INUNDACIÓN PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 50 Y 100 AÑOS.	32
FIGURA 19. MANZANAS IMPACTADAS ANTE LOS ESCENARIOS DE INUNDACIÓN PROPUESTOS, EN ESTE CASO SE MUESTRA EL ESCENARIO DEL PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	33
FIGURA 20. VULNERABILIDAD PRESENTE EN EL ARROYO "EL AGUAJITO" ANTE EL RIESGO DE INUNDACIÓN.	34
FIGURA 22. DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA PREPARACIÓN DEL MODELO.....	45

1 INTRODUCCIÓN

La interacción entre el hombre y la naturaleza ha percibido constantes cambios a lo largo de la historia, uno de los resultados de esta interacción son los desastres ocasionados por fenómenos naturales. Los desastres son un problema a escala global y una seria amenaza al desarrollo sostenible; generan diversos impactos como: pérdidas de vidas, enfermedades, destrucción de infraestructura y propiedades, problemas sociales y económicos (Twigg, 2015). Esta situación ha llevado a la necesidad de estudiar, manejar e intentar hacer frente a estos eventos a escala global, nacional y local.

The International Disaster Database (EM-DAT), registro durante los últimos 20 años, un total de 7,348 desastres en el mundo, afectando a un total de 4 billones de personas. Las inundaciones son el desastre que se presenta con mayor frecuencia a nivel mundial, representando el 44% del total de eventos registrados. Anualmente se presenta un aproximado de 163 eventos de inundaciones. Sin embargo, aun cuando los fenómenos hidrológicos particularmente las inundaciones representan la mayoría de los fenómenos que ocurren anualmente, son responsables únicamente del 10% de las muertes (UNDRR, 2020). Es importante recalcar que muchos de los impactos producidos por las inundaciones son prevenibles debido a que existen diferentes mecanismos como presas, diques y sistemas de drenaje que forman una primera línea de prevención.

El agua es uno de los recursos naturales más valioso para la vida humana con numerosos beneficios sociales y económicos; sin embargo, junto con las ventajas asociadas a la relación humano-agua, también existen fenómenos hidrológicos extremos como sequías e inundaciones (Salas & Jiménez, 2019). Teniendo la capacidad de generar impactos como los mencionados anteriormente.

Es importante señalar que los conceptos desastre y fenómeno natural no son lo mismo. El que un evento o fenómeno se considere o no como un riesgo, depende de que el lugar en donde se manifieste se encuentre ocupado o no por una comunidad vulnerable al mismo (Wilches-Chaux, 1993). Conforme crece la población y sus necesidades, la infraestructura aledaña a los cuerpos de agua también ha crecido, de alguna forma, esto ha llevado al desarrollo de las comunidades. Dicha ocupación de las zonas cercanas a los ríos es uno

de los principales factores que acrecienta el impacto producido por inundaciones en el sitio (Salas & Jiménez, 2019).

El costo social o humano de un desastre depende de múltiples factores, incluyendo el tipo de fenómeno, la ubicación, la duración y el grado de vulnerabilidad que presenta la población expuesta. Las estrategias para la reducción de riesgo, así como el tomar decisiones de manera informada no se pueden permitir ignorar los efectos integrados, multiescalares y sinérgicos de los fenómenos naturales (UNDRR, 2020).

Este trabajo se enfoca en la evaluación de la vulnerabilidad presente en una zona urbana de la Ciudad de Ensenada, B.C., aledañas al cauce de un arroyo. Con ello, se busca establecer un primer paso hacia una línea de investigación enfocada al riesgo presente en dicha zona por el fenómeno ya mencionado. Para ello, se utilizó como base, la metodología descrita en la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” (CENAPRED, 2006), para determinar las posibles áreas de inundación, con base en cuatro escenarios de precipitación. Con esta información se logró determinar las zonas que se podrían ver afectadas ante estos escenarios. Para estimar los niveles de vulnerabilidad de dichas zonas se utilizó la metodología del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Playas de Rosarito (SEDATU, 2015).

Se busca, con este trabajo, reforzar la declaratoria de zona de riesgo correspondiente al área de estudio, por parte del departamento de protección civil. Es necesario contar con estos estudios para conocer la situación o al menos intentar entender la situación a la que se podría enfrentar la comunidad estudiada ante un evento de inundación. La información generada en este trabajo no sólo argumenta la presencia de una amenaza de inundación pluvial reforzando la necesidad de declararla zona de riesgo, si no también busca ser una herramienta para mejorar la toma de decisiones y aplicación de medidas adecuadas para prevenir y mitigar los efectos causados por inundaciones.

1.1 Antecedentes

La urbanización mal planificada contribuye a la creciente amenaza de inundaciones, debido al inadecuado cambio en el uso del suelo. El Banco Mundial (Jha et. al., 2012) reconoce que la gran expansión que sufren ciudades y pueblos debido al aumento de su población

resulta en asentamientos no planificados o informales. En muchos casos es la población en situación de pobreza, la que se ve concentra en estas áreas, dentro de las cuales, generalmente carecen de viviendas apropiadas, infraestructura y servicios, aumentando de esta forma, su vulnerabilidad.

Dentro del periodo de 2008-2017 se han registrado 3,751 desastres naturales de los cuales un 84.5% se encuentra relacionado con fenómenos hidrometeorológicos. Aproximadamente 2 billones de personas han sido afectadas por estos eventos, de los cuales el 36.7% se encuentra relacionado a inundaciones (EM-DAT, 2018). La Federación Internacional de la cruz roja (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies et. al., 2018) identifica que gran parte del trabajo que realiza sobre reducción de desastres se encuentra asociados a desastres originados por fenómenos hidrometeorológicos, en particular las inundaciones y tormentas.

Por otro lado, México se encuentra en un territorio cuya situación geográfica es propicia para la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, y a su vez existe un incremento en la escala y la presencia de tales eventos en los últimos años (Escudero et. al., 2012). Una estimación de las víctimas fatales en México a consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos arroja 2,767 personas, lo que representa un promedio cercano a los 140 fallecimientos anuales. La cantidad de daños totales por este tipo de fenómenos, de 1980 a 1999, se estima en 4,537 millones de dólares, lo que en promedio arroja 227 millones de dólares en pérdidas anuales (Salas & Jiménez, 2019). Debido al constante impacto de inundaciones en el territorio nacional se creó la Subdirección de Riesgos por Inundación (SRI) dentro de CENAPRED.

En lo que respecta al estado de Baja California, a raíz de eventos ocurridos durante el invierno de 1992-1993 algunos municipios fueron declarados zonas de desastre por el gobierno federal. Particularmente se vieron fuertemente impactadas las áreas cercanas a los cauces naturales de escurrimiento (Matteotti, 2006). En la ciudad de Ensenada las inundaciones representan el segundo riesgo de mayor impacto, ya sea por vía de inundación costera durante las tormentas invernales o inundación derivada de precipitaciones pluviales (SEDESOL, 2012).

En la ciudad de Ensenada no existen escurrimientos permanentes, sin embargo, cuenta con arroyos y escurrimientos intermitentes. El 19 de enero de 1980 se registró una precipitación de 81.5 mm, la mayor registrada. En 1993 se tiene un registro de una precipitación de 213.5 mm, en un periodo de 12 días (Serrato, 2018).

En estudios previos enfocados al arroyo “El Aguajito” se demostró que el área de la cuenca, con respecto a la longitud del cauce principal y su pendiente, genera la posibilidad de que se presenten avenidas súbitas. Esto aumenta la posibilidad de que se presente un desastre, que afecte las zonas que se encuentran por debajo del nivel de los bordes del arroyo. La presencia de calles que cruzan el arroyo, son zonas que permiten la salida del agua del canal hacia las zonas residenciales (Alonso, 2013).

El Arroyo “El Aguajito” se encuentra invadido y relleno de escombros en algunas zonas, lo que ocasiona múltiples problemas ambientales y sociales. Se ha relleno el arroyo con el objetivo de ganar terreno y realizar diversas construcciones y también han establecido basureros y tiraderos de chatarra como concreto, ladrillos, plásticos, colchones, etc. (Díaz, 2014). A continuación, se muestran algunas fotografías realizadas en el sitio, las cuales muestran la situación actual del arroyo en la zona que se analizará en este estudio.

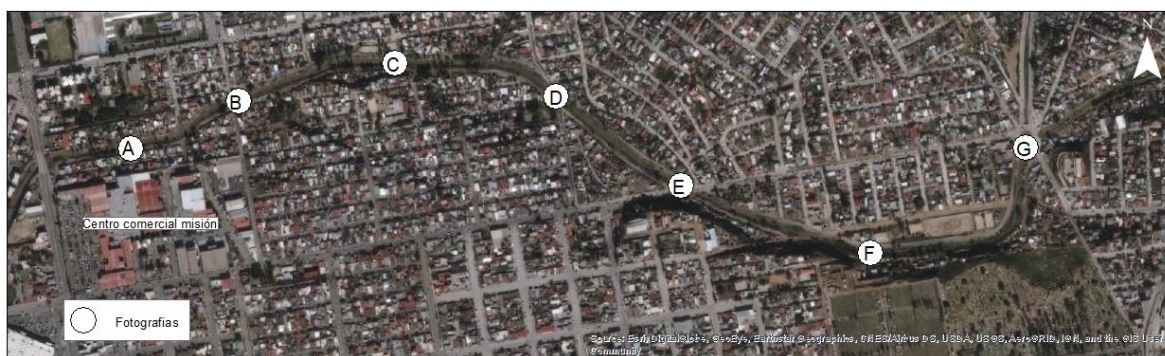


Figura 1. Ubicación Geográfica de las Fotografías del sitio. Fuente: Propia

En la Figura 2 se observa el uso de llantas dentro del arroyo esto funge como una herramienta para canalizar el arroyo y proteger a las casas que se encuentran cercanas al cauce. En esta figura también se logra observar la cercanía de las casas al arroyo.



Figura 2. Uso de llantas para delimitar y canalizar el arroyo. Fuente: Propia



Figura 3. Se puede observar el estado actual del arroyo con llantas, basura y vegetación dentro del cauce. Fuente: Propia



Figura 4. A lo largo del arroyo se pueden encontrar algunos puentes. Fuente: Propia



Figura 5. Se observa un cruce de automóviles y basura dentro del cauce del arroyo. Fuente: Propia

En las Figura 3 a 5 se observan las condiciones en las que se encuentra el arroyo, con basura y vegetación en el cauce. Resalta la presencia de llantas en la mayoría de las fotografías.

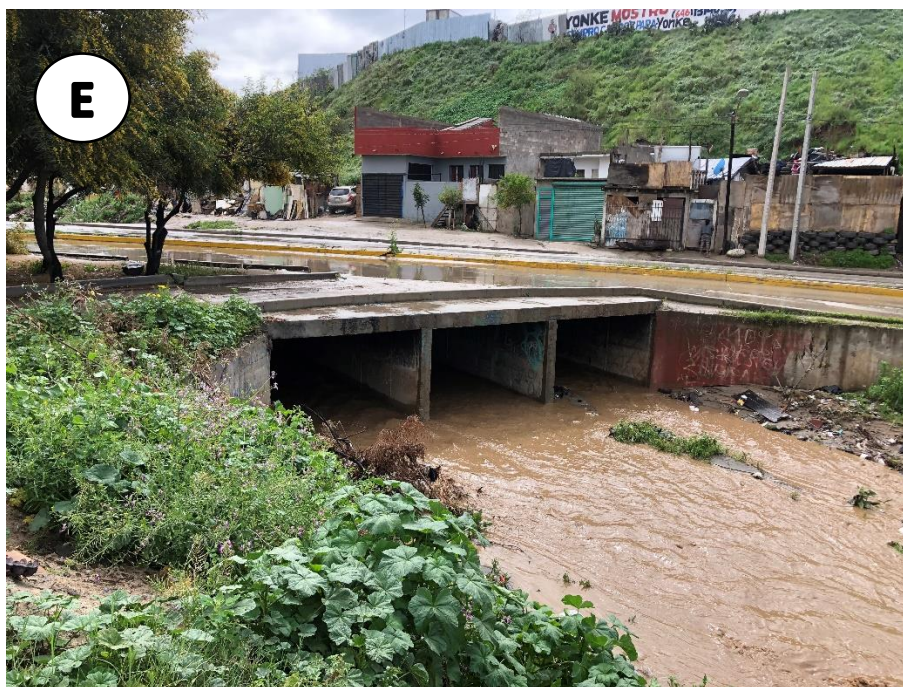


Figura 6. Zona donde el arroyo se encuentra canalizado. Fuente: Propia

La Figura 6 muestra una zona dentro del arroyo que se encuentra canalizada. Si bien este tipo de obras ayudan a contener y direccionar el flujo del arroyo, en la figura se observa el mal estado en el que se encuentra el cauce del arroyo debido a la presencia de basura y vegetación, lo cual puede detener el flujo del agua dentro del cauce.



Figura 7. Asentamiento irregular presente dentro del cauce del arroyo. Fuente: Propia

Como se ha mencionado anteriormente una de las preocupaciones en el área de estudio son los asentamientos irregulares. La Figura 7 muestra el estado de este tipo de asentamientos, por lo general son asentamientos temporales.



Figura 8. Basura y llantas dentro del cauce del arroyo.

La Figura 8 muestra una vez más el estado del arroyo en esta figura resalta la presencia de basura de todo tipo. Cabe mencionar que la presencia de llantas se mantiene igual que en las otras fotografías.

1.2 Planteamiento del problema

La Ciudad de Ensenada es una zona sujeta a diversos riesgos, al extenderse sobre planicies aluviales y en algunas zonas, la urbanización ha logrado apropiarse e interrumpir los cauces naturales de los arroyos, como consecuencia de esta intervención, uno de los principales riesgos a los que se encuentra expuesta la población, son las inundaciones. Dentro de la ciudad atraviesan algunos arroyos como es el caso del arroyo “El Aguajito”, el cual se encuentra rodeado por colonias y como agravante del riesgo dentro de su cauce existen asentamientos irregulares. Debido a esto es necesario conocer el nivel de vulnerabilidad de estas colonias ante las inundaciones pluviales que podrían presentarse. Con esto se busca minimizar a futuro las pérdidas materiales y humanas. Generando esta información se contribuye a un mejor manejo de riesgo por inundación en la Ciudad.

2 MARCO CONCEPTUAL

Con el fin de contextualizar este estudio, se describen a continuación los conceptos asociados:

2.1 Ciclo Hidrológico.

También conocido como ciclo del agua, se entiende como el movimiento general del agua conformado por: La evaporación del agua desde los diferentes cuerpos de agua hacia la atmósfera, seguido de la condensación del vapor de agua y posteriormente la precipitación, en forma de escorrentía que puede ser tanto superficial como subterránea. Finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera, continuando con el ciclo (Escolero et. al., 2006).

2.2 Cuenca Hidrográfica.

Las cuencas hidrográficas son zonas de la superficie terrestre en donde (en caso de ser impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ellas tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Son un territorio cuyas aguas fluyen todas hacia un mismo río, lago o mar (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019). Se encuentran delimitados por un parteaguas, formado por las partes más altas de montañas, de ahí parten los escurrimientos y desembocan en un punto común llamado también punto de salida ya sea lago o mar.

2.3 Fenómenos Hidrometeorológicos.

La Ley General de Protección Civil en su Artículo 2, fracción XXIV define fenómeno hidrometeorológico como un agente perturbador que se genera por la acción de agentes atmosféricos, por ejemplo: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados (*Ley General de Protección Civil*, 2012).

2.4 Inundación Pluvial.

Este fenómeno se genera cuando el agua de una lluvia intensa al precipitarse sobre una superficie plana o cóncava es incapaz de desplazarse por sí misma, provocando que permanezca estancada por horas o días hasta que por infiltración y/o evaporación desaparece el cuerpo de agua (Coordinación Nacional de Protección Civil, 2018). La

dinámica del agua en la superficie de la tierra se relaciona con la presencia de una inundación, por lo que la geomorfología del lugar, la infraestructura y la administración de los mismo recursos hidráulicos y los sistemas sociales se ven involucrados (Díaz, 2014).

2.5 Desastre causado por fenómenos naturales.

Un desastre no es un proceso puramente natural, sino que es un evento natural que ocurre en lugares donde hay actividades humanas. Por lo tanto, es un peligro con origen natural que causa un número inaceptable de muertes o daños a propiedades. En áreas donde no hay intereses humanos, los fenómenos naturales no constituyen amenazas ni tampoco resultan en desastres (OEA, 1991).

2.6 Vulnerabilidad.

La UNISDR define la vulnerabilidad como las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. La vulnerabilidad varía considerablemente dentro de una comunidad y en el transcurso del tiempo (ISDR, 2009). Lampis (2010) define a la vulnerabilidad como una combinación de características de una persona o grupo, expresada en relación a la exposición que se tiene a la amenaza, el grado de vulnerabilidad se deriva de la condición social y económica del individuo o comunidad implicada. Altos niveles de vulnerabilidad implican resultados diferenciados en eventos peligrosos, porque combinan la clase del evento con las características de la población.

2.7 Vulnerabilidad Física.

Aquella dimensión de la vulnerabilidad que se refiere particularmente a la ubicación de los asentamientos humanos con respecto a zonas de riesgo, y a las deficiencias de sus estructuras físicas. Particularmente en zonas con amenaza por inundación la vulnerabilidad física a la inundación, se expresa también en términos de la localización de asentamientos humanos en zonas expuestas al riesgo, es decir la posición de esto con respecto a un cauce o zona inundable (Wilches-Chaux, 1993).

2.8 Zona de Riesgo.

Espacio territorial determinado, en el que existe la probabilidad de que se produzca un daño, originado por un fenómeno perturbador (*Ley General de Protección Civil, 2012*). Se reconoce como zona de Riesgo Grave cuando, los asentamientos humanos se encuentran dentro de una zona de grave riesgo, originado por un posible fenómeno perturbador (*Ley General de Protección Civil, 2012*).

2.9 Declaratoria de emergencia.

Acto mediante el cual la secretaría reconoce que uno o varios municipios o demarcaciones territoriales se encuentran ante la inminencia, alta probabilidad o presencia de una situación anormal generada por un agente natural perturbador y por ello se requiere prestar auxilio inmediato a la población cuya seguridad e integridad está en riesgo (*Ley General de Protección Civil, 2012*).

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo General.

Evaluar la vulnerabilidad de la zona urbana ubicada alrededor de una sección del arroyo El Aguajito en Ensenada, Baja California.

3.2 Objetivos Específicos

- a. Modelar las posibles zonas de inundación con base un modelo hidrológico y distintos periodos de retornos para eventos de lluvia.
- b. Categorizar las viviendas que se encuentran dentro de las zonas propensas a inundación.
- c. Calcular el índice de vulnerabilidad social para las zonas afectadas.

4 JUSTIFICACIÓN

Para lograr un manejo de riesgo adecuado es necesario conocer la exposición de la zona estudiada ante un fenómeno natural, así como la vulnerabilidad de la zona. Contar con esta información ayuda a los tomadores de decisiones a priorizar y también, a conocer cuáles son las acciones más adecuadas para evitar pérdidas materiales y humanas.

Al estudiar la vulnerabilidad de un sitio con respecto a un fenómeno natural es importante delimitar la posible zona impactada, es decir, conocer qué áreas son aquellas que podrían sufrir daños ante un evento como las inundaciones pluviales. Los modelos son una herramienta idónea para llevar a cabo simulaciones de posibles escenarios de lluvia.

Uno de los modelos más aceptados para trabajar en el área de hidrología es HEC-RAS, (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center). Este software cuenta con una interfaz altamente intuitiva y amigable con el usuario, además de ser compatible con programas de sistemas de información geográfica (SIG) como ArcGIS. Utilizar este sistema por lo tanto amplía la gama de herramientas y análisis que se pueden hacer a partir de calcular los escenarios de inundación.

El uso del modelo HEC-RAS para determinar la exposición de una zona ante inundaciones pluviales es señalado en la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos”. Esta metodología fue propuesta por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006). De esta manera, se cumple con la metodología aceptada a nivel nacional, lo cual permite tener datos estandarizados y comparables a lo largo del país.

Dentro de la metodología propuesta por CENAPRED y mencionada anteriormente, la vulnerabilidad es evaluada tomando en cuenta únicamente la vulnerabilidad física. Es importante contar con una evaluación de la vulnerabilidad que tome en cuenta distintos factores, tanto físicos como sociales. Con esto se logra tener una perspectiva que posiblemente se apegue mejor a la realidad. Por esta razón se decidió utilizar la metodología propuesta por el municipio de Playas de Rosarito, en la cual se incluyen aspectos físicos, sociales y económicos, además de mantener un resultado con datos estandarizados que pueden llegar a ser comparables entre sí.

Este trabajo surge de una inquietud de la Coordinación Municipal de Protección Civil del XXIII ayuntamiento de Ensenada, con el fin de reforzar la información que se tiene con respecto a la zona y el riesgo de inundación pluvial. El contar con una evaluación de la vulnerabilidad les permitirá priorizar las zonas que resulten con un valor alto y, por otro lado, los escenarios contribuirán a delimitar las zonas que se encuentran expuestas. Con ayuda de los sistemas de información geográfica, esta información puede ser desplegada en mapas, así como, en Google Earth lo cual le permite al usuario el acceso de manera sencilla. Así mismo podrán generar más estudios o análisis del sitio, utilizando esta información como base.

5 ÁREA DE ESTUDIO

La zona urbana que se evaluó en este trabajo es un tramo del arroyo denominado “El Aguajito”. Dicho arroyo atraviesa la zona central de la ciudad de Ensenada y corre de Este a Oeste en la zona de interés. Los límites del área de estudio corresponden con el tramo del arroyo delimitado al oeste por la calle Reforma y al este por la calle De las Flores (Figura 9), el área abarca una longitud de 2.5 km. En el sitio de interés se encuentran varias colonias y algunos asentamientos irregulares, cabe resaltar que, en algunas secciones del arroyo, se han realizado trabajos de canalización.



Figura 9. Área de Estudio, en azul se marca el tramo del arroyo que se analizará.

El arroyo el Aguajito es una zona que se ha visto afectada en el pasado por inundaciones pluviales que han alcanzado el grado de desastre. Uno de los eventos más graves registrados, fue la inundación del 8 de marzo de 1978, donde las fuertes lluvias afectaron a la comunidad que vive a las orillas del cauce del arroyo. En este evento falló un represo, lo que inundó casas habitación, arruinó escuelas y ocasionó decesos (SEDESOL, 2012). Por esta razón de la mano del departamento de Protección Civil Ensenada, se eligió como zona prioritaria para realizar este estudio.

5.1 Características Hidrográficas

La ciudad de Ensenada se encuentra dentro de la Región Hidrográfica RH01 denominada “Baja California Noroeste” la cual cuenta con una superficie de 28,876.87 km². Esta región se divide en 16 cuencas hidrográficas (SEMARNAT, 2018). La cuenca en la que se encuentra la ciudad de Ensenada se identifica con la clave RH01C “Río Tijuana - Arroyo de Maneadero”, cuanta con una superficie de 7,915.43 km² y un perímetro de 453.64 KM (INEGI, 2013). La subcuenca RH01Cb con el nombre de “Bahía Ensenada” es la que corresponde al área de estudio. Esta subcuenca es del tipo exorreica ya que sus aguas salen del continente y drenan al mar, tiene un perímetro de 203.84 km y una superficie de 756.63 km² (INEGI, 2013). Dentro de la subcuenca RH01Cb existe otra subcuenca con clave CH-33 y denominada “Punta Ensenada” también es del tipo Exorreica con un perímetro de 86.19 km y una superficie de 224.78 km² (INEGI et al., 2007), (Figura 10).

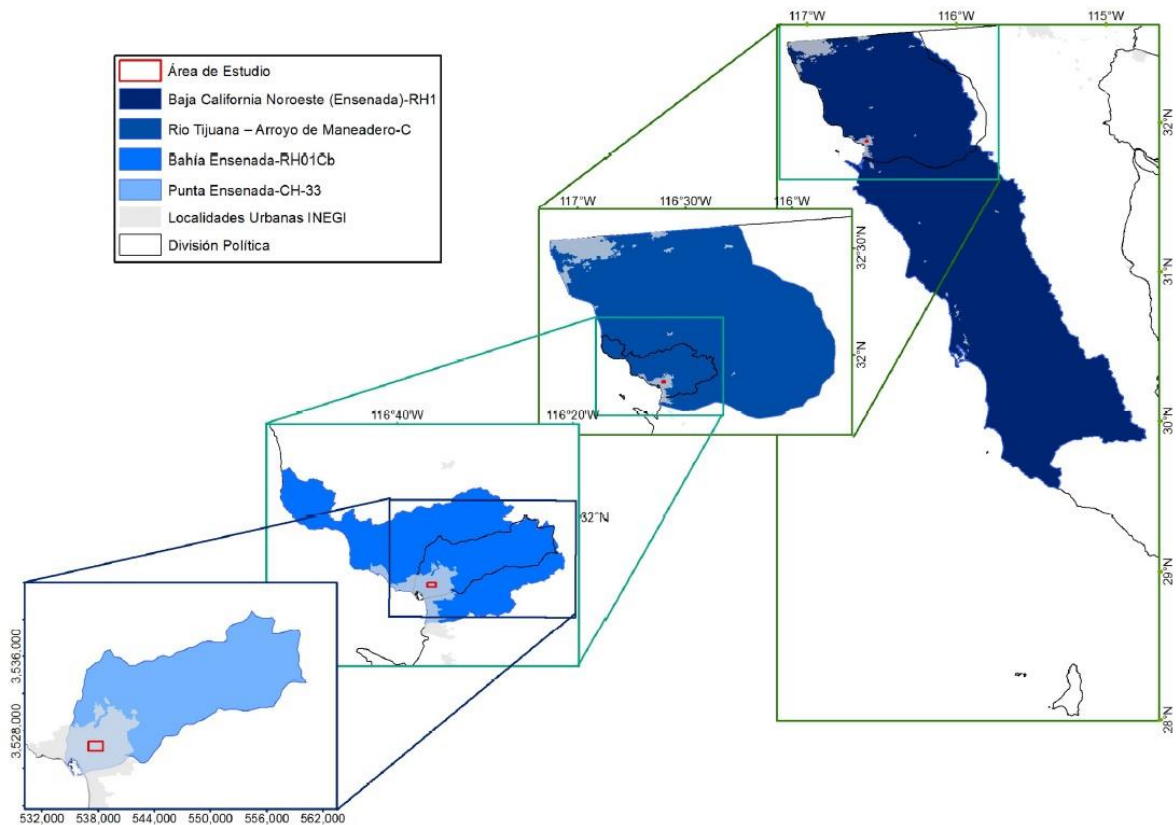


Figura 10. Clasificación hidrográfica INEGI 1:250 000 y 1:50 000. Fuente: Alonso (2013)

5.2 Precipitación.

El área de estudio presenta un clima de tipo seco, con una temporada de lluvias en invierno que abarca de diciembre a marzo. Dentro de este periodo se captura alrededor del 75% de la precipitación total anual (Serrato, 2018). El promedio de precipitación anual del período 1984-2004 para la ciudad de Ensenada, fue de 262.6 mm. El año más seco registrado tuvo un promedio de precipitación de 101.3, mientras que para el año más lluvioso fue de 469.1 mm (IMIPENS, 2009).

En la (Figura 11) se puede observar el registro de precipitación durante 1976 a 2008 en el municipio de Ensenada. Dentro de este periodo resaltan algunos periodos de precipitación intensa que derivaron en inundaciones como lo son el 8 de marzo de 1978, el 29 de enero de 1980 (SEDESOL, 2012), la temporada de lluvias durante el invierno de 1992 a 1993, al igual que el invierno de 1997- 1998 (Alonso, 2013) y el enero de 2005 (Matteotti, 2006). Después de este periodo también se registró un evento extremo en enero del 2010 (SEDESOL, 2012).

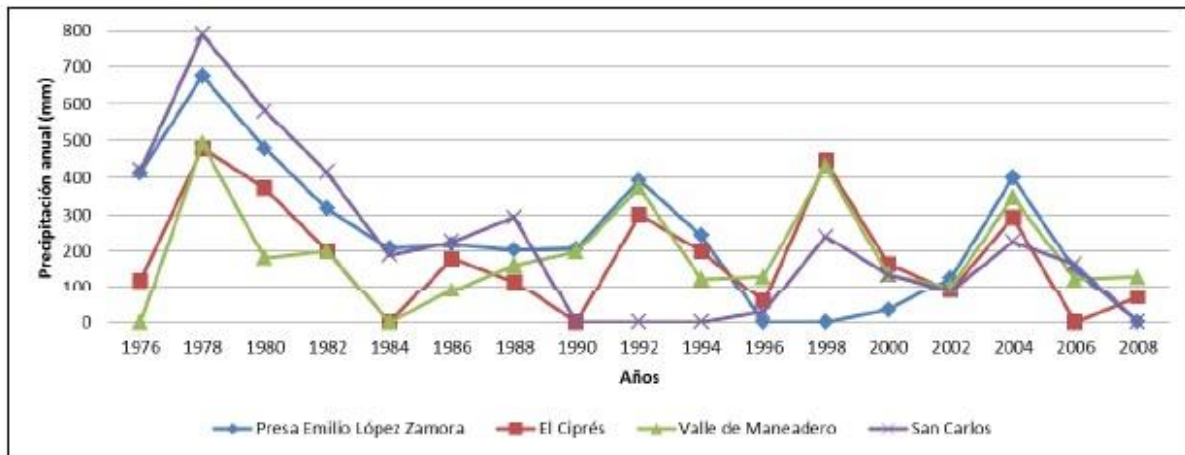


Figura 11. Precipitación anual (mm) registrada durante 1976 a 2008 en cuatro estaciones meteorológicas del municipio de Ensenada, B.C. El Ciprés, Presa Emilio López Zamora, San Carlos y Maneadero. Fuente: Díaz (2014).

6 MÉTODOS

Para realizar este estudio, de acuerdo a los objetivos planteados, se dividió en tres etapas Modelación de escenarios de inundación; Delimitación de zonas impactadas; y Cálculo del índice de vulnerabilidad (Figura 12), considerando tanto la metodología propuesta por CENAPRED para la elaboración de mapas de riesgo de inundación (CENAPRED, 2011), como el índice de vulnerabilidad social utilizado en el atlas de riesgos naturales para el municipio de playas de Rosarito (SEDATU, 2015). Para la primera etapa, se realizó con el uso de los sistemas de información geográfica ArcGIS 10.2 (ESRI) y HEC-RAS (US Army Corps of Engineers) y las bases de datos de: Alonso (2013) y Serrato (2018).

Para lograr llevar a cabo este estudio se utilizaron los sistemas de información geográfica ArcGIS 10.2 (ESRI) y HEC-RAS (US Army Corps of Engineers); así como la metodología propuesta por CENAPRED para la elaboración de mapas de riesgo de inundación (CENAPRED, 2011) y el índice de vulnerabilidad social utilizado en el atlas de riesgos naturales para el municipio de playas de Rosarito (SEDATU, 2015). Gracias a estudios previos donde se determinaron las características hidrológicas correspondientes a la zona de estudio (Alonso, 2013; Serrato, 2018), se conoce la cuenca que alimenta al arroyo El Aguajito y las características de la misma. Una vez recolectada la información se llevó a cabo la simulación de cinco escenarios de precipitación en el arroyo con base a los cinco períodos de retorno utilizados en el atlas del municipio de Playas de Rosarito (2, 5, 50 y 100 años). Con esto se pudieron identificar las zonas que se podrían ver impactadas. Por último, se llevó a cabo el cálculo de la vulnerabilidad asociada a cada una de las manzanas ubicadas dentro de los polígonos afectados por la inundación, utilizando la base de datos de: INEGI (INEGI, 2011) (Anexo Metodológico).

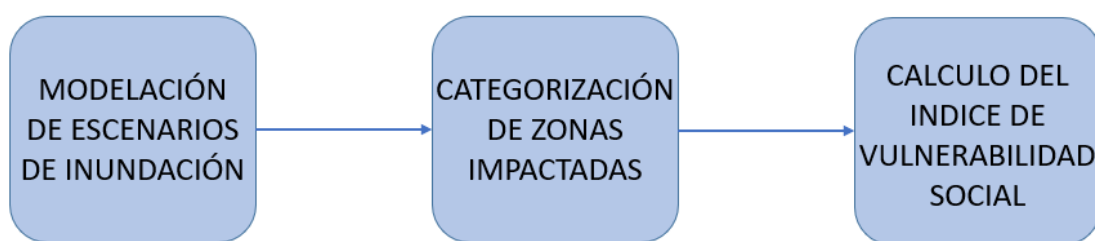


Figura 12. Proceso para lograr la evaluación de la vulnerabilidad en el arroyo "El Aguajito" ante el riesgo de inundación.

6.1 Modelación con Hec-Ras.

La modelación de los distintos escenarios posibles de inundación se llevó a cabo en el programa Hec-Ras 5.0.7 (Figura 13). Para lograrlo se calculó el gasto líquido ante los escenarios propuesto, en este caso se tomaron en cuenta los periodos de retorno de 2, 5, 50 y 100 años.

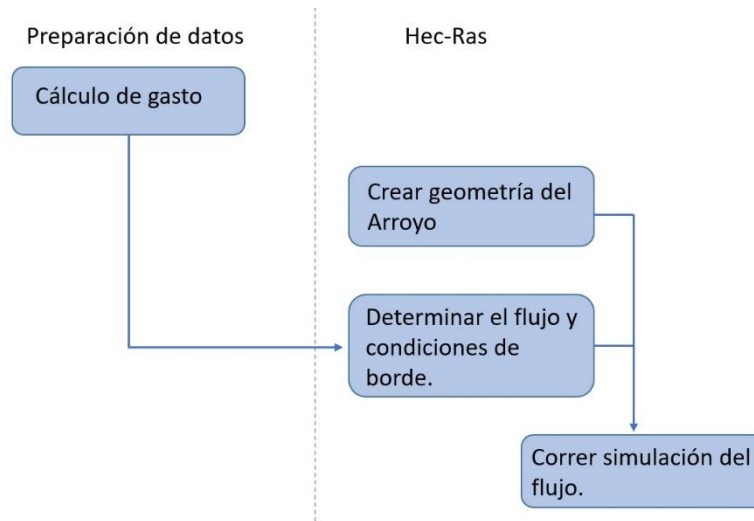


Figura 13. Diagrama metodológico para la modelación y simulación de los escenarios de inundación.

A través del programa Hec-Ras se generó la información geométrica correspondiente al segmento del arroyo a evaluar. La geometría determinó el arroyo, sus bordes y distintos cortes transversales, con la finalidad de generar un modelo 3D del arroyo. Se utilizó como base el modelo digital de elevación (MDE) Lidar de INEGI.

Una vez creada la geometría del arroyo se añadieron los datos hidrológicos al software, los cuales señalan las características del arroyo y del flujo. Se debe incluir el gasto para cada escenario y el coeficiente de Manning para cada corte transversal generado previamente en la geometría del arroyo. Una vez se llenan las variables se puede correr el modelo, obteniendo las simulaciones para cada uno de los escenarios. Una vez que se muestran las simulaciones, estas se pueden exportar a ArcMap.

6.2 Categorización de Zona Impactada.

El siguiente paso, una vez agregados los datos al Software ArcMap, se utilizó el paquete de herramientas de Hec-Ras compatible con ArcMap llamado Hec-GeoRas, con el fin de lograr la unión de la información generada en Hec-Ras con la información referente a las características socioeconómicas y físicas del sitio. Este paquete permite procesar los datos de tal manera que ArcMap pueda leerlos y posteriormente el usuario pueda trabajar con ellos (Figura 14). Al procesar los datos se obtuvo la capa en formato ráster y vectorial con el área de inundación para cada uno de los escenarios.

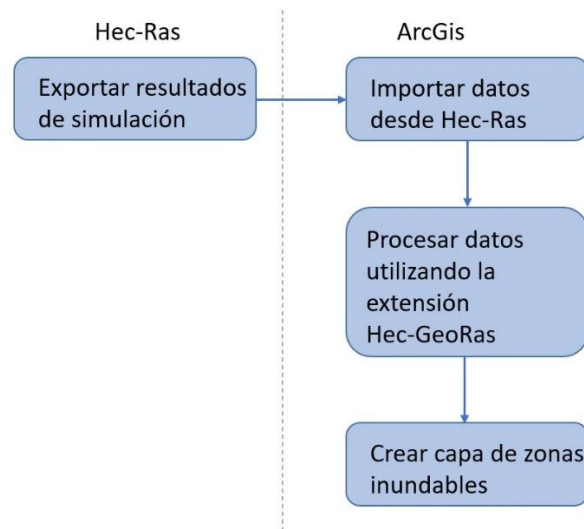


Figura 14. Diagrama metodológico para la delimitación de las posibles zonas inundables ante los escenarios propuestos.

Adicionalmente, se utilizó una base de datos de la zona donde se identifican las manzanas de la ciudad y las cuales se encuentran asociadas a la información del censo 2010 de INEGI. Posteriormente, se llevó a cabo una selección de elementos por ubicación determinando de esta forma cuales serían las manzanas que se verían afectadas por la inundación ante los diferentes escenarios analizados. De esta forma se creó una nueva capa incluyendo únicamente las manzanas que se podrían ver afectadas.

6.3 Evaluación de la Vulnerabilidad.

Una vez que se obtuvo la capa con la información de las manzanas que podrían ser impactadas por inundación ante los distintos eventos analizados, se exportó la tabla de atributos de esta capa. Esto permitió obtener una base de datos en Excel con los datos del

censo 2010 de INEGI correspondiente únicamente a las manzanas de interés. Con base en la metodología utilizada en el Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Playas de Rosarito (SEDATU, 2015) y propuesta por CENAPRED (2006), se realizó el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Social. Finalmente se calculó el índice de vulnerabilidad correspondiente a cada manzana tomando en cuenta los aspectos de salud, educación, vivienda, empleo y población (Ver Anexo metodológico). Una vez calculado el valor del índice para cada manzana se les asignó una condición de vulnerabilidad correspondiente al valor que obtuvieron. Los resultados obtenidos, se exportaron en formato Excel, para utilizarla en ArcMap. Una vez agregada la nueva tabla, a través de la herramienta “join” se ligó a la tabla de manzanas afectadas por los escenarios de inundación. El unir la información permitió desplegar los datos obtenidos del índice de forma geográfica para posteriormente generar un mapa, (Figura 15).

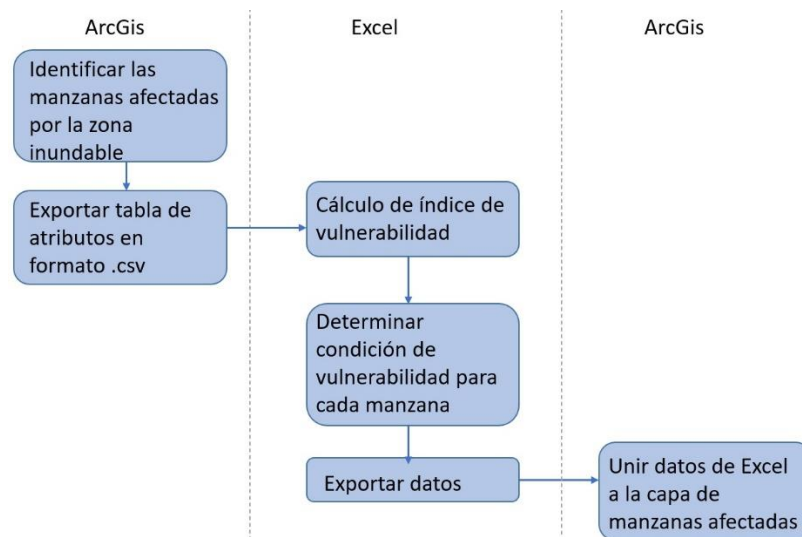


Figura 15. Diagrama metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad en las posibles manzanas impactadas.

7 RESULTADOS.

7.1 Modelación con Hec-Ras.

El primer paso para llevar a cabo la modelación de las zonas inundables fue el cálculo del gasto, en la Tabla I, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los periodos de retorno que se busca analizar en este trabajo.

Tabla I. Resultados obtenidos del cálculo del gasto liquido obtenido a partir de la formula Racional.

Período de retorno	Gasto (m3/s)
2 años	17.5866
5 años	35.1729
50 años	58.4627
100 años	74.1475

El programa Hec-Ras cuenta con diversas herramientas que nos permiten conocer el comportamiento del Flujo en cada perfil y su correspondiente área hidráulica, así mismo se genera el área de inundación incluyendo la profundidad a la que llegaría el agua en cada punto. Estos resultados se obtienen para cada uno de los escenarios analizados.

En la Figura 16, se muestra un perfil del arroyo “El Aguajito”, de izquierda a derecha la primera depresión es la que corresponde al cauce del arroyo mientras que la segunda es una particularidad del terreno. De color se muestra lo que quedaría por debajo del nivel del agua, en este caso se ven ambas depresiones con lo que sería agua, aunque no se encuentren conectadas. Esto significa que ambas quedan por debajo del nivel de inundación, sin embargo, el nivel del borde del cauce es mayor al del agua.

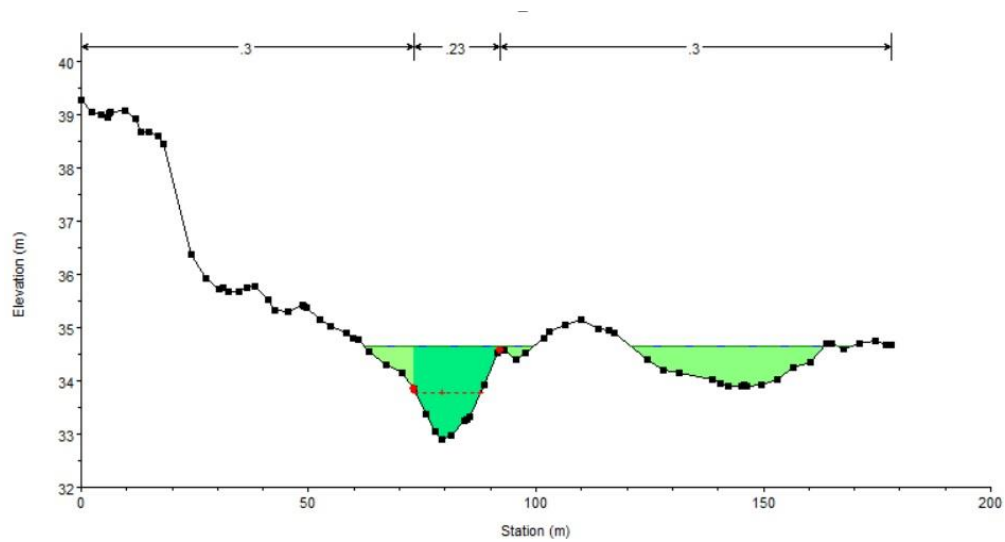


Figura 16. Sección transversal del arroyo "El Aguajito" ante un escenario de inundación correspondiente al periodo de retorno de 2 años.

Para cada escenario de inundación analizado el programa crea un raster que a su vez muestra la profundidad en metros del agua (Figura 17 y Figura 18).

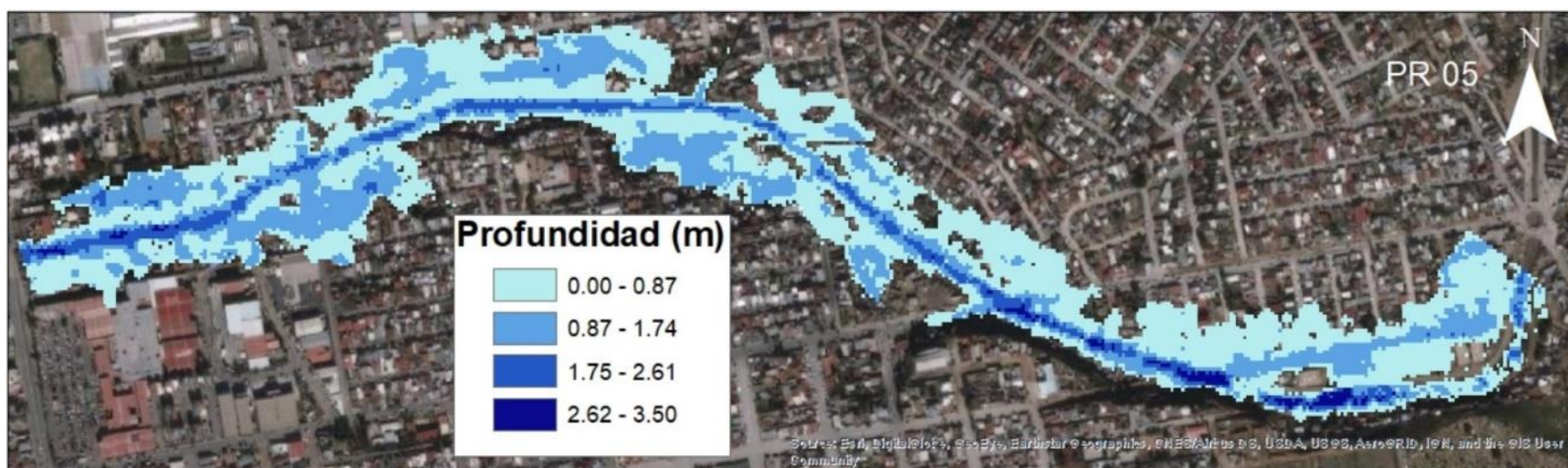
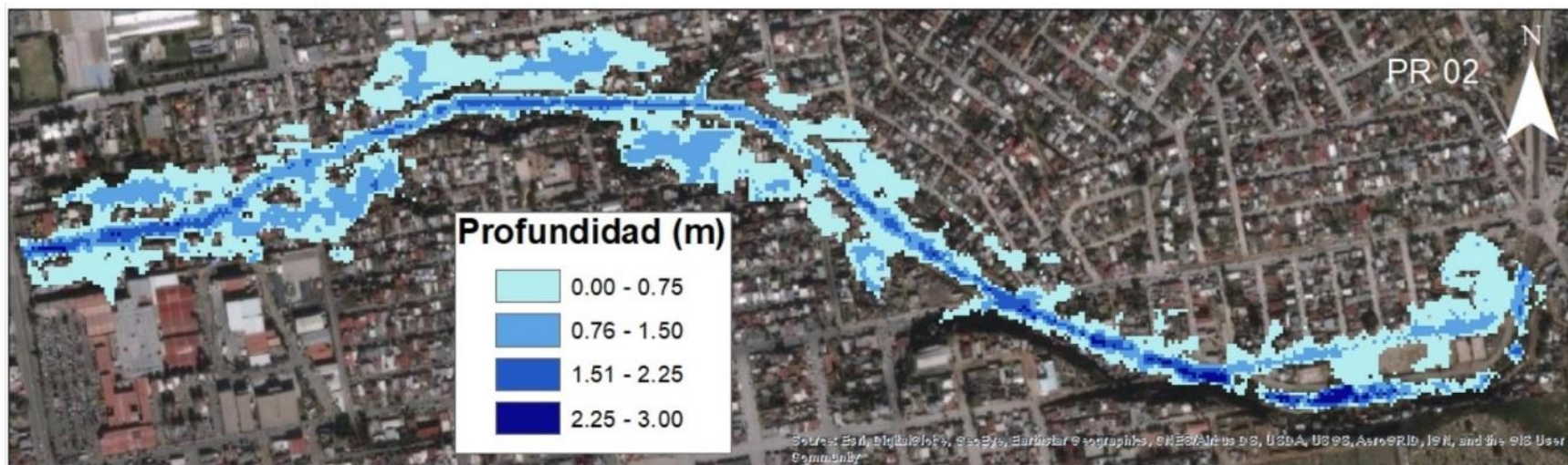


Figura 17. Escenarios de inundación para los periodos de retorno de 2 y 5 años.

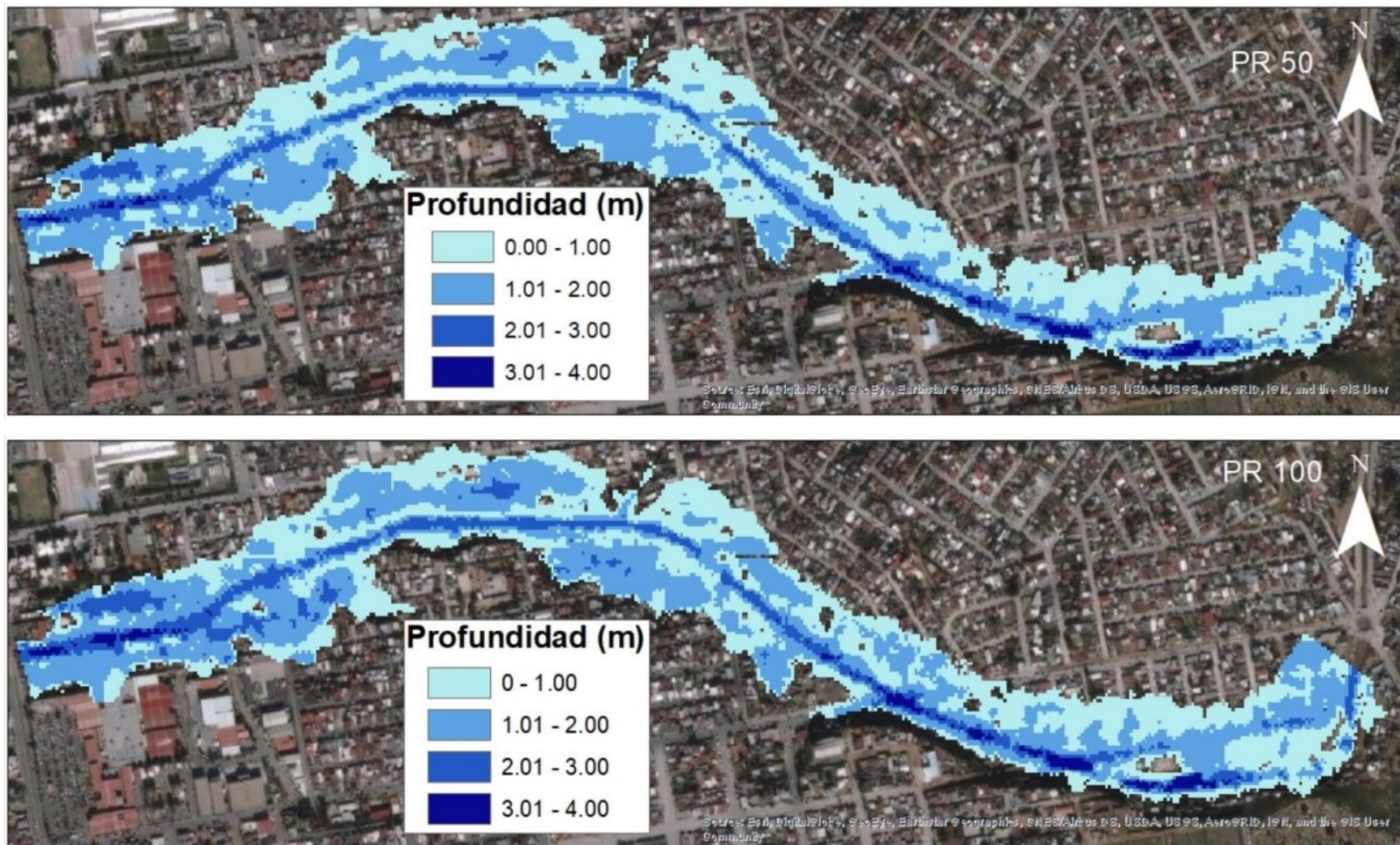


Figura 18. Escenarios de inundación para los periodos de retorno de 50 y 100 años.

En las figuras 17 y 18, se puede observar que las profundidades se mantienen con una máxima entre los 3 y 4 metros de profundidad. En todos los casos la máxima profundidad se encuentra dentro del cauce del arroyo. En general las profundidades mayores a los 2.20 m se encuentran en la zona correspondiente al cauce. Los valores de profundidad media que abarcan aproximadamente entre el 1.00 a 2.50 m se encuentran en las zonas aledañas al cauce. Por último, los valores de profundidad menores a 1.00 m en lo general se encuentran en las zonas más alejadas al cauce.

La mayor diferencia que se logra observar entre los escenarios mostrados en la figura 17 es el área que abarca la zona inundable y la conectividad de esta. Esto quiere decir que conforme aumentan los años del periodo de retorno se observan más como un solo parche, al contrario de en los primeros escenarios que se ven algunas manchas aisladas.

7.2 Categorización de la zona Impactada

Una vez que se obtuvieron las zonas inundables a través de Hec-Ras, esta información se exportó a ArcMap y análisis a través de la extensión Hec-GeoRas. Esto permitió obtener una imagen ráster de las zonas inundables.

Tomando como base la capa de información del censo 2010 de INEGI y por medio de una selección espacial se determinó cuáles son las manzanas que se podrían ver impactadas ante los escenarios de inundación (Figura 19).

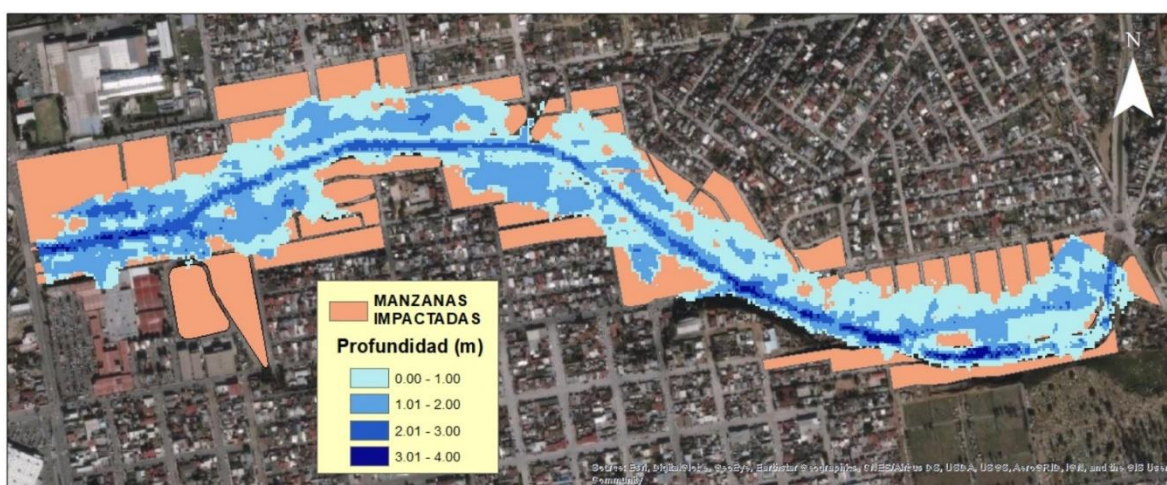


Figura 19. Manzanas Impactadas ante los escenarios de inundación propuestos, en este caso se muestra el escenario del periodo de retorno de 50 años.

En la Figura 19 se muestran los polígonos que se podrían ver impactados ante una inundación, en todos los periodos de retorno se abarcan los mismos polígonos. El único factor que cambia entre cada uno de los escenarios es la profundidad y la cantidad de cobertura que tiene el polígono de inundación en cada una de las manzanas.

7.3 Evaluación de la vulnerabilidad

Para evaluar la vulnerabilidad presente en las manzanas que se podrían ver afectadas por una inundación en la zona del Arroyo "El Aguajito" se exportó la información de la capa del censo utilizada en ArcMap a Excel.

El uso de Excel permitió calcular los subíndices de salud, educación, vivienda, fragilidad económica y población, para cada una de las manzanas posiblemente afectadas. Posteriormente se calculó el índice de vulnerabilidad Social. En la Figura 20 se puede observar como el resultado final se desplegó de manera geográfica. Para fines de mayor practicidad se decidió representar la vulnerabilidad en un rango de muy baja a alta, en lugar de poner los valores numéricos que arroja el índice de vulnerabilidad social. Para asignarles el valor en el rango mencionado se tomó como guía lo estipulado por CENAPRED (2006).



Figura 20. Vulnerabilidad presente en el arroyo "EL aguajito" ante el riesgo de inundación.

En la Figura 20 se puede observar que en su mayoría las zonas aledañas al arroyo presentan una vulnerabilidad media. La mayor parte de las zonas que presentan una vulnerabilidad muy baja hacen referencia a zonas que no contaban con datos en la base de datos del censo de INEGI, por lo tanto, se determinó que dichas zonas no se encuentran habitadas. Existen 7 manzanas dentro de la zona de estudio que presentan una vulnerabilidad alta y únicamente una manzana que presenta una vulnerabilidad muy alta.

En la Tabla I se observa el desglose de los habitantes que se encuentran en las distintas condiciones de vulnerabilidad. Como se mencionó anteriormente las manzanas que presentan una vulnerabilidad muy baja no cuentan con habitantes. En la misma tabla se puede observar que la mayor cantidad de habitantes se encuentran ante una situación de vulnerabilidad media, sin embargo, es importante recalcar que 345 habitantes se encuentran entre los rangos de vulnerabilidad alta y muy alta.

Tabla I. Población en riesgo.

Vulnerabilidad	Población Total	0 a 14 años	Más de 60 años
Muy Alta	16	5	4
Alta	329	88	34
Media	3453	851	301
Baja	54	13	10
Muy Baja	0	0	0

8 DISCUSIÓN

Para llevar a cabo este estudio se tomó como base la metodología descrita por CENAPRED (2006) y el Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Playas de Rosario (SEDATU, 2015). El uso de la metodología oficial permite comparar la información y resultados obtenidos en este trabajo con otros previos o posteriores en el área o en otros sitios del país.

El modelo Hec-Ras, como se muestra en los resultados, permite obtener simulaciones de distintos escenarios de lluvia. Si bien el manejo del programa para lograr analizar la información se realiza de manera sencilla, es importante considerar que conforme las características del arroyo sean más complejas (irregularidades en el canal) la precisión del modelo podría disminuir. Sin embargo, aun considerando este punto, la información que se obtiene es una buena aproximación a como se comportaría el flujo de agua ante una situación de lluvia intensa o escenario pluvial analizado.

En el caso de este trabajo, se contaba previamente con la información referente a las características de la cuenca debido a estudios realizados previamente en la zona. Si no se contara con esta información se debería considerar a parte de la metodología descrita, la metodología para llevar a cabo el análisis hidrográfico de la cuenca.

Con respecto al análisis hidrográfico Alonso (2013) en un estudio previo determino que el área de la cuenca, con respecto a la longitud del cauce principal y su pendiente, genera la posibilidad de que se presenten avenidas súbitas. Este factor es importante al momento de desarrollar un plan de acción debido a que aumenta la posibilidad de que se presente un desastre natural que afecte las zonas que se encuentran por debajo del nivel de los bordes del arroyo. En el mismo trabajo también se observa una remoción de la cubierta vegetal en la parte alta de la cuenca, resultando en un coeficiente de escurrimiento mayor y aumentando la probabilidad de que se presenten avenidas súbitas con un alto volumen de agua mayor al estimado.

Al analizar los perfiles obtenidos en el modelo Hec-Ras (Figura 16) se encuentran bordes suaves o casi inexistentes. También se encuentran depresiones aledañas al cauce principal lo cual podría ocasionar que en dichas zonas el agua se estanque. Cabe resaltar que aun cuando en campo se encontraron algunas obras de protección que permiten el paso del

agua hacia el canal, la mayoría se encontraban en mal estado o cubiertas por vegetación. Así mismo el canal principal se encontraba con vegetación y basura lo cual podría ocasionar un estancamiento de agua o un movimiento más lento aumentando el riesgo de inundación.

En la Figura 17 se puede observar que aun con el primer escenario evaluado (periodo de retorno de 2 años) existe el riesgo de inundación en las zonas aledañas. Para este periodo de retorno se observan algunas zonas que no están conectadas con el canal principal esto se debe a que son zonas por debajo del nivel del agua al que se llegaría, pero no existe precisamente un flujo conectado con el canal. Conforme aumentan los años del periodo de retorno evaluado la conectividad entre la mancha de inundación es mayor, siendo que en el último escenario se encuentra prácticamente toda el área conectada. La Profundidad tiene un incremento de aproximadamente 50 cm entre el primer escenario y el último.

Dentro de la misma figura se puede observar en el extremo derecho una bifurcación que no obedece al cauce principal del río. Esto se explica con el MDE ya que esa zona presenta una depresión, podría ser causada por una modificación en el cauce al momento de canalizarlo. Para determinar si esto podría ser la causa se debería hacer un estudio de la historia ambiental del sitio.

Al momento de interponer la imagen de los diferentes escenarios de inundación con la capa de manzanas, se encontró que todos los escenarios tenían un impacto en las mismas manzanas. Es cierto que el área que cubre las manzanas aumenta conforme aumenta el periodo de retorno, pero a esta escala no se puede diferenciar más allá. Para lograr un estudio con mayor precisión y lograr cuantificar el número de lotes que se verían impactados sería necesario contar con una capa que tenga digitalizados los polígonos correspondientes a cada lote o casa en el sitio.

Al calcular el índice de vulnerabilidad social por manzana se tiene una escala gruesa ya que sería interesante conocer por casa su condición de vulnerabilidad, sin embargo, tal como se mencionó anteriormente sería necesario contar con una información más detallada. Es importante mencionar que aun cuando se manejó una escala por manzana, el análisis de la vulnerabilidad intenta considerar diversos aspectos que podrían afectar la vulnerabilidad de una persona. Para este análisis se consideraron aspectos sociales, económicos y cuestiones de infraestructura referentes a la vivienda.

La Figura 20 muestra en su mayoría manzanas con una vulnerabilidad media 7 manzanas presentan una vulnerabilidad alta, una manzana vulnerabilidad muy alta, una manzana baja y cinco manzanas muy baja. Al observar la base de datos del censo 2010 de INEGI encontramos que algunas de las manzanas no cuentan con información para lograr explicarlo se observaron imágenes aéreas desde la plataforma de Google Earth, se encontró que estas zonas no están habitadas o son sitios donde se encuentran edificios no utilizados como viviendas. Un ejemplo es el polígono que se encuentra en el extremo derecho, al compararlo con las superficies de inundación es una zona que tiene una alta peligrosidad ya que en todos los escenarios se ve afectada, sin embargo, en el sitio existe un parque. El hecho de que sea una zona destinada a la recreación disminuye su vulnerabilidad. Es importante recalcar que en este estudio se utilizó el modelo para determinar que manzanas eran de interés para estudiar su vulnerabilidad, el siguiente paso consistiría en ligar la peligrosidad a la vulnerabilidad.

Otro de los aspectos que sería importante analizar a futuro son los asentamientos irregulares a orillas o dentro del mismo cauce. Al estar en campo se observa que la mayoría de los asentamientos dentro del cauce son de lo que se considera como paracaidistas, sin embargo, no dejan de estar expuestos a una inundación sobre todo durante la temporada de lluvias. En el área existe una carencia de planeación, debido a la topografía de la zona se comprende que los asentamientos se encuentran en lo que sería el cauce natural del arroyo, sin embargo, los habitantes de la zona son los que han rellenado el arroyo con el objetivo de ganar terreno para realizar construcciones o simplemente utilizar partes del arroyo como basureros.

La zona se vio afectada por un desastre con lluvias el 8 de marzo de 1978, a pesar de ello se encuentra de nuevo expuesto, con la ocupación del cauce del arroyo, a la repetición de un nuevo evento catastrófico. En un estudio previo (Serrato, 2018) se encontró que las personas perciben que viven en zonas de riesgo de inundación sin embargo no consideran que es una prioridad gestionarlo. También se encontró que aun cuando los habitantes de la zona son conscientes que se han dado inundaciones en el pasado, desconocen las causas de estas. Este estudio resalta la importancia de las campañas de prevención y cultura de la protección civil como una herramienta para prevenir pérdidas ante un evento de inundación como los analizados a lo largo de este trabajo.

9 CONCLUSIONES

El uso de modelos como Hec-Ras permiten estimar como se comportaría un flujo de agua ante un evento de precipitación intenso. Esta información es una base para el manejo adecuado de riesgo y la toma de decisiones informada. Además, al utilizar una metodología oficial este trabajo es comparable con otros a nivel nacional o local.

9.1 Modelación con Hec-RAS

En el caso particular de nuestro estudio el arroyo no cuenta con grandes complejidades en el tramo a estudiar por lo que el uso del modelo Hec-Ras es de gran utilidad. A futuro se debería incrementar el detalle del análisis tomando en cuenta los distintos cauces que alimentan este cauce principal, aumentar la complejidad y detalle de la información ayudarían a tener un modelo y escenarios más cercanos a la realidad.

La topografía del terreno muestra zonas que se encuentran por debajo de la altura del borde del cauce principal, estas zonas pueden presentar estancamientos de agua al darse un evento lluvia intensa. Estas características, así como la posibilidad de avenidas súbitas se deben tomar en cuenta al momento de realizar planes de prevención y de acción ante los fenómenos hidrometeorológicos. La posibilidad de avenidas súbitas marca la pauta de los tiempos de respuesta con los que se cuenta, así como, si el evento resulta en un desastre o no.

La inundación máxima alcanzada ante un periodo de retorno de dos años es de 3 m en el cauce del arroyo y alrededor de un metro en las zonas cercanas al arroyo. En el escenario de eventos pluviales con un periodo de retorno de 100 años se encuentran profundidades máximas de 4 metros en el cauce del arroyo y máximas de 2 m en las zonas aledañas al cauce. Se debe poner atención en la zona donde el arroyo intercepta con la calle de las flores. En dicha zona el modelo muestra una planicie que se ve inundada debido a una bifurcación en el flujo del agua la cual no se observa en el cauce del arroyo.

9.2 Categorización de la zona impactada.

Al analizar la zona que se podría ver impactada ante los diferentes escenarios de eventos pluviales se observa que no varía al tomar en cuenta una escala de manzanas. Para incrementar el detalle del estudio se debería analizar la información por lote. En este caso existe un incremento de área de cobertura en cada manzana conforme aumentan los años del periodo de retorno analizado, pero no de manzanas impactadas.

9.3 Evaluación de la vulnerabilidad.

Dentro de la zona de estudio existen áreas que cuentan con una vulnerabilidad muy baja, debido a que no son zonas habitadas algunas de estas manzanas cuentan con sitios de recreación como parques o comercios. A futuro se podría analizar si los daños a este tipo de infraestructura también afectarían a la comunidad del área de estudio, ya que en este trabajo y en la forma de evaluar la vulnerabilidad no se consideran. Las zonas con vulnerabilidad media, alta o muy alta responden a las características físicas, sociales y económicas de las casas que se encuentran en cada manzana. El área de estudio en general presenta una vulnerabilidad media.

Dentro del cauce del arroyo se encuentran asentamientos irregulares, algunos de ellos se pueden observar que son temporales. Sin embargo, al estar contruidos con materiales poco resistentes aumentan la vulnerabilidad de las personas que habitan en ellos. En este estudio dichos asentamientos no son considerados. Para el análisis de dichos asentamientos sería necesario trabajar directamente en campo intentar cuantificarlos y georreferenciarlos.

Si bien este trabajo tiene la función de ser una base para la toma de decisiones y el manejo de riesgo por inundación, también resalta algunas áreas de oportunidad como siguientes pasos para mejor los planes de acción ante los eventos hidrometereológicos. Como se resalta en la discusión es importante trabajar con la sociedad e informarles también a ellos de su situación y de esta forma mejorar la cultura de protección civil. Cosas como el intentar ganarle terreno al arroyo o utilizar el arroyo como basurero son situaciones que se deben trabajar con los habitantes de la zona, ya que ellos mismos podrían ayudar a que se eviten ambas situaciones y disminuir la probabilidad de que un evento pluvial desencadene un desastre.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, H. (2013). *Uso de sistemas de información geográfica para la evaluación de cambios en el nivel del cauce en una porción del arroyo el Aguajito [Especialidad]. UABC.*
- CENAPRED. (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos—Fenómenos Hidrometeorológicos.*
- CENAPRED. (2011). *Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas (Salas, M. A.).*
<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/203.pdf>
- Coordinación Nacional de Protección Civil. (2018). *Inundaciones en México.*
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336984/1._180503_SRI_Inundaciones.pdf
- Díaz, A. P. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad urbana y resiliencia ante lluvias intensas en la ciudad de Ensenada, B.C. [Maestría].*
- Ley General de Protección Civil. *Diario Oficial de la Federación, México, 6 de junio de 2012.*
- EM-DAT. (2018). *EM-DAT: The Emergency Events Database. Université Catholique de Louvain.*
- Escolero, O., Domínguez, E., & Martínez, S. (2006). *Ciclo hidrológico. En Atlas de la cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta. Instituto Nacional de Ecología.*
- Escudero, M., Mendoza, E., Silva, R., & Arganis, M. (2012). *Characterization of Risk in Coastal Zones: A Review. CLEAN-Soil, Air, Water, 40(9), 894–905.*
- INEGI. (2011). *Censo de Población y Vivienda 2010 [Resultados definitivos].*

INEGI. (2013). SIATL | SIMULADOR DE FLUJOS DE AGUA DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/

INEGI, INE, & CONAGUA. (2007). Mapa de cuencas hidrográficas [Map].
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
(CONABIO).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/cue250k_07gw

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019). ¿Qué es una cuenca? Tipos
de cuenca hidrográfica. Gobierno de México.

IMIPENS. (2009). Programa de desarrollo urbano de centro de población de
Ensenada 2008-2030. <http://imipens.org/pducpl/>

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Sanderson, D.,
& Sharma, A. (2018). World disasters report 2018: Leaving no one behind.

ISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. ONU.

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and flooding: A guide to
integrated urban flood risk management for the 21st century. World Bank.

Lampis, A. (2010). Pobreza y riesgo medioambiental: Un problema de
vulnerabilidad y desarrollo.
https://www.desenredando.org/public/varios/2010/2010-08-30_Lampis_2010_Pobreza_y_Riesgo_Medio_Ambiental_Un_Problema_de_Desarrollo.pdf

Matteotti, B. (2006). Modelo de riesgo por inundación en la mancha urbana de
Ensenada B.C. [Licenciatura]. Universidad Autónoma de Baja California.

OEA. (1991). *¿Qué son las amenazas naturales?*

<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/ch005.htm>

Salas, M. A., & Jiménez, M. (2019). *Inundaciones* (1era ed.). CENAPRED.

SEDATU. (2015). *Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Playas de Rosarito*.

SEMARNAT. (2018). *Atlas del Agua en México*. [https://agua.org.mx/wp-](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/AAM_2018.pdf)

[content/uploads/2019/04/AAM_2018.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/AAM_2018.pdf)

SEDESOL. (2012). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012*.

Serrato, B. (2018). *Percepción social de inundación y modelación hidrológica de la presa Emilio López Zamora [Doctorado]*. UABC.

Twigg, J. (2015). *Disaster Risk Reduction*. Overseas development institutr.

UNDRR. (2020). *Human cost of disasters, an overview of the last 20 years (2000-2019)*. United Nations.

Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global*. En *Los desastres no son naturales* (Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina, pp. 11–44).

ANEXO METODOLÓGICO.

Modelo de inundación.

Cálculo del Gasto: Tomando en cuenta trabajos realizados previamente en la zona se determinaron los valores del Tiempo de concentración, área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento correspondientes al arroyo “El Aguajito” (Tabla II).

Tabla II Valores utilizados para determinar el Gasto. Fuente: Alonso, 2013

Tiempo de concentración	1.47 hrs
Área de la cuenca	36.061 km ²
Coeficiente de escurrimiento	0.23

Para determinar la intensidad de lluvia correspondiente a cada uno de los escenarios se utilizó la información proporcionada por la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (CENAPRED, 2006). Del documento se obtuvieron los valores (Tabla III) asociados a 1 hora y 4 horas. Para el cálculo de la intensidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$i = \frac{hp_{24} - hp_1}{3.1781} (\ln(tc)) + hp_1$$

Donde:

i es la intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca en mm/h.

hp₂₄ es la lámina de lluvia para una duración igual a 24 horas

hp₁ es la lámina de lluvia para una duración igual a 1 hora

tc es el tiempo de concentración.

Tabla III Valores utilizados para determinar la intensidad de la lluvia en cada periodo de retorno. Fuente: CENAPRED, 2006

Período de Retorno	1 hora (mm)	4 horas (mm)
2 años	10	20
5 años	20	40
50 años	30	100
100 años	40	100

Con los datos obtenidos se calculó el gasto para cada uno de los escenarios analizados. Para estimar el gasto se utiliza la formula Racional, se considera que el gasto máximo se alcanza en el momento que la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante el tiempo de concentración. Se utilizo la siguiente ecuación:

$$Q_p = 0.278CiA$$

Donde:

Q_p es el gasto máximo en m³/s

C es el coeficiente de escurrimiento de 0 a 1

A es el área de la cuenca en km²

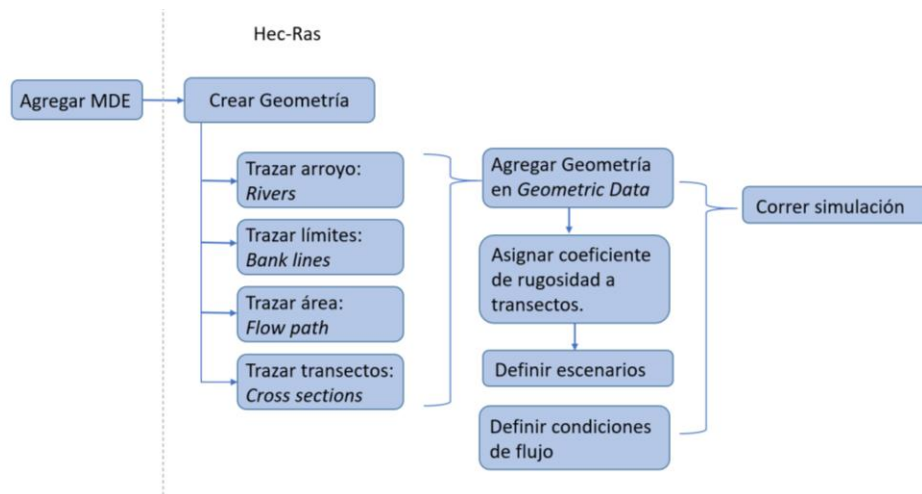


Figura 21. Diagrama metodológico para la preparación del modelo.

Agregar Modelo de Elevación Digital (MDE): Una vez creado el proyecto, se utiliza la plataforma RAS Mapper dentro del mismo software. En esta plataforma se debe cargar el archivo de la proyección con la que se trabajará a lo largo del proyecto en este caso WGS 1984 UTM Zona 11N. Después se debe agregar el MDE en el apartado *Terrains*, este será la información base del proyecto, en este caso se utilizó el MDE Lidar de INEGI.

Crear Geometría del Arroyo: Dentro del menú de RAS Mapper se debe seleccionar la opción Geometría y crear un nuevo archivo para guardar esta información. Este paso habilita un nuevo menú con las diferentes capas que se pueden crear, asociadas a la geometría del arroyo. El primer paso es iniciar con la edición de *Rivers*, esta herramienta permite crear una línea que marca el cauce del arroyo. Posteriormente se debe editar *Bank lines*, con esto se señalan los límites del arroyo. De la misma manera se edita *Flow path*, esta herramienta se utiliza para delimitar de forma aproximada el área de estudio. Por último, se deben agregar los transectos que servirán como puntos de referencia para estimar el modelo tridimensional del cauce, esto se logra editando la herramienta *Cross sections*.

Agregar Geometría al proyecto: Al terminar de dibujar la geometría necesaria para correr el modelo se debe cambiar a la plataforma Geometric Data, dentro del mismo software. Aquí se debe agregar la geometría previamente creada para incluirla en el proyecto. Es importante en este punto determinar el coeficiente de rugosidad del cauce, los valores utilizados (Tabla IV) se obtuvieron de la tabla 1.3 en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (CENAPRED, 2006). Se debe asignar un valor para los costados del canal y otro para el canal, según las características de este.

Tabla IV Coeficientes de rugosidad utilizados.

Zona	Coeficiente de Rugosidad
0.3	Bordes
0.23	Centro

- Información Hidráulica

Definir estado de flujo: En el menú principal del software se debe elegir la opción *Steady Flow Data*, en este caso se debe especificar cuántos escenarios se va a trabajar, en este caso 5. Para cada perfil o periodo de retorno se debe agregar el valor del Gasto en m³/s (Tabla V).

Tabla V Gastos utilizados para cada periodo de retorno analizado en la simulación.

Período de retorno	Gasto (m ³ /s)
2 años	17.5866
5 años	35.1729
50 años	58.4627
100 años	74.1475

Definir las condiciones de borde: En este caso se utilizarán las mismas condiciones de borde para todos los escenarios. Se debe especificar la inclinación aguas arriba y aguas abajo, esto se calcula en función de los segmentos realizados previamente.

- Modelación del flujo estacionario

Análisis de flujo estacionario: Esta herramienta reconoce automáticamente los archivos creados previamente, tanto la información de geometría como las condiciones hidráulicas del arroyo. Antes de correr la simulación se debe guardar el archivo. Para finalizar se selecciona la herramienta *Compute* y de esta manera se generará la simulación.

Observar resultados: El software cuenta con distintos apartados que te permiten observar los resultados obtenidos de la simulación como *Profile Plot* donde puedes ver un corte a lo largo del cauce y cómo se comporta el agua en él. En el apartado de *Cross Section* se puede analizar el comportamiento del agua en cada corte transversal realizado en el cauce del arroyo.

Categorización de zona impactada.

Exportar Simulaciones: En el menú principal de Hec-Ras se debe seleccionar *Export Gis Data*. Antes de exportar el archivo te permite seleccionar la información que deseas incluir.

Abrir Datos en ArcMap: Una vez en ArcMap, se debe habilitar el paquete de herramientas Hec-GeoRas y a través de este se exportará. Dentro de este paquete, en el menú de RAS Mapping, se selecciona *Layer Setup* lo que ayudará a preparar y generar cada una de las capas trabajadas previamente. Una vez que se agrega la información de las capas se

cargará MDE utilizado en ArcMap, ya que este es la base del modelo. Posteriormente en el menú de RAS Mapping se debe seleccionar Import RAS Data.

Definir superficie de agua: En el mismo menú se despliega ahora el menú *Inundation Mapping* y se selecciona la opción *Water Surface Generation*, este paso solo prepara los datos para posteriormente hacer los cálculos.

Determinar zona de inundación: Regresando al menú anterior se debe seleccionar *Floodplain Delineation Using Raster*, esto delinea la inundación al igual que las máximas y mínimas profundidades dentro de la zona.

Seleccionar área impactada: En ArcMap se debe cargar la capa de información del censo de INEGI, esta capa permite conocer las características de la población por manzana. Para generar una nueva capa que incluya solamente las manzanas que se podrían ver impactadas se debe generar un *joint* con la capa de INEGI y la creada previamente. El joint se deberá exportar como una nueva capa a ArcMap.

Evaluación de la vulnerabilidad.

Exportar datos a Excel: ArcMap permite guardar la tabla de atributos de una capa de información en formato texto. Una vez que se guarda un archivo con este formato se puede abrir y trabajar en Excel. Para esto se necesita abrir el menú de datos en Excel y elegir la opción Obtener y transformar datos desde el texto/CSV.

Cálculo de índice de Vulnerabilidad: Con los datos en Excel listos, sigue el cálculo del índice de vulnerabilidad social siguiendo la metodología del atlas de riesgo para el municipio de rosarito (SEDATU, 2015). Este índice está compuesto por cinco subíndices abarcando salud, educación, vivienda, empleo y población. A continuación, se especifican las ecuaciones utilizadas (Tablas VI, VII y VIII).

Tabla VI. Cálculo de índice de Vulnerabilidad

Ecuación	Nombre	Formula	Donde:
1	Índice de Vulnerabilidad	$IVS = SS + SE + 1.5(SV) + SEMP + 2(SP)$	IVS= Índice de vulnerabilidad social SS= Subíndice de Salud SE= Subíndice de Educación SV= Subíndice de Vivienda SEMP= Subíndice de Empleo SP= Subíndice de Población
2	Subíndice de Salud:	$SS = \%PND = PND/PT \times 100$	%PND= Porcentaje de población no derechohabiente PND= Población no derechohabiente PT= Población Total
3	Subíndice de Educación	$SE = IAn + IEb + IEs$	IAn=Analfabetismo IEb=Educación Básica IEs=Escolaridad
3.1	Analfabetismo	$IAn = (P15aA/P15a) \times 100$	P15aA=Población de 15 años y más analfabeta P15a=Población total de 15 años y más
3.2	Educación Básica	$IEb = (PT6_14aAE/PT6_14) \times 100$	PT6_14aAE=Población Total de 6 a 14 que asiste a la escuela PT6_14=Población Total de 6 a 14 años
3.3.	Escolaridad	$IEs = (Pae15/PT15)$	Pae15=Suma de años aprobados desde primero de primaria hasta el último año alcanzado de la población de 15 años PT15=Población Total de 15 años y más

Tabla VII. Continuación del cálculo de índice de Vulnerabilidad.

Ecuación	Nombre	Formula	Donde:
4	Subíndice de Vivienda	$SV = RVtsae + RVtssd + RVtsse$	RVtsae=Porcentaje de viviendas que no disponen de agua entubada RVtssd=Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje RVtsse=Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad
4.1	Porcentaje de viviendas que no disponen de agua entubada	$RVtsae = (Vsae / (Vsae + Vcae)) \cdot 100$	Vsae=Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada Vcae=Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada
4.2	Porcentaje de viviendas que no disponen de drenaje	$RVtssd = (Vsd / (Vsd + Vcd)) \cdot 100$	Vsd=Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje Vcd=Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje
4.3	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	$RVtsse = (Vse / (Vce + Vse)) \cdot 100$	Vse=Viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica Vce=Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica

Tabla VIII. Continuación del cálculo de índice de Vulnerabilidad.

Ecuación	Nombre	Formula	Donde:
5	Subíndice de Empleo	$SEMP = RPei + Rd + Tda$	RPei=Porcentaje de población económicamente inactiva Rd=Razón de dependencia Tda=Tasa de desempleo abierto
5.1	Porcentaje de población económicamente inactiva	$Rpei = (Pei / (Pea + Pei)) 100$	Pei=Población económicamente inactiva Pea=Población económicamente activa
5.2	Razón de dependencia	$Rd = ((P14 + P65) / P15a64) 100$	P14=Población de 0 a 14 años P65=Población de 65 años y más P15a64=Población de 15 a 64 años
5.3	Tasa de desempleo abierto	$Tda = Pd / Pea$	Pd=Población desocupada Pea=Población económicamente activa Subíndice de Población
6	Subíndice de Población	$SP = Dp + Phi + Ph + RPlf$	Dp=Densidad de población Phi=Porcentaje de la población de habla indígena Ph=Hacinamiento Plf=Porcentaje de la población con limitaciones físicas
6.1	Densidad de población	$Dp = PT / A$	PT=Población total en cada manzana A=Área en kilómetros cuadrados de cada manzana
6.2	Porcentaje de la población de habla indígena	$Phi = (P5hi / P5m) 100$	P5hi=Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena P5m=Población de 5 años y más
6.3	Hacinamiento	$Ph = Tpv / Ncv$	Tpv=Número total de personas que residen en cada vivienda Ncv=Número de cuartos por vivienda
6.4	Porcentaje de la población con limitaciones físicas	$RPlf = (Plf / (Plf + Psl)) 100$	Plf=Personas que tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana Psl=Personas que no tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana

Los resultados obtenidos de cada subíndice se normalizaron con valores de 0 a 1 para posteriormente calcular el valor final del IVS.

Clasificar resultados del IVS: Para asignar una condición de vulnerabilidad a cada manzana se tomaron en cuenta los rangos de vulnerabilidad social de la Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos en la edición para la evaluación de la vulnerabilidad física y social (Tabla IX) del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006).

Tabla IX Condiciones de vulnerabilidad según los valores obtenidos del índice

Rangos de vulnerabilidad social	Condición de vulnerabilidad
De 0 a 0.20	Muy baja
De 0.21 a 0.40	Baja
De 0.41 a 0.60	Media
De 0.61 a 0.80	Alta
Más de 0.81	Muy Alta

Desplegar datos en ArcMap: Al asignar una condición de vulnerabilidad a cada manzana, se exportaron los datos de Excel a ArcMap como una tabla de atributos. En esta tabla de atributos se mantuvo la clave del AGEB y de la manzana, estos datos también los incluye la capa de donde se obtuvieron los datos que se trabajaron en Excel. Utilizando la clave de manzana se generó un *joint* entre las dos tablas de atributos para incluir la información del IVS a la capa de manzanas impactadas y poder desplegar la información de forma geográfica.

ANEXO CARTOGRÁFICO

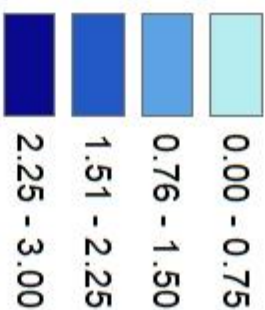
Escenario de inundación en el arroyo "El Aguajito" ante un evento con periodo de retorno de 2 años



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar (Earthstar), CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Simbología

Profundidad (m)



1:7,019



Autor: Carolina Ferman Carral
Fecha: 20/11/20
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 11N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



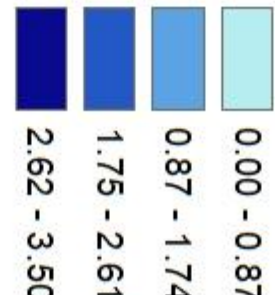
PROTECCIÓN CIVIL
IN SENADA

Escenario de inundación en el arroyo "El Aguajito" ante un evento con periodo de retorno de 5 años



Simbología

Profundidad (m)



1:7,019



Autor: Carolina Ferman Carral
Fecha: 20/11/20
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 11N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



PROTECCIÓN CIVIL
IN SENADA

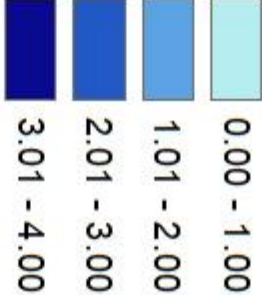
Escenario de inundación en el arroyo "El Aguajito" ante un evento con periodo de retorno de 50 años



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar (Earthstar), CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Simbología

Profundidad (m)



1:7,019



Autor: Carolina Ferman Carral
Fecha: 20/11/20
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 11N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



PROTECCIÓN CIVIL
IN SENADA

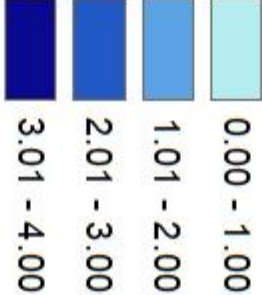
Escenario de inundación en el arroyo "El Aguajito" ante un evento con periodo de retorno de 100 años



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar (Earthstar), CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Simbología

Profundidad (m)



1:7,019



Autor: Carolina Ferman Carral
Fecha: 20/11/20
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 11N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



PROTECCIÓN CIVIL
IN SENADA

VULNERABILIDAD PRESENTE EN ASENTAMIENTOS CERCANOS AL ARROYO "EL AGUAJITO", ENSENADA B.C.



© 2011 Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar (Earthstar), CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Simbología

VULNERABILIDAD

- MUY BAJA
- BAJA
- MEDIA
- ALTA
- MUY ALTA



1:7,019



Autor: Carolina Ferman Carral
Fecha: 20/11/20
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 11N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

