

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS, FACULTAD DE
CIENCIAS MARINAS Y FACULTAD DE CIENCIAS



“PERCEPCIÓN SOCIAL DE INUNDACIÓN Y MODELACIÓN
HIDROLÓGICA DE LA PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA.”

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

PRESENTA:

BERTHA AMALIA SERRATO DE LA CRUZ

Ensenada, Baja California a 1 de Febrero del 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS, FACULTAD DE CIENCIAS
MARINAS Y FACULTAD DE CIENCIAS

DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

PERCEPCIÓN SOCIAL DE INUNDACIÓN Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE
LA PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA.

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

PRESENTA:

BERTHA AMALIA SERRATO DE LA CRUZ

APROBADA POR:



Dr. Alejandro García Gastélum
Presidente del Jurado



Dr. Jorge Ramírez Hernández
Sinodal



Dra. Jesús Eliana Rodríguez Burqueño
Sinodal



Dr. Carlos Figueroa Beltrán
Sinodal



Dra. María Alejandra Sánchez Vázquez
Sinodal

DEDICATORIA

A mis padres, Paulina de la Cruz y Lázaro Serrato (†) por darme la vida y su apoyo incondicional por sobre todas las cosas.

A Elías por la alegría y orgullo que representa su existencia.

A Alfredo Barreras por estar conmigo, aun cuando estoy ausente.

A mi familia, por el apoyo y respaldo que siempre me han dado.

AGRADECIMIENTOS

A Al Dr. Alejandro García Gastélum por su confianza, motivación y por creer en mí.

A los doctores Jorge Ramírez Hernández, Jesús Eliana Rodríguez Burgueño, Carlos Figueroa Beltrán y María Alejandra Sánchez Vázquez por su confianza, respaldo y valiosa aportación.

A los Doctores Cesar Mosso Aranda y Andrés Díaz por sus aportaciones durante mi estancia en la Universidad Politécnica de Cataluña.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Universidad Autónoma de Baja California y al posgrado en Medio Ambiente y Desarrollo, por el apoyo otorgado y por brindarme una oportunidad de preparación y de superación personal.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANRRM - Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana
ARNME - Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada
CEDEX - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CENAPRED - Centro Nacional de Prevención de Desastres
CICESE - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CLICOM - Climate Computing Project
CONAGUA - Comisión Nacional del Agua
COPLADE - Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado
ELZ - Emilio López Zamora
FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GIR - Gestión Integral del Riesgo
IIO - Instituto de Investigaciones Oceanológicas
INE - Instituto Nacional de Ecología
INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
IMIP - Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada
LGPC - Ley General de Protección Civil
PEACCBC, Programa Estatal de Acción ante el Cambio climático
PNPC - Programa Nacional de Protección Civil
PREDECAN - Prevención de Desastres en la Comunidad Andina
PSR - Percepción Social del Riesgo
SEMAR - Secretaría de Marina
SINAPROC - Sistema Nacional de Protección civil
SCS – Soil Conservation Service
SUFRI - Strategies of Urban Flood Risk
UABC - Universidad Autónoma de Baja California
UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction
UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE ACRÓNIMOS	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes	1
Perspectivas sobre la gestión del riesgo de desastre	2
Instituciones encargadas de la gestión integral del riesgo de desastre en México y problemas que enfrentan	7
Formulación y delimitación del problema	16
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Preguntas de investigación.....	17
CAPITULO 2. PERCEPCIÓN SOCIAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO DE PRESA EN ZONA URBANA VULNERABLE.....	19
1. Introducción	19
1.1 Antecedentes	21
1.2 Marco Conceptual	25
1.3 Objetivo general	27
1.3.1 Objetivos Específicos.....	27
1.4 Preguntas de Investigación.....	27

2. Metodología	28
2.1 Las Inundaciones en Ensenada Baja California y la Presa ELZ	30
2.2 Zona de Estudio	33
3. Resultados y discusión	34
3.1 Elementos que se deben considerar en un estudio de percepción social del riesgo de inundación por desbordamiento de una presa.	34
3.2 Elementos de percepción identificados.....	36
Identificación de la amenaza: ¿cuál de los siguientes eventos pudiera afectarle en el lugar donde vive sismo, inundación o tsunami?	36
Identificación del riesgo: ¿porque cree que dicho evento le afectaría?	37
Información previa de inundación: ¿Sabe usted si ha habido inundaciones en Ensenada?.....	38
Base de datos de percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de la presa ELZ en la ciudad de Ensenada, Baja California.	41
4. Conclusiones	42
Bibliografía	43
 CAPITULO 3. MODELACIÓN HIDROLÓGICA	 46
1. Introducción	46
2 Marco conceptual.....	48
2.1 Análisis de amenaza de inundación	48
2.2 Elementos a considerar en modelación hidrológica.....	49
3. Objetivos	63
Objetivo General	63
4. Descripción de la zona de estudio.....	64
• Localización y geografía	64
• Geología	64
• Edafología	65
• Vegetación.....	65
• Clima	65

• Uso actual del suelo.....	65
• Precipitación.....	66
• Hidrología Superficial	66
• La Presa ELZ.....	67
5. Metodología	69
5.1 Procesos para simular el desbordamiento de presa.....	69
Caracterizar geomorfología de una cuenca.....	70
1. Preparación y compilación inicial de los datos del terreno.	70
2. Verificación de la delineación de cauces.	73
3. Preprocesado de la cuenca.....	73
4. Extracción de la cuenca de estudio.	74
5. Modelo de cuenca.....	75
• Métodos de Cálculo y Parámetros Hidrológicos.....	76
• Método de Número de Curva del Soil Conservation Service	77
• Metodología para generar mapa del número de curva	78
• Calculo del tiempo de concentración	79
• Formula de Temez.....	82
• Método de Muskingum	82
• Representación de presas en el modelo de cuenca.	86
• Componentes de las especificaciones de control	89
6. Resultados y discusiones.....	89
6.1 Caracterización geomorfológica de la cuenca	89
6.2 Modelo de Cuenca	94
6.4 Tiempo de concentración (TC)	100
6.4 Representación de la Presa ELZ	102
6.5 Modelo meteorológico	103
6.6 Especificaciones de control y escenario de desbordamiento de la Presa ELZ...	104
7. Conclusiones	113
Bibliografía	114

CAPITULO 4. CONCLUSIONES GENERALES	117
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	118
ANEXO I	121
Exhorto al titular de la Comisión Nacional del Agua.	121
Encuesta.	122
ANEXO II	124
Acuerdo del uso de curvas de elevación-áreas capacidad.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases del Plan DN-III-E y Plan Marina.	10
Tabla 2. Comités científicos asesores del SINAPROC.	12
Tabla 3. Eventos históricos de inundación en la ciudad de Ensenada.	31
Tabla 4. Muestra la procedencia y actividad de los informantes clave (técnicos/científicos).	34
Tabla 5. Definición de los Elementos de la PSR de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana expresada por los entrevistados y preguntas asociadas a la encuesta.	36
Tabla 6. Clasificación de clases antecedentes de humedad para los métodos de abstracciones de lluvia del SCS.	57
Tabla 7. Clasificación de la precipitación acumulada en 24 horas para pronósticos a corto y mediano plazo (24 a 96 horas).	59
Tabla 8. Métodos para subcuenca y tramos del cauce.	75
Tabla 9. Descripción de los elementos hidrológicos en el modelo HMS.	76
Tabla 10. Clasificación de grupos de suelo de la SCS.	80
Tabla 11. Equivalencias para obtener número de curva.	81
Tabla 12. Parámetros base del elemento Presa.	86
Tabla 13. Parámetros base del vertedero.	87
Tabla 14. Descripción de los métodos del modelo meteorológico.	88
Tabla 15. Especificaciones de control	89
Tabla 16. Valor umbral de área de drenaje.	93
Tabla 17. Información espacial utilizada para generar el NC.	96
Tabla 18. Tipos de roca en el modelo de cuenca y su correspondiente grupo de suelo	98
Tabla 19. Tiempo de concentración del modelo de cuenca.	100
Tabla 20. Tramos y tiempo en cada elemento de propagación.	102
Tabla 21. Parámetros estructurales e hidrológicos definidos para la representación de la Presa ELZ.	103
Tabla 22. Características estructurales e hidrológicas definidas para el vertedero.	103
Tabla 23. Especificaciones de control	104
Tabla 24. Resultados del Modelo Meteorológico	105

Tabla 25. Concentrado de resultados del escenario de desbordamiento de la Presa ELZ con 400mm de precipitación.....	105
Tabla 26. Concentrado de resultados de subcuencas de interés.....	106
Tabla 27. Valores establecidos en las variaciones para el NC.....	107
Tabla 28. Resultados del análisis de sensibilidad para las variaciones de NC con 390 mm de precipitación para las subcuencas que drenan al vaso de la presa.	109
Tabla 29. Resumen de ajuste de las funciones.....	111
Tabla 30. Periodos de retorno.	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos en el estudio del desbordamiento de presa.	18
Figura 2. Identificación de la presa ELZ y de la población aguas abajo de la cortina en los fraccionamientos Villa Fontana y Valle Verde.....	20
Figura 3. Diagrama del proceso de investigación.	29
Figura 4. Inundación de 1980 en calles principales.....	32
Figura 5. Impacto de la lluvia de 1993.	32
Figura 6. Identificación de amenaza	37
Figura 7. Muestra el porcentaje personas por rango de edad que saben/no saben que hubo inundación en la ciudad de Ensenada.	39
Figura 8. La cuenca como un sistema hidrológico.	49
Figura 9. Diagrama que explica el escurrimiento.	52
Figura 10. Forma general de un hidrograma y sus componentes.	53
Figura 11. Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS:	55
Figura 12. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS.....	57
Figura 13. Región Hidrológica (RH01), denominada Baja California Noroeste (Ensenada) y sus cuencas.....	66
Figura 14. Procesos de simulación del desbordamiento de presa y programas computacionales a utilizar.	69
Figura 15. Diagrama de flujo para obtener las características geomorfológicas de una cuenca en entorno SIG con HEC- GeoHMS.	71
Figura 16. Representación de la red de drenaje y acumulación de flujo.	72
Figura 17. Proceso para obtener mapa de número de curva.	78
Figura 18. Almacenamiento por prisma y por cuña en un tramo de un cauce.....	83
Figura 19. Cambio de almacenamiento durante un período de tránsito Δt	85
Figura 20. Muestra la selección y preprocesamiento de datos espaciales de la zona de estudio..	90
Figura 21. Identificación y reacondicionamiento de la red de cauces.	91
Figura 22. Modelo Digital de Elevación de la zona de interés válido desde el punto de vista hidrológico.	91

Figura 23. Dirección de flujo. La dirección del flujo se definió buscando el camino descendente de una celda a otra.....	92
Figura 24. Resultado de la red hidrográfica de la cuenca y delimitación de subcuencas de interés con su respectiva área.	93
Figura 25. Modelo de cuenca obtenido en HEC-GeoHMS y sus elementos hidrológicos	95
Figura 26. Mapa de pendientes.	97
Figura 27. Mapa del grupo de suelo.....	98
Figura 28. Mapa de categorías de suelo del modelo de cuenca	99
Figura 29. Mapa del NC del modelo de cuenca.....	99
Figura 30. Longitud máxima que debe recorrer el agua en cada subcuenca.	101
Figura 31. Resultado de la simulación del desbordamiento de la Presa ELZ con 400mm de precipitación.....	106

RESUMEN

“PERCEPCIÓN SOCIAL DE INUNDACIÓN Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA.”

La imagen que un grupo social construye sobre el espacio o territorio en que se desenvuelve es el resultado de la superposición y acumulación de percepciones individuales, dicha percepción constituye una parte de la realidad complementaria a las evaluaciones técnicas. En este trabajo se describe la percepción social del riesgo de inundación de la zona urbana localizada aguas debajo de la cortina de la presa Emilio López Zamora, ubicada al noroeste de la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Se utiliza metodología cualitativa en tres fases: Primera fase se elabora una pregunta conductora que da inicio a la investigación de campo, tiene como objetivo definir qué elementos de la percepción se analizarán. Se utiliza la entrevista semiestructurada. En la segunda fase se diseña una encuesta como técnica de recolección de datos. Cada pregunta hace referencia a los elementos de percepción previamente definidos. En la tercera fase los datos se analizan desde una visión descriptiva. Los resultados muestran que los elementos a considerar en un estudio de percepción del riesgo de inundación son la identificación de la amenaza, la identificación del riesgo, la información previa de inundación y las prioridades de la población en la zona de estudio. Las personas identifican que viven en riesgo ya que la presa Emilio López Zamora inició operaciones en 1978 y actualmente forma parte de la mancha urbana, debido al crecimiento demográfico. Se realiza la modelación hidrológica analizando distintos escenarios de precipitación utilizando HECH-HMS. Los resultados mostraron que una lluvia con intensidad de 400mm, en un periodo de 12 horas, logra desbordar la presa. La información resultante es útil para generar recomendaciones para la oportuna toma de decisiones en el ámbito de protección civil y establecer adecuadas medidas de prevención y mitigación orientadas a reducir los riesgos de desastres o minimizar sus efectos.

Palabras clave: Percepción; desbordamiento; presa; inundación, modelación hidrológica, simulación.

ABSTRACT

“SOCIAL PERCEPTION OF FLOODING AND HYDROLOGICAL MODELING OF THE EMILIO LÓPEZ ZAMORA DAM.”

The image that a social group builds on the space or territory in which it operates is the result of overlapping and accumulation of individual perceptions, that perception is a part of reality complementary technical evaluations. This paper describes the social perception of flooding risk of an urban area located downstream from a dam curtain. Qualitative methodology is used in three stages: Stage a conductive question that begins the field research, aims to define which elements of perception be analyzed is made. Semi-structured interviews were used. In the second phase a survey as data collection technique is designed. Each question refers to elements previously defined perception. In the third phase data are analyzed from a descriptive view. The results show that the elements to consider in a study of flood risk perception are identifying the threat, risk identification, pre-flood information and priorities of the population

People identify that they live at risk since the Emilio López Zamora dam started operations in 1978 and is now part of the urban sprawl, due to population growth. Hydrological modeling is performed analyzing different precipitation scenarios using HECH-HMS. The results showed that a rainfall with intensity of 400mm, in a period of 12 hours, manages to overflow the dam. The resulting information is useful to generate recommendations for timely decision making in the civil protection area and to establish adequate prevention and mitigation measures aimed at reducing the risks of disasters or minimizing their effects.

Keywords: Perception; overflow dam; flood, hydrological modeling, simulation.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En el estudio del riesgo se pueden distinguir dos vertientes: la de las ciencias naturales y exactas y la de las ciencias sociales (Roberts, Nadim, & Kalsnes, 2009; Rodríguez, 2002). De acuerdo con (White, Kates, & Burton, 2001; Lavell 2003; Roberts et al., 2009) existe diferente terminología de riesgo entre estas ciencias, pero también dentro de ellas y los métodos en que se mide y evalúa el riesgo varían ampliamente de una disciplina a otra. Puede medirse según la pérdida económica esperada, o según el número de vidas perdidas o la extensión del daño físico a la propiedad (Coburn, Spence, & Pomonis, 1991).

La inconsistencia en la conceptualización del riesgo en los paradigmas de cada una de las distintas disciplinas que lo estudian, da lugar a diferentes interpretaciones y por lo tanto puede afectar al momento de la toma de decisiones. Desde el paradigma de las ciencias naturales, el estudio del riesgo posee un punto de vista ingenieril y se ha enfocado en el análisis de las amenazas y sus impactos; es decir, en los fenómenos potencialmente dañinos y en sus efectos (principalmente físicos). Bajo este mismo paradigma el concepto de vulnerabilidad se ha definido como vulnerabilidad física o técnica (puesto que se interesa principalmente por los impactos físicos) (Cardona, 2001). Por otro lado, la Geografía ve el riesgo como fenómenos naturales con una amplia gama de variaciones (escala, espacio, repercusiones ambientales) (White et al., 2001).

Por su parte, las ciencias sociales se han enfocado en la capacidad de la sociedad de enfrentar, responder y adaptarse ante cualquier tipo de amenaza. Según White et al. (2001) los sociólogos consideran al desastre como una construcción social dirigiendo sus esfuerzos en la comprensión de su dimensión humana y mejorar la respuesta de la comunidad y la capacidad de recuperación. Se asume que la vulnerabilidad no consiste solamente en la probabilidad de un daño físico, por lo cual, las ciencias sociales le confieren un significado más amplio que las ciencias naturales (Cardona, 2001; Roberts et al., 2009; Wilches-Chaux, 1993).

De acuerdo con Narváez, Lavell y Pérez (2009) del Proyecto de Apoyo PREDECAN, la noción de la construcción social del riesgo se fundamenta en la idea de que el ambiente presenta una serie de posibles eventos físicos que pueden ser generados por la dinámica de la naturaleza, pero su transformación en amenazas reales para la población está intermediada por la acción humana.

Es decir, una amenaza no es el evento físico en sí, sino el peligro asociado con ella, el nivel del cual es determinado, entre otras razones, por factores no naturales o físicos, tales como los grados de exposición o vulnerabilidad de la sociedad. Claramente, la concepción de la construcción social del riesgo se deriva del involucramiento de las ciencias sociales en el estudio del riesgo. Un evento extremo para la ciencia social, sería aquello que causa más daño, con mayor impacto humano. En los enfoques más integradores, el espacio de producción del riesgo se considera un ámbito mixto, en el que interactúan factores naturales y artificiales tanto en la producción del riesgo como en la gravedad de las consecuencias (Perles, 2010).

Aún en los últimos años, los expertos en riesgo (principalmente de las ciencias naturales) se encuentran buscando nuevas formas de complementar o unificar las visiones de las ciencias sociales y ciencias naturales; esto es lo que Roberts et al. (2009) proponen; en particular sugieren que el conocimiento generado por las ciencias sociales en cuanto a vulnerabilidad, debe ser incluirse pero de una manera más cuantificable. Una vez que se tiene claridad sobre las amenazas y la vulnerabilidad de la comunidad, es el momento de empezar a actuar sobre este. La gestión del riesgo a desastre es el paso que sigue.

Perspectivas sobre la gestión del riesgo de desastre

La destrucción de la infraestructura y el desgaste de los medios de vida son resultados directos de los desastres. Además, provocan presiones significativas sobre los presupuestos nacionales y de los hogares, desviando las inversiones destinadas a reducir la pobreza, el hambre y el acceso a los servicios básicos. Los desastres retrasan el desarrollo de comunidades (FAO, 2009).

El objetivo de la gestión del riesgo es garantizar que los procesos de desarrollo impulsados en la sociedad se den en las condiciones óptimas de seguridad posible y que la atención a los desastres y la acción desplegada para enfrentarlos promuevan el desarrollo (González, 2008). La gestión pública de los riesgos suele ser confiada a instituciones que operan en diferentes escalas espaciales (Sapountzaki et. al, 2011). Las relaciones y decisiones que se toman en las escalas inferiores están restringidas por las relaciones y procesos de escala superior (Ramírez, Ghesquiere, & Costa, 2009).

A su vez, las instituciones gestoras del riesgo practican una serie de instrumentos normativos que incluyen la implementación de medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación. La principal acción de la gestión de riesgos es reducirlos, lo que implica procesos de planificación, pero fundamentalmente de ejecución de medidas que modifiquen las condiciones de riesgo mediante la intervención correctiva y prospectiva de los factores de vulnerabilidad existente o potencial y control de las amenazas cuando eso es factible (Carreño, Cardona, Marulanda, & Barbat, 2006).

Además, la gestión del riesgo de desastre se refiere a un proceso social cuyo fin último es la previsión, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles (Ramírez et al., 2009). En cuanto al tema de gestión de riesgos, a nivel mundial, se ha incrementado la adopción de medidas para tratar de mitigar las consecuencias provocadas por las inundaciones.

En la Unión Europea el objetivo principal en reducción del riesgo se centra en la prevención frente a inundaciones; a partir del 2009, seis entidades colaboradoras de cuatro países diferentes (Austria, Alemania, Italia y España) participan desarrollando el proyecto SUFRI (ERA-Net CRUE, 2011). El proyecto se basa en que en zonas urbanas la protección y retención frente a inundaciones es más problemática que en zonas rurales debido a la limitación de espacio junto con la elevada densidad de población y que las medidas estructurales para la protección frente a inundaciones tienen una aplicabilidad limitada, de modo que la protección absoluta no es posible.

Las medidas estructurales para la reducción del riesgo de inundación comprenden todas aquellas medidas consistentes en la construcción de obras civiles con el fin de proteger áreas frente a inundaciones. Sin embargo, puede producirse un aumento del riesgo en determinadas circunstancias cuando la percepción del riesgo de inundación ha disminuido por la existencia de la estructura, derivando en la urbanización de áreas inundables. Para evitarlo, deben desarrollarse políticas adecuadas de planeación urbana. Estas medidas proporcionan protección hasta un determinado evento, llamado evento de diseño, a partir del cual se produce la inundación.

Por otro lado la aplicación de medidas no estructurales puede ayudar a reducir sus consecuencias, especialmente la pérdida de vidas. Por ello, en el proyecto SUFRI, las medidas no estructurales buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir de la planeación y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de la catástrofe. Dichas medidas comprenden las políticas, advertencias, medidas para desarrollo del conocimiento, procesos legislativos y de participación pública y recopilación de información que permiten la reducción del riesgo. El principal objetivo del proyecto SUFRI radica en la mejora de la gestión del riesgo de inundación en zonas urbanas mediante medidas no estructurales incluyendo sistemas avanzados de aviso, análisis de vulnerabilidad y comunicación del riesgo.

En la comunidad Andina, el proyecto PREDECAN (Narváez et al., 2009), propone a la gestión del riesgo de desastre como una herramienta conceptual dirigida a actores sociales e institucionales comprometidos con la gestión del riesgo de desastres. Busca avanzar en la comprensión del riesgo y su intervención a través de un enfoque basado en procesos, como un aporte para mejorar la coordinación de sistemas organizacionales. El enfoque por procesos plantea, que la gestión se concentre en los procesos clave que la organización debe realizar para lograr su misión, y no en las unidades o departamentos.

Para enfocar por procesos a la gestión del riesgo de desastre, es necesario comprender y distinguir que existen dos tipos de procesos esenciales relacionados con el riesgo del desastre: por una parte, los que tienen que ver con la generación o construcción del riesgo; y, por la otra, los que tienen que ver con las distintas formas de intervenirlo.

Los procesos enfocados a la intervención del riesgo pueden y deben realizarse cuando el riesgo de desastre ya es conocido, debe orientarse a establecer medidas de preparación de la comunidad y a las instituciones para afrontar y responder frente al probable escenario de desastre. Después de ocurrido el fenómeno, será necesaria la intervención para restablecer provisionalmente un cierto nivel de actividad social y económica de la comunidad afectada; y una vez que se identifique y evalúe la magnitud de los daños producidos, la intervención se orientará hacia la formulación y ejecución de planes y proyectos de recuperación y reconstrucción de las zonas afectadas.

Para el proyecto PREDECAN las organizaciones responsables de la gestión del riesgo de desastre deben ejecutar seis procesos clave o misionales:

1) generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos, necesario para identificar los factores de riesgo de desastre (amenazas, vulnerabilidades y exposición); así como evaluar y hacerle seguimiento de manera permanente a su evolución y a las intervenciones realizadas sobre el mismo;

2) prevenir el riesgo futuro, con el fin de identificar los procesos sociales generadores del riesgo y evitar que concurran;

3) reducir el riesgo existente, con el fin de establecer y tomar medidas correctivas y se puedan reducir o mitigar con anticipación los posibles efectos del fenómeno peligroso antes de que ocurra;

4) preparar la respuesta, de modo que las instituciones y la población puedan actuar y responder correctamente en caso de que el desastre ocurra;

5) responder y rehabilitar, con el fin de atender y asistir a la población cuando el desastre ocurre; y

6) recuperar y reconstruir las zonas que han sido afectadas, incluyendo la recuperación social, económica y física de la población y sus modos de vida.

El proyecto PREDECAN establece que en cada uno de estos seis procesos claves participan entidades del estado, organizaciones sociales, académicas y otras, tanto de nivel nacional, local, e incluso de nivel internacional, quienes en conjunto conforman el Sistema de

Gestión del Riesgo de Desastre. Cada una de estas entidades debe comprender en forma muy clara en qué procesos y en qué momentos les corresponde intervenir, lo que es posible determinar solamente cuando se hayan definido previamente y de manera conjunta cuáles son los procesos y las actividades específicas en que participan y cómo se relacionan e interactúan unas con otras en dichos procesos.

De esta forma, la sociedad en riesgo requiere mecanismos específicos para gestionar las distintas condiciones de riesgo que existen o que pueden llegar a existir, dichos mecanismos son definidos como políticas públicas de gestión del riesgo. Una política de identificación del riesgo debe ser elaborada a partir de la relación de la percepción de la sociedad ante el riesgo y del análisis y evaluación de ese riesgo (González, 2008).

De acuerdo con el grupo de trabajo sobre gestión integral del riesgo de la universidad de la República, Uruguay (Loarche & Tabasso, 2011) la gestión debe ser integral, abandonando la tradicional fragmentación temporal, espacial e institucional propia de las mayorías de las actuaciones. González (1999) identifica cuatro momentos claves para lograr una gestión integral del riesgo:

- 1) la gestión de la peligrosidad, actuando sobre la mitigación de los efectos del evento concreto;
- 2) la gestión de la vulnerabilidad, actuando sobre la situación de los sectores sociales vulnerables asentados en las áreas afectadas;
- 3) la gestión de la respuesta, para actuar durante el fenómeno; y
- 4) la gestión de la rehabilitación, actuando para recuperar la “normalidad” en los sectores afectados.

Esta conceptualización del riesgo pone en evidencia la relación existente entre la gestión de los riesgos y las políticas de desarrollo, en particular teniendo en cuenta que muchas veces son los propios procesos de desarrollo los que contribuyen a propiciar situaciones de riesgo (Loarche & Tabasso, 2011).

Los sistemas de gestión de riesgo en la sociedad moderna son inevitablemente interdisciplinarios y, por lo tanto, difíciles de diseñar, construir y mantener. Las unidades técnicas requieren conocimiento avanzado y habilidades en ingeniería e informativas, las unidades sociales requiere un entendimiento del diseño de la organización, de la política pública de la sociología y comunicaciones. Por tanto, los sistemas de gestión de riesgo requieren una visión de equipo de operaciones efectivas, un grupo de gestores experimentados y capaces, cada uno con un conocimiento profundo y habilidades específicas y con suficiente entendimiento de los campos complementarios (González, 2008).

En lo que respecta a la gestión local del riesgo, se realiza a un nivel espacial particular al cual se le denomina local y que puede ser una expresión del barrio, cuadra, cuenca, región o una comunidad. Esta se caracteriza por incluir una participación activa de los actores sociales, quienes tienen diferentes roles a nivel local, tales como alcalde del municipio, el ama de casa dentro de la familia, la jefa o jefe en una determinada institución pública y en general todo aquel habitante responsable de una institución u organización presente en la localidad. La comunidad educativa es uno de los actores sociales que debería estar presente en todo proceso de gestión local del riesgo ya que son esa gran comunidad capaz de incidir en la transformación (Loarche & Tabasso, 2011). Para que la población participe en la gestión de los riesgos de desastre que se le presentan, los programas deben ser contruidos desde la particularidad de cada comunidad territorial, a partir de la cual y en vinculación con otras comunidades semejantes, se va escalando hacia territorios y adscripciones administrativas más amplias, como los municipios y los estados (Ancona & Rabasa, 2009).

Instituciones encargadas de la gestión integral del riesgo de desastre en México y problemas que enfrentan

En la década de los 40 después de la reciente creación de la SEMAR como Secretaria de Estado, al incrementarse las actividades marítimo-pesqueras en el país, aumentó también el número de casos de accidentes tales como hundimientos, varaduras y encallamientos que requirieron la intervención de los Mandos Navales para la preservación de la vida humana en la mar. La SEMAR auxiliaba a la población civil en casos y zonas de desastre o emergencia.

Los sucesos que marcan la pauta para dar respuesta coordinada en atención a víctimas del desastre, son los ocurridos en mayo de 1966, derivado del desbordamiento del Río Panuco en Veracruz y Tamaulipas, y el desbordamiento de la presa de los Conejos (hoy presa La Purísima) en Irapuato, el 18 de agosto de 1973. Estos acontecimientos sientan las bases para la participación del Ejército en las labores de auxilio a la población creando el plan de defensa número III (PLAN DNIII) el cual fue incluido en la Planeación de Defensa Nacional.

El plan DN-III-E es un instrumento operativo militar que establece los lineamientos generales a los organismos del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos, para realizar actividades de auxilio a la población civil afectada por desastres ocasionados tanto por fenómenos naturales como antropogénicos, siendo los principales: fenómenos geológicos (volcanes y sismos), fenómenos hidrometeorológicos (sistemas invernales y tropicales) y fenómenos químico-tecnológico (incendios). El plan DN-III-E consta de tres fases que se presentan en la Tabla 1. Cabe mencionar que para generar una atención coordinada a la población afectada, en cada fase, el plan se destaca en apoyar a los sistemas estatales y municipales de protección civil, así como coadyuvar con las fuerzas de seguridad pública para preservar la actividad económica y los bienes de la población (PLAN DN-III-E, 2017).

El 6 de mayo de 1986 se creó el SINAPROC, ocho meses después de los sismos de septiembre de 1985 que impactaron gravemente a la Ciudad de México- con la finalidad de establecer un sistema que permitiera a las autoridades y a la sociedad civil coordinarse de una manera eficiente y rápida en caso de un desastre. Es decir, establece lazos de colaboración entre la federación, estados, municipios y sociedad para proteger a la persona y a la sociedad y su entorno ante la eventualidad de los riesgos y peligros que representan los agentes perturbadores y la vulnerabilidad en el corto, mediano o largo plazo, provocada por fenómenos naturales o antropogénicos, a través de la GIR y el fomento de la capacidad de adaptación, auxilio y restablecimiento en la población, mediante las autoridades que componen el sistema. El SINAPROC se rige como la máxima instancia nacional para la prevención de los desastres (SINAPROC, 2017).

El SINAPROC ha logrado avances importantes pero aún persisten elementos a mejorar para reducir el riesgo de desastres y crear enfoques preventivos para evitar que los desastres sucedan, o por lo menos reducir el impacto. Además la evaluación del SINAPROC en México por parte la OECD (2013) identifica en sus conclusiones que México invierte 5 veces más en reconstrucción por efectos de desastres que en prevención.

Por otro lado, la SEMAR quedó integrada al SINAPROC con sus acciones de auxilio a la población en casos y zonas de emergencia o desastre. El rol de la SEMAR, es el de actuar bajo su propio plan en coordinación con las autoridades integrantes del consejo de protección independientemente de la información proporcionada directamente al alto mando. En Julio del 2001, el entonces Almirante Secretario de Marina, comunicó a los Mandos Navales la implementación de un plan homólogo al DN-III, con una organización Institucional y una estructura de las acciones de auxilio en cuatro niveles de actuación: local, regional, litoral y nacional y para distinguirse del plan DN-III se le denominó “Plan Marina” (SEMAR, 2017). En dicho plan, los mandos navales rinden diariamente al estado mayor general a más tardar a las 20:00 horas, las estadística operativas de las 24 horas anteriores. De igual forma canalizan cualquier novedad relevante.

En plan DN-III y el plan Marina, al estar homologados, constan de las mismas fases (Tabla 1), la diferencia es que el plan Marina incluye auxilio a la población a nivel litoral. Además, por ser parte de la SEMAR, se contempla la siguiente información de la dirección general adjunta de oceanografía, hidrografía y meteorología:

- Elaborar los boletines meteorológicos rutinarios así como mantener el seguimiento de aquellos fenómenos que potencialmente puedan afectar el territorio nacional;
- Elaborar boletines meteorológicos especiales cuando un fenómenos hidrometeorológico tenga probabilidades de afectar el territorio nacional;
- Mantener actualizada una presentación electrónica sobre los cambios de situación del meteoro para ser presentada en las reuniones de los consejos de crisis y/o protección civil; y
- Reportar de inmediato cualquier cambio imprevisto en el desarrollo del hidrometeoro que afecte las operaciones.

Tabla 1. Fases del Plan DN-III-E y Plan Marina.

Plan DN-III-E y Plan Marina	Descripción	Actividades
Fase I. Prevención	Preparación para reaccionar en forma oportuna y tomar acciones dirigidas a controlar el riesgo, evitar o mitigar el impacto destructivo de los desastres sobre la vida y bienes de la población, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente.	Verificar el estado de rutas principales y alternas de evacuación. Actualizar mapas de riesgo para identificar posibles afectaciones a la población. Comprobar estado físico de las instalaciones designadas como centros de acopio, inventario de recursos, albergues y refugios temporales. Mantener enlace con los Consejos Estatales y Municipales del Sistema de Protección Civil. Los mandos navales establecerán recorridos marítimos y/o aéreos, de verificación para comprobar que no existan embarcaciones navegando en su área de responsabilidad. En caso de negativa a ser evacuados, se hará uso de la “carta de deslinde de responsabilidad”.
Fase II. Auxilio	Son las acciones destinadas primordialmente a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y la planta productiva y a preservar los servicios públicos y el medio ambiente, ante la presencia de un agente destructivo.	Se llevan a cabo planes específicos de emergencia Coordinación de las acciones de auxilio a las personas afectadas (transporte, evacuación preventiva, administración de refugios temporales). Evaluación de Daños (reconocimiento físico, pérdida de vidas humanas, identificar riesgos). Organización, coordinación y realización de las labores de búsqueda, rescate y asistencia médica. Distribución de bienes y productos básicos. Esta etapa finalizará cuando los mandos responsables de la aplicación del “Plan Marina” hayan comprobado que no existe población atrapada, aislada o en peligro. Los mandos navales implementarán, de acuerdo a sus medios, recorridos aéreos, marítimos, fluviales y/o terrestres de verificación en la totalidad de su área de responsabilidad.
Fase III. Recuperación	Proceso orientado a la reconstrucción y mejoramiento del sistema afectado (población y entorno), así como a la reducción del riesgo de ocurrencia y la magnitud de los desastres futuros.	Se tiene por objetivo establecer los servicios básicos y a petición de las autoridades civiles, se apoya principalmente en la rehabilitación de los caminos y recuperación de los servicios de salud, luz y agua.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo el CENAPRED fue inaugurado el 11 de mayo de 1990, para realizar actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogénicos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos. Su filosofía de trabajo parte de lo particular a lo general: la primera instancia responsable de atender un desastre es el gobierno municipal; si su capacidad se ve rebasada, solicita apoyo al gobierno del propio estado y el municipio cercanos. El paso siguiente es el gobierno de otros estados y, por último el gobierno federal.

El presidente de la república puede decretar el estado de desastre y coordinar la ayuda federal e internacional. La responsabilidad principal del CENAPRED consiste en apoyar al SINAPROC en los requerimientos técnicos que su operación demanda, tales como promover la aplicación de las tecnologías para la prevención y mitigación de desastres; impartir capacitación profesional y técnica sobre la materia, y difundir medidas de preparación y autoprotección entre la sociedad mexicana expuesta a la contingencia de un desastre (CENAPRED, 2017a).

Por otro lado, uno de los grandes proyectos del CENAPRED es la elaboración de un atlas nacional de riesgos, compendio que señala cuales zonas del país son susceptibles de sufrir los efectos de un fenómeno (Catalán, 2001). Para tal efecto, se formaron cinco comités científicos asesores del SINAPROC (Tabla 2) por acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 6 de junio de 1995, como órganos técnicos de consulta en la prevención de desastres. Los resultados de sus investigaciones alimentan al SINAPROC. El Atlas Nacional de Riesgos es un sistema integral de información, que permite establecer bases de datos y realizar el análisis del peligro, de la vulnerabilidad y del riesgo ante desastres a escala nacional, regional, estatal y municipal, con objeto de generar mapas y sistemas geográficos de información. Con ello se estará en posibilidad de simular escenarios de desastres, emitir recomendaciones para la oportuna toma de decisiones y establecer efectivas medidas de prevención y mitigación. Además los resultados del atlas pueden incorporarse a los programas de desarrollo urbano, y reordenamiento territorial, permitiendo que el riesgo disminuya y se salvaguarde la vida de la población. Adicionalmente sirven para darse certidumbre a los programas de inversión ya que permiten asegurar que la nueva infraestructura sea segura (CENAPRED, 2017b).

Tabla 2. Comités científicos asesores del SINAPROC.

Comité Científico asesor	Características
Sobre fenómenos perturbadores de carácter Geológico	Integrado por investigadores y funcionarios de diversas instituciones con especialización en materias como geología, sismología, vulcanología, mecánica de suelos y geoquímica, entre otras. Entre sus proyectos más importantes está la revisión general del riesgo volcánico y riesgos geológicos de carácter sísmico.
Sobre fenómenos perturbadores de carácter Hidrometeorológico	Líneas de investigación centradas en radares hidrometeorológicos, reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura carretera e inundaciones ocasionadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos.
Sobre fenómenos perturbadores de carácter Químico	Escenarios que ofrecen los riesgos químicos, como son el transporte de materiales peligrosos, seguridad industrial y ocupacional, protección ambiental, instalaciones subterráneas, manejo de medicamentos caducos, almacenamiento de reactivos, materiales pirotécnicos, incendios forestales, entre otros.
Sobre fenómenos de Ciencias Sociales	Grupo de trabajo que reúne profesionistas de diversas disciplinas humanistas como planeación urbana, análisis de movimientos sociales, planificación económica, etc. Sus contribuciones permiten mejorar la eficiencia del SINAPROC.
Asesor del Volcán Popocatepetl	Como consecuencia de la actividad presentada por el volcán Popocatepetl, desde diciembre de 1994, el CENAPRED instrumentó una serie de acciones para vigilar la variación que dicha actividad para preparar y difundir medidas de autoprotección a la población. Las actividades del comité, aunadas a la labor permanente de monitoreo del CENAPRED, han permitido proporcionar a las autoridades de protección civil elementos valiosos para la oportuna toma de decisiones, en relación con la actividad de este volcán en sus períodos de crisis.

Fuente: Elaboración propia.

Los atlas de riesgos a nivel municipal son de importancia estratégica para la planificación del desarrollo regional, urbano, rural y sectorial, así como para su correcta implementación. La LGPC vigente define que la coordinación nacional de protección civil podrá capacitar a las autoridades municipales para el análisis de riesgos así como prestar ayuda para la delimitación de zonas de riesgo. Sin embargo, los avances en este sentido son limitados con respecto a las necesidades en México ocasionando que el nivel municipal sea el eslabón más débil del SINAPROC en el país.

El diagnóstico del PNPC (2014-2018) reconoce que actualmente el ANRRM se encuentra desactualizado y su escala de representación no permite llevar a cabo consultas sobre el nivel de riesgos existentes en una zona de interés y tampoco identificar con precisión zonas de riesgo y zonas de riesgo grave, siendo las primeras, de acuerdo con la LGPC, en las que existe la probabilidad de que se produzca un daño originado por un fenómeno perturbador y las segundas, donde además, se registra alta vulnerabilidad física o social de asentamientos humanos. Esto resalta aún más la urgencia de actualizar y mejorar los atlas de riesgo estatal y municipal y construir los atlas municipales que aún no se han desarrollado. Es fundamental insistir en la importancia del análisis de la vulnerabilidad social y física en esos atlas, siendo una gran tarea pendiente hasta ahora (Cavazos, 2015).

El principal obstáculo para la elaboración del ARNME fue la falta de información debidamente registrada y georreferenciada, ya que se carece de un sistema integrado de información, principalmente de registros de efectos o impactos directos e indirectos para realizar el análisis de riesgo que relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, ya que así se determinan los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales en el municipio. Por lo anterior, se procedió a realizar durante las reuniones de la Mesa de Trabajo, una consulta y recopilación de información que incluyera la georreferenciación de los eventos naturales que han impactado al municipio de Ensenada. En especial se detectó que los eventos más recurrentes son la sequía, la sismicidad y las inundaciones (ARNME, 2012).

La protección civil en México ha tenido avances importantes durante las últimas décadas y se encuentra en un proceso de transición, de un enfoque primordialmente reactivo, a la construcción de un sistema preventivo de los desastres. En este proceso, las instituciones encargadas de la gestión integral del riesgo de desastre en México, según el diagnóstico del PNPC 2014-2018 enfrentan los siguientes problemas:

- Las Unidades Internas de Protección Civil del Gobierno de la República han sido consideradas como instancias ajenas a la GIR y no actúan de modo colaborativo en la tarea transversal de reducir sistemáticamente los riesgos e impulsar criterios preventivos en la planeación del desarrollo;
- Tanto los municipios, como los gobiernos estatales y las dependencias de la Administración Pública Federal no cuentan con estrategias que les permitan hacer frente a fenómenos perturbadores, sin ver detenidas sus actividades primordiales;
- Falta de vinculación con la ciudadanía para reducir su vulnerabilidad ante los desastres;
- Existe la necesidad de impulsar campañas de responsabilidad social y compromisos con la población, sumando los recursos humanos y materiales de la iniciativa privada y especialmente de los medios de comunicación, que son una parte importante del SINAPROC. Es importante mencionar que los primeros en atender una emergencia es el personal especializado más cercano a la población. Por lo tanto, una estrategia de eficacia operativa debería estar orientada a la formación de cuadros locales de protección civil provenientes del ámbito comunitario;
- La participación social en el SINAPROC ha sido mínima, dada la escasa promoción a la cultura de protección civil; la población vulnerable y expuesta a un peligro cuenta con poca información sobre la situación de riesgo en la que vive, limitando su participación en la gestión del riesgo y su capacidad de resiliencia es mínima;
- La promoción gubernamental de la cultura de protección civil no ha sido suficiente para llegar a las localidades con menos de 2,000 habitantes, regiones con población indígena o personas que enfrentan barreras de comunicación asociadas a una discapacidad;
- No se cuenta con información sobre el impacto de las campañas de sensibilización e información entre la población, por lo que no se identifica con certidumbre cuáles son las capacidades o conocimientos con los que cuentan para responder preventiva o reactivamente ante los agentes perturbadores a los que están expuestos;

- El SINAPROC tiene una mínima vinculación con organismos nacionales e internacionales y con instituciones académicas o centros de investigación, limitando el intercambio de conocimientos y experiencias en materia de protección civil y GIR;
- No existe un sistema de acreditación de competencias para formar recursos humanos en materia de GIR que atienda las necesidades de las Coordinaciones Estatales y Municipales de Protección Civil, por lo que no es posible evaluar al personal encargado de actividades de protección civil. De igual forma, los programas educativos carecen de información relacionada a la GIR, por lo cual la difusión de ésta es prácticamente nula;
- Persiste la imagen en buena parte de la sociedad de que sólo el gobierno, en sus tres niveles, es responsable único de la atención de la emergencia, quedando en muchas ocasiones limitada su capacidad de respuesta;
- El Gobierno de la República ha centralizado sus recursos humanos y materiales en la generación de un modelo de gestión de riesgos poco cooperativo, vertical e ineficiente, lo que provoca una atención tardía al atender eventos simultáneos;
- Históricamente se ha dejado en manos de las fuerzas armadas la atención del desastre, minimizando las acciones de prevención y la capacidad de todos los integrantes del SINAPROC y de la sociedad, lo que implica una importante pérdida de capacidad de respuesta, duplicación de esfuerzos y gastos excesivos en reconstrucción;
- Se han establecido asentamientos humanos en zonas de riesgo por la necesidad de vivienda, ignorando los peligros a los que se exponen. A ello se suma la poca o nula planeación urbana o desatención de las autoridades en regular el asunto. Esto ha provocado que fenómenos naturales perturbadores cobren la vida de personas por derrumbes e inundaciones, principalmente. La LGPC 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;
- Aunque las entidades federativas han hecho esfuerzos en la integración de información sobre los peligros y vulnerabilidades existentes en su territorio, por medio del desarrollo de sus atlas de riesgo, éstos no se encuentran consultables ni homogenizados en una plataforma común, tampoco consideran el componente de cambio climático, lo que dificulta su consulta por parte de los tomadores de decisiones y la población en general.

Formulación y delimitación del problema

El cambio climático según la UNISDR (2009) es un cambio en el clima que persiste durante décadas o periodos más prolongados y que surge ya sea de una causa natural o de las actividades humanas. Por esta razón en el estado de Baja California la ley de prevención, mitigación y adaptación del cambio climático (Ley de prevención, mitigación y adaptación del cambio climático, 2012) de los criterios generales para la definición de políticas de mitigación y adaptación se menciona que en materia de protección civil, en los mapas de riesgo, se considerarán los escenarios de vulnerabilidad y que en toda inversión para infraestructura estatal o municipal, se estimarán los efectos del cambio climático ante futuros fenómenos hidrológicos y meteorológicos extremos, para propiciar la reubicación de asentamientos humanos alejándolos de zonas de riesgo.

El reporte del estudio del atlas de riesgo y peligros naturales realizado por el IMIP y UABC (2007) menciona que un evento extremo de precipitación fluvial en la ciudad de Ensenada podría ocasionar el desbordamiento de la presa ELZ, la cual fue construida en 1976 con el propósito de controlar avenidas. Además que la presa no ha sido desazolvada desde su construcción en 1976, y se recomienda hacer un estudio detallado para revisar si la presa no ha superado su capacidad de azolve y prevenir un posible desbordamiento que se ocasione por precipitaciones extremas. Por su parte, la CONAGUA destino recursos para realizar un estudio sobre la capacidad de azolve en la presa ELZ. El estudio realizado en el 2009 estuvo a cargo del Dr. Jorge Ramírez y la Dra. Eliana Rodríguez del área de medio ambiente del instituto de ingeniería de la UABC, y el 06 de febrero del 2013 la CONAGUA (2013) aprobó utilizar las nuevas curvas de elevación-áreas-capacidades obtenidas de las batimetrías de dicho estudio.

Por otro lado, el 28 de Febrero del 2012, diputados del grupo parlamentario del Partido Revolucionario Institucional, del grupo parlamentario del Partido Verde Ecologista de México, del partido Estatal de Baja California y del partido del Trabajo, de la XX legislatura del congreso del estado de Baja California y vecinos de la presa ELZ, emitieron un exhorto (Anexo I) al titular de la Comisión Nacional de Agua, así como al representante del organismo de cuenca de península Baja California a que presenten un dictamen sobre el estado actual de la presa ELZ

ubicada en el municipio de Ensenada y dar una explicación que genere certidumbre ya que temen que por falta de mantenimiento de esta se vaya a desbordar y cause alguna catástrofe en la zona.

Para atender a esta problemática, en el presente trabajo se realiza un estudio del desbordamiento de la presa ELZ que incluye la percepción social y modelación hidrológica.

Objetivo General

Percepción social de inundación y modelación hidrológica de la presa ELZ.

Objetivos Específicos

Objetivo 1. Conocer la percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de la presa ELZ.

Objetivo 2. Simular las condiciones de desbordamiento de la presa ELZ.

Preguntas de investigación.

1. ¿Qué elementos se deben considerar en la Percepción Social del Riesgo (PSR) de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana?
2. Las personas que viven aguas abajo de la cortina de una presa ¿Qué escenarios crean con base a su percepción del riesgo?
3. ¿Cuáles son los escenarios con eventos de precipitación que logran desbordar la presa?

Las interrogantes 1 y 2 están relacionadas con el objetivo 1. Por su parte, la interrogante 3 se enfoca en el objetivo 2.

El estudio del desbordamiento de la presa ELZ (Figura 1) se basa en una visión multidisciplinaria que incluye procesos clave relacionados tanto de las ciencias naturales como de las ciencias sociales. La *Percepción Social del Riesgo* se desarrolla en el capítulo 2, y la modelación hidrológica se presenta en el capítulo 3. En ambos, se identifican procesos de dirección y de apoyo que definen las acciones que requieren internamente los procesos clave.

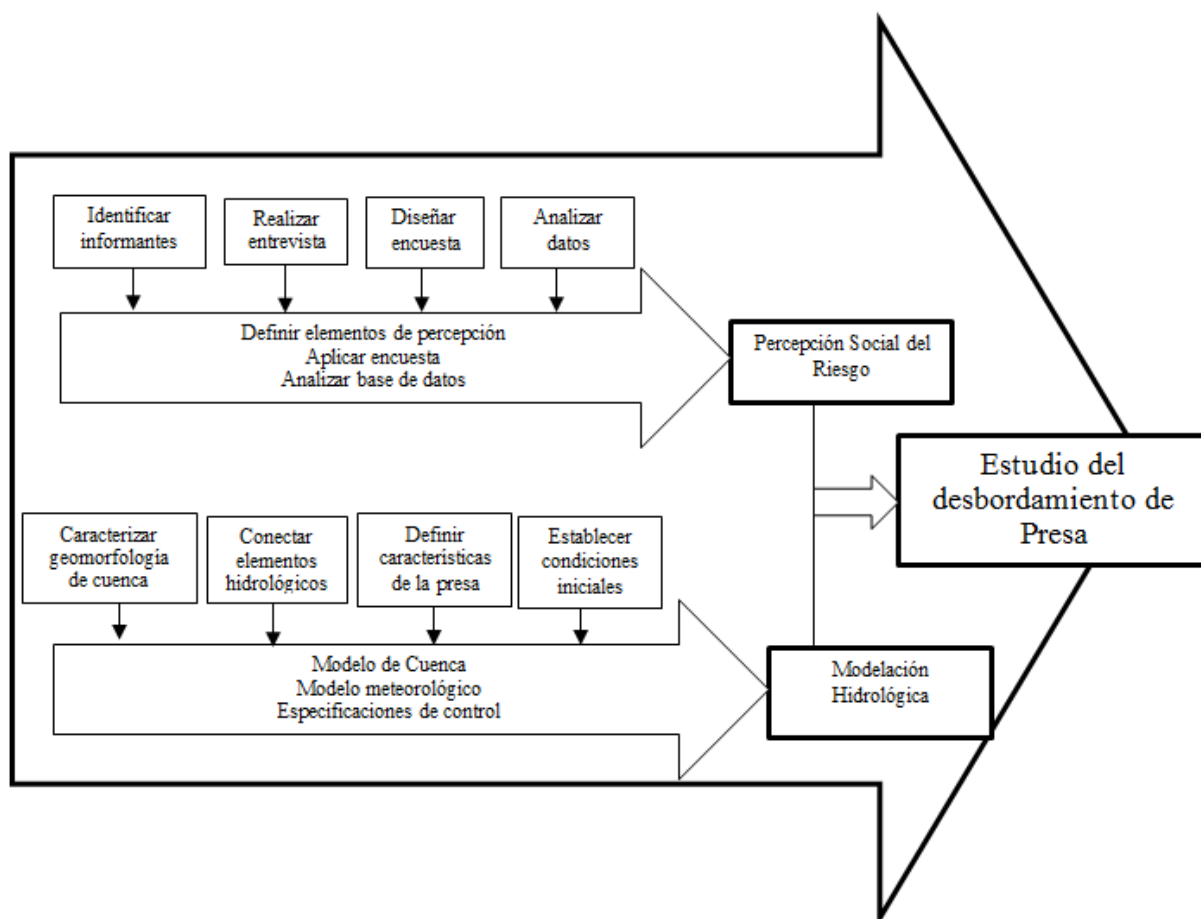


Figura 1. Procesos en el estudio del desbordamiento de presa.

Fuente: Elaboración propia.

Los procesos están enfocados a un fin común, estudiar escenarios de desbordamiento de la presa ELZ para proporcionar información sobre el estado actual a las autoridades competentes y vecinos de la presa, ya que temen que por falta de mantenimiento esta se vaya a desbordar y cause alguna catástrofe. De esta manera los tomadores de decisiones podrán intervenir estableciendo medidas de preparación de la comunidad para afrontar y responder frente a un probable escenario de desbordamiento de presa en la zona urbana.

CAPITULO 2. PERCEPCIÓN SOCIAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO DE PRESA EN ZONA URBANA VULNERABLE

1. Introducción

Una presa es una obra artificial construida a lo ancho de un valle y que permite retener agua y cualquier material transportado por el agua, con el fin de crear un embalse y controlar el caudal. Por otra parte, una presa puede ser fuente de riesgo, por una ruptura o cuando desaloja un gran volumen de agua almacenada en un lapso corto de tiempo. El ANRRM (CENAPRED, 2001) identifica que una presa es considerada particularmente peligrosa, desde el punto de vista de vidas humanas, cuando aguas abajo de la misma existen poblaciones con más de 200 viviendas o mayores de 1 000 habitantes que pueden ser afectados por las aguas desalojadas por la presa; o bien, desde el punto de vista de daños potenciales, cuando existen centros de intensa actividad industrial o áreas con un alto índice de productividad agrícola o explotación diversa, de 500 o más hectáreas, en la zona a la que pueden cubrir las aguas provenientes de estos embalses.

El riesgo de inundación se convierte en desastre cuando la inundación es de proporciones inusuales, ocurren en lugares poco comunes, o se producen de forma inesperada, superando así la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente al evento (Guha-Sapir, Jakubicka, Vos, Phalkey, & Marx, 2010).

A través del tiempo se han construido obras hidráulicas para protegerse de las inundaciones. Los datos contenidos en el Inventario de Presas del Sistema de Seguridad de Presas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014) muestran que en México hay 6039 presas, de las cuales 538 están destinadas al control de avenidas, 5 para el control de azolves, 51 para protección contra inundaciones y el resto está destinado para otros fines.

De acuerdo con el CENAPRED (2013), cuando se da el fallo de una estructura hidráulica, la súbita liberación de miles de toneladas de agua sobre asentamientos humanos puede causar enormes pérdidas humanas y materiales, además de graves daños al medio ambiente.

La seguridad de presas nos dice que una presa debe ser construida lejos de una zona urbana como prevención de un posible desastre. Particularmente en zonas áridas donde las precipitaciones son escasas, es común que la zona urbana se extienda hacia zonas de riesgo, inclusive aguas abajo de la cortina de una presa. Tal es el caso de la presa ELZ en la ciudad de Ensenada que se muestra en la Figura 2.

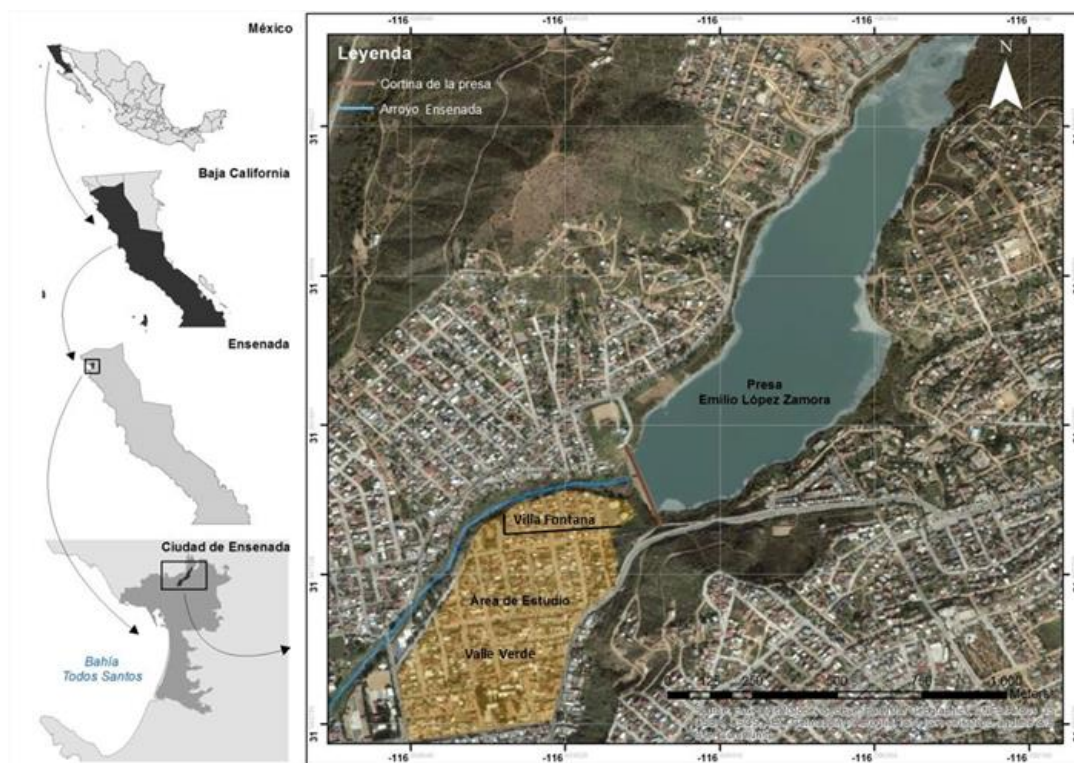


Figura 2. Identificación de la presa ELZ y de la población aguas abajo de la cortina en los fraccionamientos Villa Fontana y Valle Verde.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, una comunidad puede no tener conocimiento de la existencia del riesgo de inundación por desbordamiento de presa, debido a la falta de información confiable respecto al riesgo y/o a la poca frecuencia con que ocurren precipitaciones. La percepción del riesgo de inundación tiene un papel importante en las decisiones que toma la gente. Integrar este

conocimiento local junto con el conocimiento técnico y científico puede dar legitimidad y eficacia en los procesos de toma de decisiones para la mitigación y la gestión de riesgos de inundación (Figueiredo, Valente, Coelho, & Pinho, 2009).

Este capítulo tiene como objetivo analizar la percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana de la Ciudad de Ensenada, B. C., que se muestran en la figura 1 y que incluye dos fraccionamientos, Valle Verde localizado a 400 metros aguas abajo de la cortina de la presa ELZ y Villa Fontana localizado a 100 metros de la misma en la mayor parte de la zona de estudio el uso de suelo es habitacional. La zona está conformada por 22 manzanas que cuentan con una población de 2,070 habitantes. En la investigación se emplean técnicas cualitativas para definir qué elementos que se deben considerar en un estudio de percepción del riesgo de inundación desde una visión interdisciplinaria y se aplica una encuesta a la población para conocer la percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de la presa ELZ.

1.1 Antecedentes

Los daños ocasionados por inundaciones en zonas urbanas se deben a la ignorancia y negligencia de las personas, así como de las autoridades que permiten la formación de asentamientos humanos en áreas de alto riesgo para la población. La inadecuada planeación del uso del suelo, así como el mal diseño de puentes y obras en los cauces de los ríos, aumentan la vulnerabilidad de la población (CENAPRED, 2003; Figueiredo et al., 2009). Por lo tanto, comprender la percepción de riesgo de la población es esencial para diseñar políticas y planes eficaces de prevención y mitigación del riesgo. La percepción de riesgo un importante predictor de la mitigación del riesgo o un ajuste en el comportamiento de acuerdo a Ho et al. (2008) y Figueiredo et al. (2009).

Figueiredo et al. (2009) realizaron un estudio sobre la percepción social del riesgo de inundación en el municipio de Agueda, Portugal, donde la frecuencia y la intensidad de las inundaciones han ido en aumento en los últimos años. Aplicaron una encuesta a la población con el objetivo de abordar las percepciones sociales locales sobre riesgo de inundación, la exposición

de la población y adaptación a él, y la asociación entre este tipo de riesgo y el cambio climático. Se utilizaron variables del tamaño de la población en las parroquias civiles, grupo de edad, sexo, nivel de escolaridad y el nivel de vida económico.

Los resultados mostraron que la mayoría de los encuestados asocian la aparición y agravamiento de las inundaciones al cambio climático global, especialmente los que viven en zonas expuestas a un mayor riesgo. Las causas más frecuentemente citadas para la ocurrencia de inundaciones se asocian con los aspectos relativos a las medidas (no) adoptadas por las autoridades responsables y mucho menos con cuestiones relativas a las prácticas de la población, sobre todo la ocupación indebida de las llanuras de inundación.

Como consecuencias principales, las personas identifican los aspectos que afectan a su vida cotidiana y su actividad económica. A pesar de los daños sufridos, la mayoría de los encuestados que se vieron afectados por inundaciones volvieron a ocupar los edificios y reiniciaron las actividades desarrolladas en la zona de desastre. Este comportamiento es debido a la familiaridad con el riesgo, la evaluación de costo-beneficio y la percepción de que el impacto de inundaciones no es catastrófico y puede ser controlado.

Respecto a trabajos de percepción del riesgo de inundación, como componente de la vulnerabilidad, se cuenta con el trabajo realizado por Saurí, Rivas, Lara, y Pavón (2010) quienes se enfocaron en asociar la percepción que los residentes de Costa Brava, España, tienen del riesgo de inundación a partir de encuestas realizadas a los pobladores de tres municipios. Sus resultados mostraron que las personas que habían sido afectadas por un evento de inundación manifestaron que eran más vulnerables que las personas que no habían sufrido un episodio de inundación. También manifestaron que en ese lugar las medidas de gestión eran insuficientes para mitigar la exposición a las inundaciones.

Linnekamp, Koedam, y Baud (2011) examinaron las percepciones de los hogares de las inundaciones como parte del cambio climático en Paramaribo, Surinam y Georgetown, Guayana de las zonas costeras de baja elevación en el Caribe. La investigación examina las diferencias en la vulnerabilidad de los hogares, los resultados combinan las desigualdades socio-económicas y la exposición a los riesgos naturales e inundaciones y lluvias extremas. Los estudios de caso de

muestran que la exposición de los hogares a las inundaciones está aumentando, con los grupos de bajos ingresos que sufren ya de la exposición y con efectos más dañinos. Tales efectos son tiempo perdido en el trabajo y la educación, los daños a los bienes, y el estrés. Los hogares en las zonas de bajos ingresos toman medidas para evitar las inundaciones que los hogares de ingresos más altos. Durante las inundaciones el capital social permite la ayuda mutua entre los vecinos, pero esto no se realiza a través de la organización colectiva en las estrategias preventivas. Los vínculos con el gobierno local son deficientes. Los resultados muestran una falta de organización en toda la ciudad y las medidas participativas para las familias afectadas, con posibles efectos perjudiciales en los hogares de menores ingresos.

Ferrari (2012) por su parte analizó las condiciones de vulnerabilidad barrio Intendente Alfredo Mario Etchepare, de la ciudad de Trelew, Argentina, en situación de inundación con dos diagnósticos: uno técnicamente evaluado y otro socialmente percibido. La vulnerabilidad percibida del barrio cae dentro de las dimensiones de la vulnerabilidad social, jurídica, ideológica, educativa, tecnológica y física. Perciben estar en un área topográfica propensa a inundarse, consideran a la falta de empleo como una condición que dificulta la resiliencia para afrontar daños ocasionados por inundaciones. Reconocen que no están organizados pues no funciona su junta vecinal, aunque mencionan que existe solidaridad y compromiso en momentos de inundación. La población considera que son capaces de dar soluciones cuando ocurren inundaciones y que cuentan con los conocimientos y herramientas suficientes y efectivas para prevenir las inundaciones.

Lara (2012) estudió la percepción frente a las inundaciones de los residentes, autoridades locales y representantes de la sociedad civil en tres municipios expuestos al riesgo de inundación: Calonge, Torroella de Montgri y Tossa de Mar en Costa Brava, España. Efectúa comparaciones en las percepciones de cada segmento. Los principales resultados establecen que la experiencia vivencial es una variable determinante para medir la percepción social entorno al riesgo de inundación y que las medidas estructurales presentan un gran soporte tanto por parte de las autoridades locales como de los residentes de las zonas expuestas a las inundaciones. Sin embargo, la sociedad civil organizada prefiere potenciar las medidas no estructurales destinadas a la protección y convivencia con el riesgo de inundación.

Guzmán (2012) analizo la percepción del riesgo con respecto a la ocurrencia del huracán Isidoro en dos comunidades de Yucatán asentadas en zonas geográficas diferentes. Chabihau que se encuentra en la costa, a nivel del mar y El Escondido que se localiza en la zona conocida como la sierrita, cuya altura es de 100 a 200 msnm. Los resultados mostraron que el riesgo asociado a los huracanes no es percibido en la misma magnitud, aun habiendo sufrido ambas comunidades los efectos de Isidoro. En la costa, la presencia de los llamados “nortes” que paralizan a la actividad pesquera les impone a los habitantes, la búsqueda constante de otras actividades que durante esa época sustituya a la pesca. Pero a pesar de este panorama, están dispuestos a correr el riesgo, quedándose a vivir en la costa porque no desean cambiar la tranquilidad y la belleza del puerto por otro lugar al que, a decir de los mismos habitantes, no se adaptarían.

Por otro lado, en el interior del estado, en El Escondido, la gente considera poco probable que les pegue un huracán, por ser tierra adentro, los huracanes que han llegado hasta la zona ya se encuentran degradados, trayendo lluvia y vientos menores en comparación con la costa. La reubicación de la comunidad a una zona alta les brinda seguridad con respecto a que se inunden de nuevo, pero ahora ahí mismo reside el riesgo de desastre, pues están conscientes de la fragilidad de sus viviendas, de que no están bien construidas, y que su distribución no es adecuada, pudo apreciarse que los riesgos han sido sustituidos unos por otros, cambiando de un riesgo de origen natural, la inundación, a uno de origen humano, el diseño de las viviendas. Respecto a la percepción del riesgo en ambas comunidades, los resultados mostraron que se encuentra condicionada por los rasgos culturales de las comunidades de estudio: jerarquía política, actividad económica, tipo de sociedad, estructura familiar y otros. Además de ser moldeada de acuerdo a experiencias anteriores, con el huracán Gilberto en Chabihau, o por la falta de ella, como ocurrió en El Escondido, en cuya memoria de los habitantes no había sucedido una inundación con las dimensiones que Isidoro ocasionó.

El estudio de la percepción es importante porque son las ideas compartidas socialmente con respecto al riesgo, las que conducen a la acción o a la no acción en la prevención y la recuperación de una situación de desastre. La percepción del riesgo configura la forma en cómo

se internaliza a nivel individual y colectivamente las causas del desastre pero también la respuesta ante la ocurrencia de un evento natural extremo.

Los trabajos anteriores se relacionan con los resultados de Vergara, Ellis, Cruz, Alarcon, y Galván (2011) donde se muestran que las diferencias entre las poblaciones urbanas y rurales influyen en la percepción sobre las inundaciones. Las poblaciones rurales son más vulnerables debido a la carencia de infraestructura, comunicación y servicios.

En las comunidades ubicadas en áreas susceptibles a inundarse y donde las inundaciones son recurrentes, la población se familiariza con el fenómeno y se les facilita manejar la situación. Las personas adquieren conocimiento empírico sobre el fenómeno, por lo que identifican los meses de lluvias, los niveles que el agua puede alcanzar y las zonas más susceptibles a inundarse. A pesar de que las personas están conscientes de los peligros a los que se exponen al vivir en terrenos sujetos a inundación, no optan por la reubicación, debido a que ya tienen una vida establecida y es complicado modificar los patrones de vida o no se tienen suficientes recursos financieros para mudarse. Sin embargo, las personas desean tener programas efectivos de prevención de inundaciones, que les alerten con tiempo y no tener consecuencias negativas para sus familias o patrimonios. Asimismo, esperan una planeación anticipada sobre los sitios que se ocuparán como albergues.

1.2 Marco Conceptual

El riesgo de inundación es el resultado de las interacciones entre dos fenómenos complejos, dinámicos y por lo general difíciles de predecir; un evento de la naturaleza, y las condiciones de vulnerabilidad de la sociedad (Assaf, 2011; Lara, 2012). Se considera amenaza a un evento de la naturaleza el cual tendrá un efecto negativo sobre las personas o el medioambiente.

El riesgo de inundación se puede expresar como una función que está dada por la amenaza y la vulnerabilidad. Dentro del modelo de riesgo, la amenaza es la probabilidad de que ocurra un evento de origen natural con cierta intensidad en un determinado lugar y en un cierto período de tiempo.

La amenaza está constituida por factores que por lo general no pueden ser modificables o disminuidos, por ejemplo un volcán activo, un río caudaloso, movimientos sísmicos frecuentes y de gran intensidad. En este estudio la amenaza se define como la probabilidad de que ocurran precipitaciones intensas en un área urbana en un determinado período de tiempo.

Con respecto al otro elemento de la función del riesgo, en este estudio se define la vulnerabilidad a inundación urbana como el estado latente de la interacción de ciertos factores y características tales como social, económico y físico que hacen que un sistema urbano (y sus elementos) sea susceptible de sufrir daños ante un evento de inundación (modificado después de Wilches-Chaux, 1993; Roberts et al., 2009; Müller, Reiter, & Weiland, 2011).

La vulnerabilidad social a los desastres centra la atención de forma explícita sobre la relación entre los peligros y la sociedad, contexto y escala (Tate, 2011). La vulnerabilidad social a inundación centra su atención en las características de la población que incrementan o atenúan el impacto de una inundación en zonas urbanas. Tales características incluyen población con necesidades especiales, el tamaño del hogar, la experiencia con las inundaciones, así como la percepción del riesgo y el involucramiento social en la participación de prevención de riesgo de inundación. La vulnerabilidad social ayuda a definir quien está en riesgo y en qué grado puede verse perjudicado (Soares, Romero, & López, 2010).

En el marco de la gestión integrada del riesgo de inundación, la Organización Meteorológica Mundial, precisa que no es posible planificar la reducción de los riesgos si la sociedad en general no comprende y/o no tienen conciencia de ellos. La conciencia de los riesgos va relacionada con las percepciones que se tienen de estos, por tanto, se necesita contar con una población consciente de los riesgos a los cuales se expone y no será posible movilizar esfuerzos, a nivel local, para adoptar medidas de resistencia si esta premisa no se cumple (Ho, Shaw, Lin, & Chiu, 2008; Lara, 2012).

Cada persona percibe el espacio de una manera única, el proceso de socialización determina que ciertos aspectos de las imágenes mentales sean compartidos por grandes grupos (Caneto, 2011). Ferrari (2012) declara que la imagen que un grupo social construye sobre el espacio o territorio en que se desenvuelve, así como las problemáticas o conflictividades que en

él se desarrollan, es el resultado de la superposición y acumulación de percepciones individuales y que dicha percepción constituye una parte de la realidad, complementaria a las evaluaciones técnicas. Lo cual es útil y necesario para reconocer las distintas realidades que coexisten en un mismo escenario.

La noción sobre la percepción del riesgo de inundación esta forjada por los juicios intuitivos que individuos o grupos de individuos hace al respecto, utilizando para ello información limitada o incierta (Ferrari, 2012; Lara, 2012). Por lo tanto, estas nociones varían en la sociedad de acuerdo a factores como serían sus distintos niveles de conocimiento sobre el peligro (experiencias vividas en relación a anteriores episodios de inundación, nivel de educación, edad, información recibida etc.). O su ubicación geográfica y composición demográfica respecto al riesgo.

1.3 Objetivo general

Conocer la percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana vulnerable.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Definir qué elementos se deben considerar en un estudio de percepción social del riesgo (PSR) de inundación por desbordamiento de una presa.
- Diseñar y aplicar una encuesta a la población en el caso de estudio.
- Generar una base de datos y realizar análisis estadístico descriptivo.
- Conocer la percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de presa.

1.4 Preguntas de Investigación

¿Qué elementos se deben considerar en la PSR de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana?

¿Quiénes son los informantes clave que aporten información para definir qué elementos se deben considerar en la PSR de inundación?

Las dos preguntas de investigación están relacionadas con el objetivo 1. A través de la respuesta se considera definir los elementos de la PSR de inundación en una zona urbana vulnerable.

¿Qué preguntas se deben incluir en una encuesta de tal manera que cada pregunta esté relacionada a uno de los elementos de la PSR previamente definidos?

Esta pregunta de investigación, está relacionada con los objetivos específicos 2 y 3. Contestando esta interrogante se tendrán las preguntas adecuadas para realizar una encuesta a la población.

¿Cuál es la PSR de inundación por desbordamiento de presa, en una zona urbana vulnerable?

Con esta última interrogante se hace referencia al objetivo específico 4. A través de la respuesta se pretende conocer la PSR de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana vulnerable localizada aguas abajo de la cortina de una presa.

2. Metodología

En este trabajo se utiliza el proceso de investigación cualitativa definido por Hernández, Fernández, y Baptista (2006) que se basa en el proceso de recolección y análisis interpretativo, ya que el investigador hace su propia descripción y valoración de los datos haciendo énfasis en ciertos temas de acuerdo con la información recabada. El enfoque cualitativo se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados. La recolección de los datos consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes.

En la investigación cualitativa los procesos no tienen un principio y final claramente delimitados, sino que se superponen y mezclan unos con otros, pero siempre en un camino hacia delante en el intento de responder a las preguntas que se plantean en la investigación (Rodríguez, Gil, & García, 1999).

Para conocer la percepción social del riesgo de inundación se desarrolla la metodología que incluye tres fases: Fase 1: Determinación de los elementos de la percepción; fase 2: Diseño de la encuesta, y finalmente la fase 3: Análisis de datos e informe final de información recabada (Figura 3), mismas que se describen a continuación:

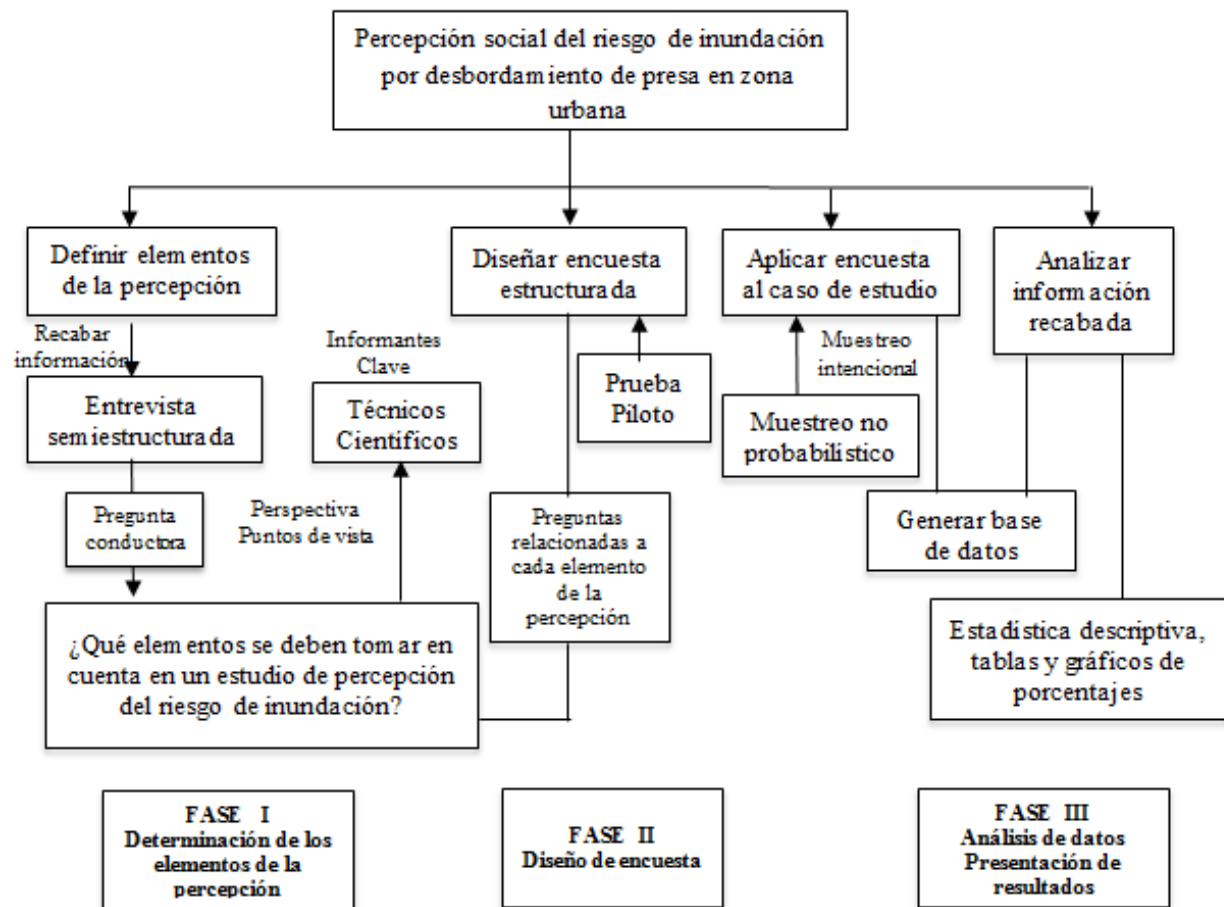


Figura 3. Diagrama del proceso de investigación.

Fuente: Modificado de Ferrari (2012).

Fase 1: Determinación de los elementos de la percepción. En esta fase se elabora una pregunta conductora que da inicio a la investigación de campo y que tiene como objetivo definir qué elementos de la percepción se analizarán. Se utiliza la entrevista semiestructurada en profundidad como método cualitativo de recabar información.

Las entrevistas consideran lo planteado por Ferrari (2012), respecto a que este tipo de entrevista contempla preguntas pero también deja espacio a que el interlocutor agregue cuestiones nuevas o no previstas. Las personas a entrevistar son identificadas como informantes-clave, es decir, aquellos miembros que destacan por su conocimiento en profundidad del contexto estudiado (Rodríguez et al., 1999). Para determinar los elementos de la percepción, se analizan los datos recabados de campo, se realizan comparaciones y se categorizan.

Fase 2: Diseño de la encuesta. En esta fase se diseña una encuesta como técnica de recolección de datos. En la que cada pregunta hace referencia a los elementos de la percepción previamente definidos. La encuesta es piloteada y se utiliza un muestreo intencional en donde la población a encuestar se elige de acuerdo con el grado en que se ajustan a los criterios establecidos por la investigación (Rodríguez et al., 1999). Con la información recabada de las encuestas se genera una base de datos de PSR de inundación.

Fase 3: Análisis de datos e informe final de la información recabada. El análisis de datos se lleva a cabo a través de una interpretación de los mismos; los datos se analizan desde una visión descriptiva haciendo uso de tablas y gráficos. El proceso de investigación culmina con la presentación y difusión de los resultados.

2.1 Las Inundaciones en Ensenada Baja California y la Presa ELZ

El Estado de Baja California está situado en la región noroeste de la república mexicana y en la parte septentrional de la Península del mismo nombre. El Estado de Baja California está conformado de 5 Municipios: Mexicali que constituye la Capital del Estado, Tijuana, Tecate, Ensenada y Playas de Rosarito. La ciudad y puerto de Ensenada, pertenece al municipio del mismo nombre, que es el de mayor extensión territorial en México y es la tercera Ciudad más importante del estado con una población de 511,772 mil habitantes (COPLADE, 2014).

En la Ciudad de Ensenada no existen escurrimientos permanentes, cuenta con arroyos con escurrimientos intermitentes. La Ciudad de Ensenada se encuentran con dos cuerpos de agua: La presa ELZ y una pequeña laguna natural, denominada "La Lagunita", ubicado al

Sureste de la ciudad, cuya importancia es de carácter ecológico. En la ciudad de Ensenada ocurrió un evento de inundación que causo desastre, las lluvias de 1980 (Tabla 3).

Tabla 3. Eventos históricos de inundación en la ciudad de Ensenada.

Fecha Día/Mes/Año	Lluvia en 24 horas	Localidad (ubicación)	Impacto
29/01/1980	81.5 mm	Arroyo Ensenada Zona Norte Zona urbana Arroyo El Aguajito Arroyo San Miguel	Desbordamiento de arroyo. Arraso parcialmente la Colonia Munguía. Inundaciones en las calles principales (Figura 4), tirante de agua alcanzó los dos metros de altura. Hubo personas arrastradas por el arroyo al tratar de cruzarlo. Se generó una avenida repentina en el arroyo Ensenada (Figura 5) Colapso puente de la Carretera Federal Ensenada-Tijuana. Las localidades al sur de la Ciudad, quedan incomunicadas, por colapso de vías de comunicación.
05 al 17 de Enero 1993	213.5 mm	Zona Centro	Riesgo de que la presa ELZ se desbordara. Inundación en las calles principales.
27/02/2011	31.9 mm	Zona Centro	Inundación en la calle segunda

Fuente: Elaboración propia con base en (HIO, 2012; PEACCBC, 2014).

De acuerdo a los datos de precipitación registrados en la estación ELZ (2072) de la base de datos CLICOM (PEACCBC, 2014) el 20 de Enero de 1980 se registró una precipitación de 81.5 mm, cabe mencionar que es la mayor precipitación que se ha registrado a la fecha. En esta temporada de lluvia la presa ELZ estuvo a punto de desbordarse. Así mismo, otras dos inundaciones se han registrado en el siguiente periodo de 30 años (1981-2011), las cuales han sido consecuencia de precipitaciones entre los 20-50 mm. De acuerdo a la delimitación de la zona federal de la presa ELZ realizado por Ramírez-Hernández (2009) la presa, con una capacidad total al NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) de 8.85 millones de m³ inicio operaciones en 1978 en una zona despoblada a las afueras de la ciudad sobre el arroyo Ensenada con el objeto de controlar las avenidas. A partir de 1981 la presa ELZ se integra como una fuente de suministro de agua para uso urbano al entrar en operación una planta potabilizadora.



a) Calle Juárez y Floresta



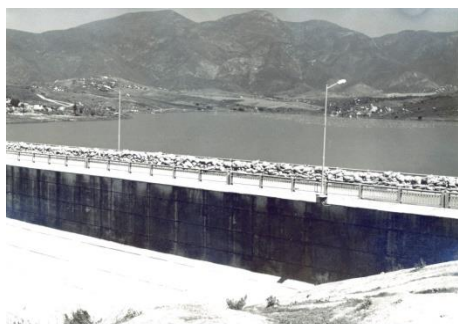
b) Calle séptima y floresta



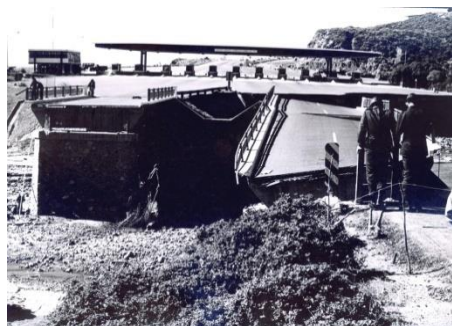
c) Avenida Diamante

Figura 4. Inundación de 1980 en calles principales.

Fuente: Bernaldez (s.f.).



a) Presa ELZ



b) Puente Arroyo San Miguel

Figura 5. Impacto de la lluvia de 1993.

Fuente: Bernaldez (s.f.).

Los registros de almacenamiento de la presa muestran que el máximo valor ocurrió en Enero de 1993 con 5.36 millones de m^3 , fecha en la cual se tuvo una descarga máxima de 35.0 m^3/s . Debido al riesgo del uso de agujas en el vertedor, no se llegaron a colocar, ya que las

avenidas tienen un tiempo de concentración mínimo de sólo 3 a 4 horas y la presa se opera dentro de la zona urbana (Ramírez-Hernández, 2009).

De acuerdo con el IMIP (2014a) en Ensenada, de 1985 a 1990 la mancha urbana creció de forma irregular hacia el Noreste. Las autoridades de planeación no preveían las dimensiones reales que tendría su crecimiento y cuando los desarrolladores entregaron las casas que se construyeron en los nuevos fraccionamientos, lo hicieron sin pavimento, lo que ha provocado que en la temporada de lluvias las viviendas se colapsen y por ende, la tierra o el lodo que se desprende, termine en el vaso de la presa, la cual no ha sido desazolvada desde su construcción.

2.2 Zona de Estudio

La zona de estudio (Figura 2) comprende dos fraccionamientos, Valle Verde y Villa Fontana. Valle Verde de la Ciudad de Ensenada, B. C., se localiza a 400 metros aguas abajo de la cortina de la presa y hasta 1980 estaba conformado por pequeños ranchos que se encontraban fuera de la mancha urbana. Como resultado del crecimiento irregular de urbanización hacia el sector Noroeste, los ejidatarios vendieron sus tierras y en 1985 se construye el fraccionamiento Villa Fontana, construido a 100 metros de la cortina de la presa ELZ y contiguas a la orilla del cauce del arroyo Ensenada; donde se vierte el agua de la presa.

Los fraccionadores vendieron el conjunto habitacional asentado en zona de alto riesgo, con la idea de estar en un lugar donde había arboledas y cerca del arroyo, en un lugar tranquilo con vista a la cortina de la presa. En la mayor parte de la zona de estudio el uso de suelo es habitacional, aunque también existen zonas que corresponden al uso de suelo de equipamiento que pueden incluir áreas de recreación y asistencia social; así como uso de suelo de comercio y servicios (IMIP, 2014b). La zona está conformada por 22 manzanas que cuentan con una población de 2,070 habitantes, correspondiente al 0.40% de la población de Ensenada; las manzanas pertenecen al Área Geoestadística Básica (AGEB) número 0435 y 7733 (INEGI, 2010).

3. Resultados y discusión

3.1 Elementos que se deben considerar en un estudio de percepción social del riesgo de inundación por desbordamiento de una presa.

Los elementos que se deben tomar en cuenta en un estudio de PSR de inundación se definieron a través de información recabada en una entrevista semiestructurada. La entrevista dio inicio con la pregunta conductora ¿Qué elementos se deben considerar en la PSR de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana?.

Durante la entrevista se dejó espacio para que el interlocutor agregara cuestiones nuevas o no previstas. El criterio de selección de las personas a entrevistar, identificadas como informantes clave (Tabla 4) se fundamentó en una visión interdisciplinaria, incluyendo a técnicos y científicos de acuerdo a los criterios de experiencia, profesión y campo laboral y enfocados al estudio del riesgo y/o su relación con la sociedad, definiendo así dos criterios.

El primer criterio se basó en que los informantes clave pertenecieran a una institución pública y/o privada. El segundo criterio se basó en que destacaran por su conocimiento en profundidad en el riesgo de inundación en zonas urbanas vulnerables. Se realizaron siete entrevistas.

Tabla 4. Muestra la procedencia y actividad de los informantes clave (técnicos/científicos).

Instituto/Organización	Actividad/Cargo
Protección Civil del estado de Baja California, Ensenada	Desarrolladores del atlas de riesgo del municipio de Ensenada. B.C.
CICESE	
Protección civil del municipio de Ensenada	Director
IMIP	Director de Planeación
UABC	Investigadores

Fuente: Elaboración propia.

Las entrevistas se realizaron en septiembre del 2013 y se efectuaron de manera individual en el lugar de trabajo de cada informante clave, con duración promedio de 40 minutos. Para organizar la información recabada se transcribieron las narraciones orales y se analizaron las expresiones verbales y comentarios con el objetivo de identificar los elementos de la percepción (o unidades de análisis). En general, los resultados muestran que los aspectos técnicos consideran la generación de información espacial de calidad que incluya modelos digitales de elevación para realizar análisis de pendientes y generar modelos hidrológicos para el estudio de cuencas e identificar el riesgo de inundación a nivel local.

En relación a los aspectos institucionales los resultados muestran que los informantes clave están interesados en información técnica que les ayude a tomar las mejores decisiones en zonas vulnerables a inundación. En el aspecto relacionado con la investigación, los resultados muestran que los científicos están interesados en desarrollar nuevas metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad social y proponer estrategias en la gestión del riesgo de inundación. Los resultados muestran que las opiniones de los informantes técnicos y científicos convergen en que se deben realizar estudios a nivel de colonias, de manzanas y de hogares para tener información detallada sobre el riesgo de inundación en lugares específicos de la zona urbana. En particular, los resultados en relación a los elementos de PSR de inundación que se definieron se muestran en la tabla 5.

Posteriormente se diseñó una encuesta estructurada (Anexo I) donde cada pregunta (Tabla 5) está relacionada a uno de los elementos de la percepción (Fase 2). La encuesta fue piloteada entre los alumnos de posgrado en Gestión Ambiental de la UABC. Se realizó un muestreo intencional para la selección de los encuestados bajo dos criterios: el primero criterio fue que las personas tuvieran la mayoría de edad, es decir que tuvieran suficiente madurez intelectual y sin los inconvenientes derivados de la inexperiencia y el segundo criterio considerado fue que los encuestados vivieran dentro del perímetro de la zona de estudio mostrada en la figura 2. Bajo dichos criterios, se tiene una población de 1553, de las cuales el 7% contestó la encuesta, teniendo un total de 114 personas encuestadas con 64 mujeres y 50 hombres, equivalente al 56% y 44% respectivamente. Con una media de edad de 44 años, 30

años viviendo en la ciudad de Ensenada y 19 años viviendo en el domicilio. A continuación se analiza la información recabada (Fase 3).

Tabla 5. Definición de los Elementos de la PSR de inundación por desbordamiento de presa en una zona urbana expresada por los entrevistados y preguntas asociadas a la encuesta.

Comentarios de los técnicos y científicos entrevistados	Elementos identificados de Percepción	Pregunta asociada a la encuesta
Mientras más cercana este una vivienda de la presa, será un elemento de riesgo mayor.	Identificación de la amenaza	¿Cuál de los siguientes eventos pudiera afectarle en el lugar donde vive sismo, inundación o tsunami?
Considerar los eventos de origen natural que pueden afectar el lugar donde viven tomando en cuenta las características de su entorno hace que las personas tengan conciencia del riesgo.	Identificación del riesgo	¿Por qué cree que dicho evento le afectaría?
La información que se tiene del entorno influye en la concepción del riesgo de inundación.	Información previa de inundación	¿Sabe usted si ha habido inundaciones en Ensenada?
Los problemas que se tienen en una localidad pueden ser más o menos importantes dependiendo del grado de afectación a la población.	Prioridades	Actualmente ¿qué problemas enfrentan en el fraccionamiento?

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Elementos de percepción identificados

Identificación de la amenaza: ¿cuál de los siguientes eventos pudiera afectarle en el lugar donde vive sismo, inundación o tsunami?

Respecto a la identificación de la amenaza, podemos observar en la figura 6, que el mayor porcentaje de personas (44%) considera la inundación como el evento que puede afectarles en el lugar donde viven. La explicación que dan los encuestados a base de interpretar el motivo de la inundación, está relacionada con la ruptura de la presa como consecuencia de un

sismo. Sin embargo, Ramírez-Hernández (2009) muestra que hasta el 2009 no se han detectado daños en la presa como fisuras o grietas a consecuencia de un sismo.

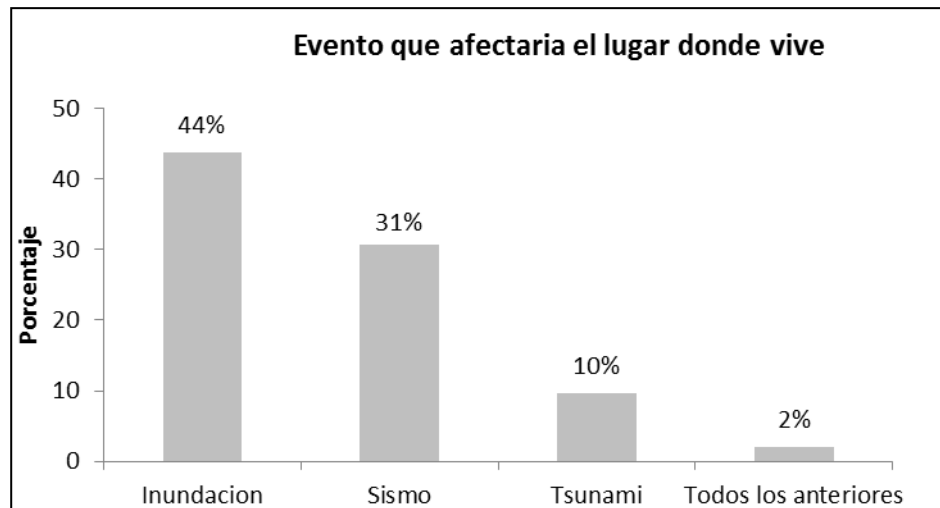


Figura 6. Identificación de amenaza

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al sismo, el 31% de los encuestados lo percibe como amenaza porque a través de los años han sentido pequeños movimientos telúricos. Lo que podemos asociar a que la presa ELZ se encuentra dentro de una zona de gran actividad sísmica, en la cual se presentan anualmente cientos de pequeños movimientos de baja magnitud menores a los 3° Richter, el de mayor intensidad 6.8° Richter ocurrió en 1956 (Ramírez-Hernández, 2009). El 10% de los encuestados considera el tsunami como amenaza. Cabe señalar que el 2 % de las personas respondió que todos los eventos les afectarían y el 14% no contestó la encuesta.

Identificación del riesgo: ¿porque cree que dicho evento le afectaría?

A continuación se describen las razones que dieron los encuestados, del porque consideran que una inundación, sismo o tsunami, les afectaría en el lugar donde viven.

Inundación: el 44% de los encuestados está consciente de vivir en zona riesgo ya que sus casas se encuentran aguas abajo de la cortina de la presa ELZ. Consideran que los efectos que puede ocasionar una inundación en el lugar donde viven es “que la inundación se lleve todas las casas”, “perder su patrimonio” y “reubicación por parte de las autoridades”, algunas personas

comentaron que la casa es herencia de sus padres y no han considerado irse a vivir a otro lugar, en parte, por falta de dinero para adquirir otra propiedad. Se identificaron dos visiones de los encuestados respecto a “que” podría causar la inundación, en la primera consideran que puede llover lo suficiente para que la presa llegue a su máxima capacidad y entonces podría desbordarse. Condición que perciben casi imposible de suceder argumentando que “no ha llovido tanto como en 1978 cuando la presa llegó a su máxima capacidad y aun así no se desbordó”. En la segunda visión, consideran además de la cantidad de lluvia, la capacidad actual de la presa, argumentando que “ya no es la misma de cuando se construyó por el lodo que se ha ido acumulando a través de los años” y que “no ha sido desazolvada desde su construcción”. Los resultados muestran que las personas no tienen conocimiento formal sobre la causa y los efectos que puede ocasionar una inundación por el desbordamiento de la presa ELZ.

Sismo: 31% de los encuestados hicieron referencia de los efectos del sismo. Identifican que un evento de este tipo podría ocasionar la ruptura estructural de la presa ELZ a tal grado de colapsar la cortina. Lo anterior genera incertidumbre en relación con la cantidad de agua almacenada en la presa al momento de un sismo. De darse la condición (suficiente agua almacenada y sismo) se generaría una inundación. Las personas consideran que existiría una gran afectación no solo en sus casas, sino en toda la colonia por ubicarse aguas abajo de la cortina de la presa.

Tsunami: 10% de los encuestados mencionaron que dicho evento les afectaría por vivir en zona de riesgo sin hacer otro comentario al respecto.

El 2% de los encuestados que considera el sismo, la inundación y el tsunami como amenaza mencionaron que les puede afectar por vivir en zona de riesgo.

Información previa de inundación: ¿Sabe usted si ha habido inundaciones en Ensenada?

La población encuestada que tiene conocimiento de eventos de inundación en la ciudad de Ensenada es el 61%. Equivalente a 70 personas con una edad mínima de 18, una máxima de 85 y una media de 49 años. La media de años de vivir en Ensenada es de 36. El porcentaje de las

personas que saben que hubo inundación aumenta conforme aumenta el promedio de años de vivir en Ensenada. A pesar de no tener en la memoria el dato exacto, la mayoría de los encuestados hace referencia a la inundación de la colonia Munguía.

Las personas que manifestaron no saber de eventos de inundación en la ciudad de Ensenada corresponden al 39% de los encuestados. Equivalente a 44 personas con edad mínima de 18 y máxima de 71. Teniendo una media de 36 años. La media de vivir en la ciudad es de 21 años. En la figura 7 se presenta el porcentaje de personas por rango de edad que saben/no saben que hubo inundación en la ciudad de Ensenada.

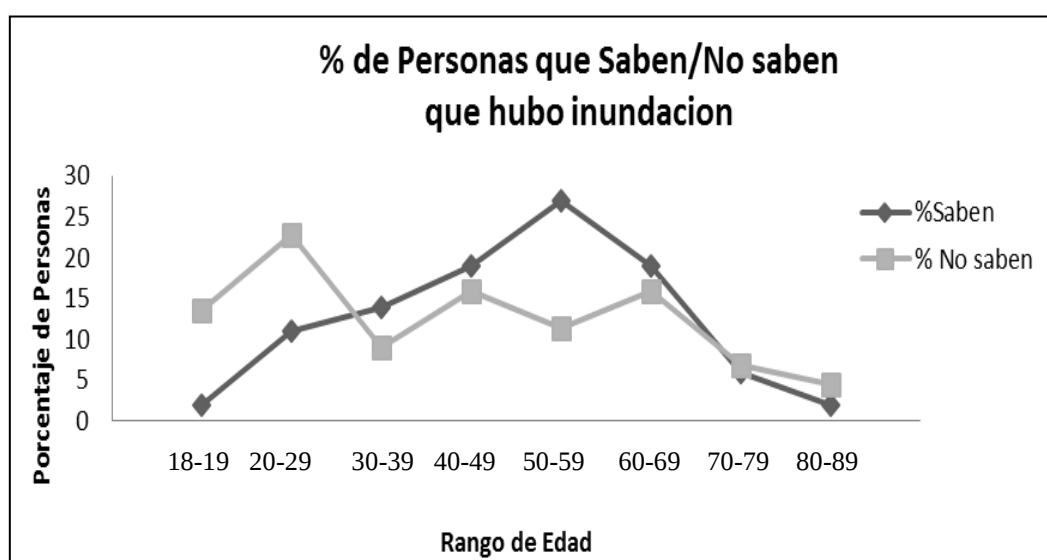


Figura 7. Muestra el porcentaje personas por rango de edad que saben/no saben que hubo inundación en la ciudad de Ensenada.

Fuente: Elaboración propia.

En un rango 18-19 y 20-29 años de edad el porcentaje de personas que saben que hubo inundación en Ensenada es menor que el porcentaje de las personas que no saben. Por el contrario en el rango de 50-59 años es mayor el porcentaje de personas que saben que hubo inundación. A partir del rango de los 60 años el porcentaje de los que saben/no saben que hubo inundación presenta un decremento. En este rango de edad algunas personas comentaron que estuvieron presentes en la inundación e inclusive participaron como voluntarios. Recuerdan como el agua arrastro las casas y sigue presente la imagen de los cadáveres acumulados en el gimnasio municipal.

Las personas entre los 18 y 59 años saben de la inundación por comentarios de sus padres o abuelos. El conocimiento de la población sobre las inundaciones que han afectado la ciudad proviene de las personas mayores de 60 años, quienes han pasado esta información a sus hijos y nietos. Los resultados muestran que la memoria histórica permanece en las personas que vivieron la inundación y que las víctimas con más experiencia de los desastres se sienten amenazados por un evento de inundación y tienen una mayor sensación de temor que aquellos con menos experiencia.

La identificación de la amenaza, la identificación del riesgo y la información previa de inundación permitió reconocer que las personas crean sus propios escenarios de riesgo con base a la experiencia con las inundaciones, a la observación del entorno donde viven y de la información que llega a través de los medios de comunicación. Se identificaron los siguientes escenarios teniendo en cuenta que el arroyo no se encuentra en óptimas condiciones (basura acumulada y abundante vegetación):

- 1) Sismo provoca ruptura de presa y la presa no tiene suficiente agua para desbordar el arroyo;
- 2) Sismo provoca ruptura de presa y la presa tiene suficiente agua para generar una avenida súbita;
- 3) Intensa lluvia provoca que el vaso de la presa alcance su máxima capacidad y se desborde generando una avenida súbita;
- 4) Lluvias moderadas ocasionan que el vaso de la presa alcance su máxima capacidad debido al azolve, generando desbordamiento.

La ruptura de la presa como consecuencia de un sismo, no necesariamente ocasionará una inundación. Los daños a la comunidad se ocasionan dependiendo de las condiciones actuales de la presa, tomando en cuenta la capacidad del vaso y azolve.

Base de datos de percepción del riesgo de inundación por desbordamiento de la presa ELZ en la ciudad de Ensenada, Baja California.

La información recabada en las encuestas se capturo en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20 (Statistical Package for the Social Sciences). Se creó una base de datos de percepción del riesgo de inundación. En la estructura de la base de datos, cada tabla hace referencia a un elemento de la percepción y cada variable hace referencia a un campo. El análisis de datos consistió en definir los atributos de las variables. La identificación de la amenaza se definió como tipo ordinal ya que sus valores representan categorías con ordenación intrínseca, siendo estos valores (1-6) que representan la importancia del evento que afectaría (muy importante, importante, medianamente importante, poco importante, baja importancia y nada importante). Las variables de tipo nominal que se definieron son aquellas cuyos valores representan categorías que no obedecen a una ordenación intrínseca y son las relacionadas con la identificación del riesgo, información previa de inundación y prioridades. En lo que respecta a la preparación de los datos, se crearon nuevas variables que incluyeron las categorías más representativas. Se realizaron transformaciones de datos utilizando instrucciones condicionales.

4. Conclusiones

La percepción del riesgo de inundación está relacionada con la información que se tiene del entorno y del conocimiento de inundaciones anteriores, las personas menores de 30 años no saben que hubo inundación en la ciudad de Ensenada. Por lo tanto, se debe hacer una campaña de difusión que permita generar conciencia de las inundaciones y estar prevenido ante cualquier evento.

Se deben realizar estudios a nivel de colonias, de manzanas y de hogares para tener información detallada sobre el riesgo en lugares específicos de la zona urbana. Además de que se debe generar dicha información ya que no está disponible.

Las personas identifican que viven en zona de riesgo de inundación. Sin embargo no es una prioridad gestionarlo ya que existen problemas más importantes (vandalismo, pavimentación, vecinos incómodos y alumbrado público) que enfrentar el riesgo.

La identificación del riesgo de inundación aguas abajo de la cortina de una presa, permitió reconocer que las personas crean sus propios escenarios de riesgo. La presente investigación continua con la modelación hidrológica y con base en esto se realizó el siguiente capítulo.

Bibliografía

- Assaf, H. (2011). Framework for Modeling Mass Disasters. *Natural Hazards Review*, 12(2), 47-61.
- Bernaldez, B. (s.f.) Colección fotográfica privada de Belester Bernaldez Garza.
- Caneto, C. (2011). *Geografía de la percepción urbana. ¿Cómo vemos la ciudad?.* Buenos Aires: Lugar.
- CONAGUA (2013). Atlas del Agua en México 2013. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/ATLASDIGITAL.pdf>
- CONAGUA (2014). Inventario de Presas del Sistema de Seguridad de Presas. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado de: <http://201.116.60.136/inventario/hinicio.aspx>
- CENAPRED (2001). ANRRM: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. *Secretaría de Gobernación*. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF>
- CENAPRED (2003). Impacto socioeconómico de los desastres en México. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2002. *Secretaría de Gobernación*. Recuperado de: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/375/1/images/no_4.pdf
- CENAPRED (2013). Inundaciones. *Secretaría de Gobernación*. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>
- COPLADE (2014). Datos Demográficos de Ensenada. *Secretaría de planeación y finanzas*. Recuperado de: www.copladebc.gob.mx/seis/pdf/datosDemograficosEnsenada.pdf
- Eiser, R., Bostrom, A., Burton, I., Johnston, D., McClure, J., Paton, D., Joop van der, P., & White M. (2012). Risk interpretation and action: A conceptual Framework for responses to natural hazards. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1, 5-16.
- Ferrari, M. (2012). Análisis de vulnerabilidad y percepción social de las inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 21(2), 99-116.
- Figueiredo, E., Valente, S., Coelho, C., & Pinho, L. (2009). Coping with risk: analysis on the importance of integrating social perceptions on flood risk into management mechanisms – the case of the municipality of Agueda, Portugal. *Journal of Risk Research*, 12(5), 581–602.

- Guha-Sapir, D., Jakubicka, T., Vos, F., Phalkey, R., & Marx, M. (2010). Health impacts of floods in Europe: data gaps and information needs from a spatial perspective. Recuperado de: www.cred.be/sites/.../Health_impacts_of_floods_in_Europe.pdf
- Guzmán, N. (2012). *La construcción social del riesgo de desastres en el sureste de México: el huracán Isidoro en dos comunidades de Yucatán* (Tesis de maestría). CICESE-COLEF, Ensenada, México.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill
- Ho, M., Shaw, D., Lin, S., & Chiu, Y. (2008). How Do Disaster Characteristics Influence Risk Perception? *Risk Analysis*, 28(3), 635-643.
- IIO (2012). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012. *Secretaría de Desarrollo Social*. Recuperado de: http://www.anr.gob.mx/PDFMunicipales/2011/vr_02001_AR_ENSENADA.pdf
- IMIP (2014a). Programa Parcial de Mejoramiento y Crecimiento Urbano del Sector Noreste. *IMIP*. Recuperado de: <http://imipens.org/planes-y-programas/>
- IMIP (2014b). Catálogo SIG en Línea. Carta Urbana en Línea PDUCP-E 203. *IMIP*. Recuperado de: <http://sigme.imipens.org/website/Base/viewer.htm>
- INEGI (2010). Censos y conteos de población y vivienda, Censo de Población y vivienda 2010. *INEGI*. Recuperado de: http://operativos.inegi.org.mx/sistemas/Agurbana/entidad_indicador.aspx
- Lara, A. (2012). *Percepción social en la gestión del riesgo de inundación en un área mediterránea* (tesis doctoral). Universitat de Girona, Costa Brava, España. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/handle/10803/98249>
- Linnekamp, F., Koedam, A., & Baud, I. (2011). Household vulnerability to climate change: Examining perceptions of households of flood risks in Georgetown and Paramaribo. *Habitat International*, 35, 447-456.
- Müller, A., Reiter, J., & Weiland, U. (2011). Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2107-2123.
- PEACCBC (2014). Base de Datos Climáticos del Noroeste de México. *CICESE*. Recuperado de: <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php#>
- Ley de prevención, mitigación y adaptación del cambio climático. Periódico Oficial del Estado de Baja California, Baja California, México, 01 de junio de 2012.

- Ramírez-Hernández, J. (2009). Levantamiento topobatimétrico y delimitación de la zona federal de la presa Emilio López Zamora. Convenio SGT-PBC-BC-UABC-06-001-RF CONAGUA-UABC.
- Roberts, N., Nadim, F., & Kalsnes, B. (2009). Quantification of vulnerability to natural hazards. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 3(3), 164-173.
- Rodríguez, G., Gil, F., & García E. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga, España: Aljibe.
- Saurí, D., Rivas, A., Lara A., & Pavón, D. (2010). La percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en la Costa Brava. *Papeles de Geografía*, 51(52), 269-278.
- Soares, D., Romero, R., & López, R. (2010). Índice de vulnerabilidad social. En Martínez, P., Patiño, C. (Ed.), *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (pp. 9-37). D.F., México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Tate E. (2011). *Indices of social vulnerability to hazards: model uncertainty and sensitivity* (Doctoral dissertation). University of South Carolina, South Carolina, USA.
- UNISDR (2009). Terminología de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. Recuperado de: http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDR_TerminologySpanish.pdf
- Vergara, T., Ellis, E., Cruz, A., Alarcón, S., & Galván, M. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*, otoño (36), 45-69.
- Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En Maskrey, A. (comp), *Los desastres no son naturales* (pp. 9-50). Colombia: La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

CAPITULO 3. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

1. Introducción

Una inundación es el aumento del agua por arriba del nivel normal de un cauce. *Nivel normal* se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay (CENAPRED, 2013). Existen inundaciones lentas e inundaciones torrenciales. Una inundación lenta o progresiva se presenta en zonas planas cercanas a las riberas de los ríos cuando las precipitaciones permanecen por largo tiempo. Las inundaciones torrenciales o súbitas ocurren ante tormentas fuertes en cuencas de alta pendiente y con baja cobertura vegetal, pueden desarrollarse en minutos u horas y tienen como características principales gran capacidad de arrastre de materiales y un alto poder destructivo (Sedano, 2012).

Las inundaciones súbitas pueden presentarse cuando existen fallas en el funcionamiento de una presa. De acuerdo con el CENAPRED (2013) las presas pueden presentar fallas en su funcionamiento hidráulico debido a tres factores:

- 1) Diseño Escaso, en donde no se incluye suficiente información hidrológica de la cuenca o de las condiciones atmosféricas que afectan la región;
- 2) Mala Operación, cuando existe insuficiente capacidad de regulación de las descargas; y
- 3) Falta de Mantenimiento o término de la vida útil.

Algunas de las presas que se construyeron alrededor del mundo hace más de 30 años han pasado a formar parte de la mancha urbana debido al crecimiento demográfico, poniendo en riesgo a la población que radica aguas abajo de la cortina de la presa y sus alrededores. En el desbordamiento de una presa, por pequeña que esta sea, se libera un gran volumen de agua en muy poco tiempo.

El agua que sale bruscamente forma una avenida que se traslada aguas abajo con una fuerte velocidad, por lo que el flujo de agua posee una gran capacidad de transporte de sólidos y desarrolla una fuerza potencial de arrastre sobre objetos que se encuentren a su paso. Esta

avenida suele salirse del cauce del río y provocar inundaciones. La propagación de la avenida de agua resultara más dañina cuanto mayor sea el caudal circulante, menor sea el tiempo de propagación y más importante sean los elementos existentes en la zona de afectación (infraestructuras, poblaciones, espacios naturales protegidos, explotaciones agropecuarias, etc.).

La determinación del tiempo de propagación de la avenida, la identificación de los elementos en la zona de afectación, la extensión y profundidad de la inundación, son parámetros que se pueden estimar a través de modelos hidrológicos e hidráulicos. Además, se pueden generar escenarios de inundación haciendo variación en los parámetros. En este capítulo, se modela el desbordamiento de una presa analizando distintos escenarios de precipitación extrema en una zona urbana vulnerable. Se simula la dirección del flujo del agua durante intensas precipitaciones que logran llenar el vaso de la presa hasta desbordarla. La información resultante es útil para generar recomendaciones para la oportuna toma de decisiones en el ámbito de protección civil y establecer adecuadas medidas de prevención y mitigación orientadas a reducir los riesgos de desastres o minimizar sus efectos.

2 Marco conceptual

2.1 Análisis de amenaza de inundación

En este estudio la amenaza se define como la probabilidad de que se produzcan precipitaciones intensas en un determinado período de tiempo, en un área urbana, ocasionando inundación por desbordamiento de una presa.

El proyecto SUFRI (ERA-Net CRUE, 2011) analiza la amenaza con mapas de inundación, que muestran el área inundada para diferentes eventos asociados a ciertas probabilidades anuales de ocurrencia. Por otro lado D’Ercole y Trujillo (2003) mencionan que existen tres tipos de mapas para el análisis de la amenaza: 1) por cada amenaza, mapas de eventos potenciales y eventos ocurridos (basados en datos históricos que generalmente registran eventos de gran impacto, 2) como resultado de los mapas anteriores, un mapa multifenómenos que muestra las zonas expuestas a una, dos o más amenazas; 3) mapa de nivel de amenaza por municipio cantón.

Por otro lado Gallo y Hurtado (2011) analizan amenaza asignándole un valor numérico dispuesto en orden ascendente (1-5) que se sustenta en la importancia y por tanto en las afectaciones que éstas podrían provocar a la vida y a los componentes urbanos, estimadas como: baja, moderada, media, alta, extrema, utilizando criterios para ponderar la amenaza de inundación como velocidad de la inundación, tiempo de llegada del agua, niveles de inundación, duración de inundación y si se cuenta o no con rutas de evacuación

Según Sedano (2012), los principales elementos que se deben analizar en un estudio de amenaza de inundación son: el origen de la inundación; el curso fluvial del río; volumen de la inundación y especialmente la altura máxima que alcanza el agua; la velocidad de propagación, la rapidez de subida del agua, que condiciona la posibilidad de alertar y evacuar a tiempo a la población; la duración de la inundación, importante para evaluar daños económicos por paralización de actividades, la época de año en que se produzca el evento, lo cual puede ser relevante para cosechas y determinadas actividades económicas, el área inundada o magnitud de inundación; la frecuencia del proceso y la probabilidad de que se produzca en el futuro.

2.2 Elementos a considerar en modelación hidrológica

Proceso de precipitación-escorrentía como sistema hidrológico en una cuenca

Chow (1994) define un sistema hidrológico como una estructura o volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas (aire o calor), opera en ellas internamente y las produce como salidas. Un modelo de sistema hidrológico es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas. El objetivo del análisis del sistema hidrológico es estudiar la operación del sistema y predecir su salida.

En un sistema hidrológico la cuenca se define como el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua que se descarga a través de una salida única e identificable. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido (Wendor, 1989). La divisoria de aguas es una línea que separa la superficie de la tierra en dos partes. Una parte de la superficie drena hacia un río dado y la otra parte de la superficie drena hacia otros ríos. La frontera del sistema se identifica alrededor de la cuenca, proyectando la divisoria de aguas verticalmente hacia arriba, y abajo hacia los planos horizontales (Figura 8).

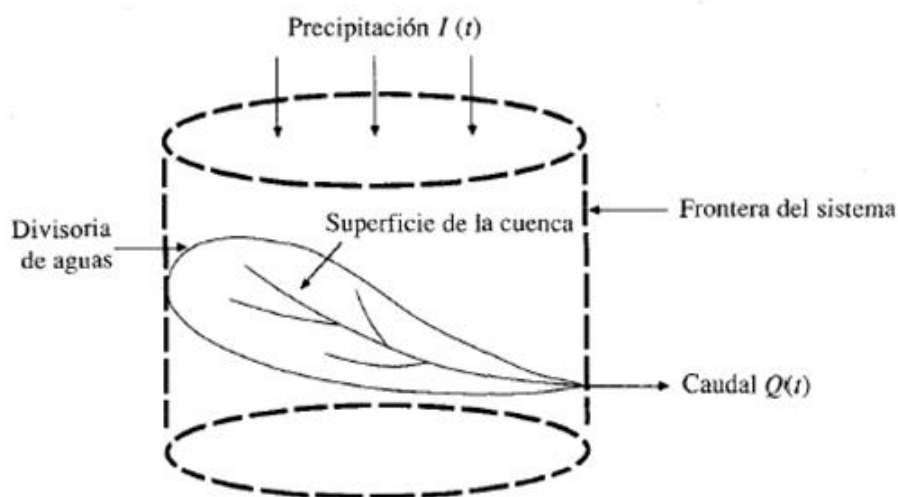


Figura 8. La cuenca como un sistema hidrológico.

Fuente: Chow (1994).

La precipitación es la entrada al sistema, distribuida en el espacio sobre el plano superior; el agua que constituye el caudal de un río puede recorrer diferentes caminos, desde el momento en que se precipita y alcanza la superficie terrestre, hasta el momento que llega al cauce del río. Cualquiera que sea su trayecto hasta la salida de la cuenca, ésta agua constituye el escurrimiento.

La evaporación y el flujo subsuperficial también pueden considerarse como salidas, pero son muy pequeños comparados con el caudal durante una tormenta. La estructura del sistema es el conjunto de caminos de flujo sobre el suelo (o a través de él) e incluye sistemas tributarios que eventualmente convergen para convertirse en caudal a la salida de la cuenca. A lo largo de alguno de estos caminos, la forma, la pendiente y la rugosidad pueden cambiar continuamente y estos factores también pueden variar en el tiempo a la medida que el suelo se humedece. De manera análoga, la precipitación varía aleatoriamente en el espacio y el tiempo. Debido a estas grandes complicaciones, no es posible distinguir algunos procesos hidrológicos a través de leyes físicas exactas.

Si se utiliza el concepto de sistema, podemos construir un modelo que relacione entradas y salidas (desde un punto de vista práctico) en lugar de la representación exacta de los detalles del sistema, los cuales pueden ser desconocidos o no significativos. Sin embargo, el conocimiento de un sistema físico ayuda en el desarrollo de un buen modelo y en la determinación de su precisión.

Clasificación del escurrimiento a partir del curso del agua sobre la superficie terrestre

El *escurrimiento* se define como el agua de precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Según el curso que sigue el agua después de llegar a la superficie terrestre, el escurrimiento puede ser: subterráneo, subsuperficial o superficial. El *escurrimiento subterráneo* se constituye por la parte del agua de lluvia que se infiltra en el suelo hasta niveles inferiores al freático. Es tan lento que incluso puede tardar años en llegar a la salida de la cuenca, por lo que es difícil relacionarlo con una tormenta particular. Conforman la única fuente de alimentación de las corrientes cuando no hay lluvias, por lo que se le denomina *escurrimiento base*.

El agua que se infiltra pero no llega al nivel freático, escurre cerca de la superficie del suelo y prácticamente paralela a ella, formando el escurrimiento subsuperficial (Aparicio, 1992). El escurrimiento subsuperficial puede ser tan lento como el subterráneo o tan rápido como el superficial, lo que ocasiona que sea difícil distinguirlo de los otros dos; de acuerdo con su velocidad, puede ser tratado junto con uno o con otro. Después, cuando las capas superiores del suelo se saturan, el agua llena las depresiones del terreno hasta adquirir la profundidad suficiente para sobrepasar la fuerza de retención superficial, momento en el cual empieza a fluir; a este tipo de escurrimiento se le conoce como *escurrimiento superficial* y es el primero en alcanzar la salida de la cuenca, de forma que se asocia a la *precipitación en exceso* de una tormenta particular y determina el *escurrimiento directo*. El agua que al llegar a la superficie terrestre, ni es retenida por ella, ni se infiltra en el suelo, se denomina *precipitación en exceso o efectiva* (Chow, 1994).

El escurrimiento superficial se clasifica en dos tipos: el flujo en la superficie del terreno y el escurrimiento en corrientes. El primero es el agua que fluye en una capa delgada a lo largo de una superficie ancha; sólo puede persistir en distancias cortas, antes de que las irregularidades en la superficie de la cuenca concentren el flujo en canales, es decir, cualquier depresión que pueda transportar una pequeña corriente de agua, durante la lluvia y durante un breve periodo después de ella. Cuando el agua llega a un cauce bien definido forma el *escurrimiento en corrientes*, en el que fluye a través de una trayectoria confinada, mucho más angosta que la del flujo en la superficie (Chow, 2004). La figura 9 esquematiza la clasificación del escurrimiento a partir del curso del agua sobre la superficie terrestre.

- Hidrograma y sus componentes

Se denomina *análisis de hidrograma* a la división de un hidrograma en escurrimiento directo y escurrimiento base. Un *hidrograma* es una gráfica que representa el gasto contra el tiempo. Chow, (1994) lo definió como «una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y el escurrimiento de una cuenca». Por ejemplo, un hidrograma anual muestra el balance a largo plazo de la precipitación, la evaporación y el caudal en una cuenca.

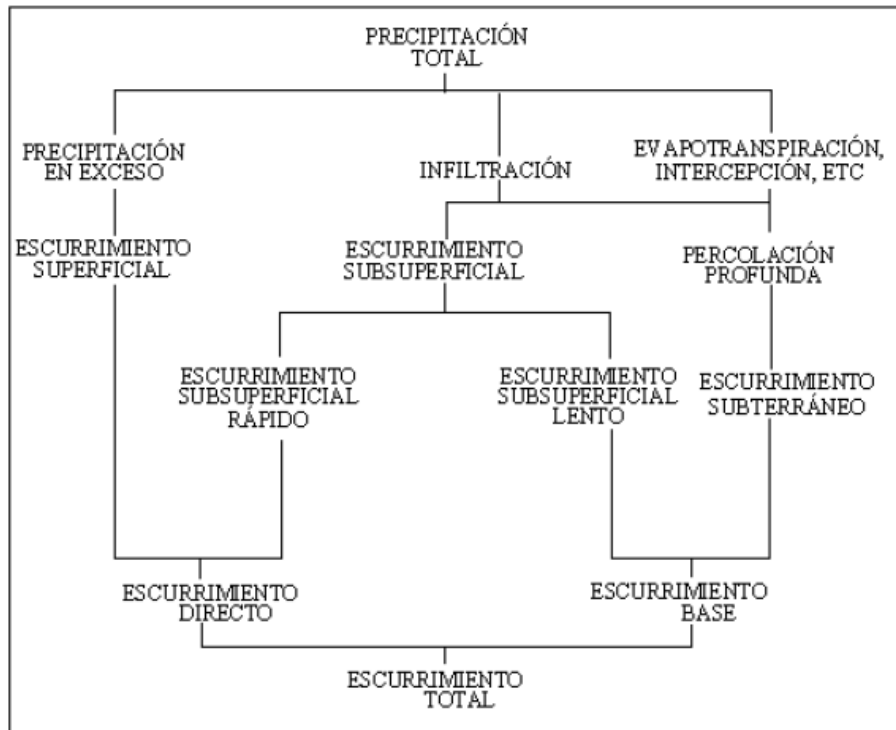


Figura 9. Diagrama que explica el escurrimiento.

Fuente: Chow (1994).

La figura 10 ilustra el hidrograma aislado de una tormenta; aun cuando los hidrogramas producidos por tormentas varían no sólo de una cuenca a otra, sino también de una tormenta a otra, la figura ilustra la forma general de tales hidrogramas, así como sus componentes. En un inicio el flujo base disminuye gradualmente (segmento AB) hasta llegar al *punto de levantamiento* (B), donde inicia el escurrimiento directo, debido a que el agua de la tormenta empieza a llegar a la salida de la cuenca. El agua puede alcanzar la salida de la cuenca inmediatamente después de iniciar la tormenta, durante o después de que ha terminado de llover. El escurrimiento alcanza el *pico* en el punto C, momento en el que se presenta el gasto máximo de la tormenta. La curva entre B y C se denomina *rama ascendente*. Después de alcanzar el pico, el escurrimiento disminuye, el *punto de inflexión* se presenta cuando termina el flujo sobre el terreno y toda el agua fluye por canales o subterráneamente. El punto E representa el fin del escurrimiento directo, a partir de él, el escurrimiento es sólo subterráneo. La *curva de recesión* es la curva entre el pico y el final del escurrimiento directo. La curva de recesión, después del punto de inflexión, es la curva de vaciado de la cuenca (Aparicio, 1992; Chow, 1994).

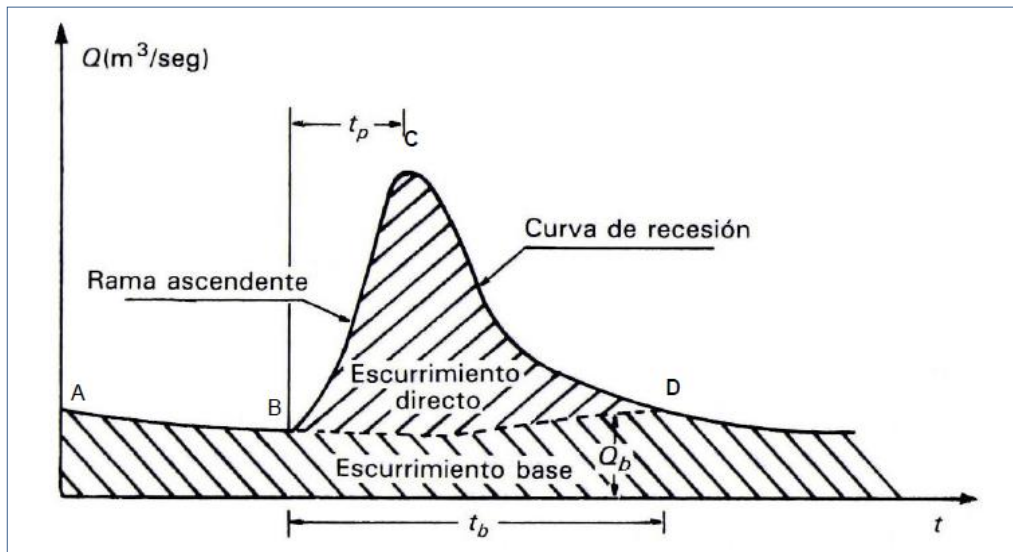


Figura 10. Forma general de un hidrograma y sus componentes.

Fuente: Aparicio (1992).

En el hidrograma se pueden observar dos tiempos importantes: el pico y la base. El *tiempo pico* es el que transcurre desde el punto en el que inicia el escurrimiento directo hasta que se presenta el gasto máximo. El *tiempo base* es el tiempo que dura el escurrimiento directo (Aparicio, 1992).

El *tiempo de concentración* (TC) es el tiempo necesario para que, con una lluvia neta uniforme, la totalidad de la cuenca contribuya al hidrograma de escorrentía superficial (Ferrer, 1993).

Si en una cuenca impermeable cayera uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo periodo, el gasto que saldría de la cuenca sería creciente hasta alcanzar el *punto de equilibrio*, en el cual el volumen de agua entrante (a causa de la lluvia) por unidad de tiempo es igual al gasto de salida de la cuenca (Aparicio, 1992). El TC que tardaría en establecerse el gasto de equilibrio, a partir del inicio de la tormenta, se denomina TC. Por lo tanto, el tiempo de concentración depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua y de la velocidad que adquiere en el trayecto, la cual está en función tanto de la pendiente del terreno y del cauce, como de la rugosidad de la superficie del cauce.

- Abstracciones o pérdidas de precipitación

$$I_a + P_e + F_a \frac{P_e}{S} = P \quad P_e = P - I_a + F_a P_e \quad I_a = 0.2S$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad 0 \leq CN \leq 100 \quad S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (1)$$

$$CN(I) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

La parte de la lluvia que no interviene en la formación de escorrentía superficial se denomina pérdidas o abstracciones. Las abstracciones incluyen la intercepción de precipitación por la vegetación del terreno, el almacenamiento en depresiones en la superficie del suelo a medida que el agua se acumula en hundimientos en la superficie, e infiltración de agua en el suelo.

Las abstracciones por intercepción y almacenamiento en depresiones se estiman con base en la naturaleza de la vegetación y de la superficie del terreno o se suponen despreciables en una tormenta grande. En la mayor parte de los problemas hidrológicos, el hidrograma de caudal no se encuentra disponible y las abstracciones tienen que determinarse.

El SCS (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad en exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a la retención potencia máxima S (Figura 11). Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$.

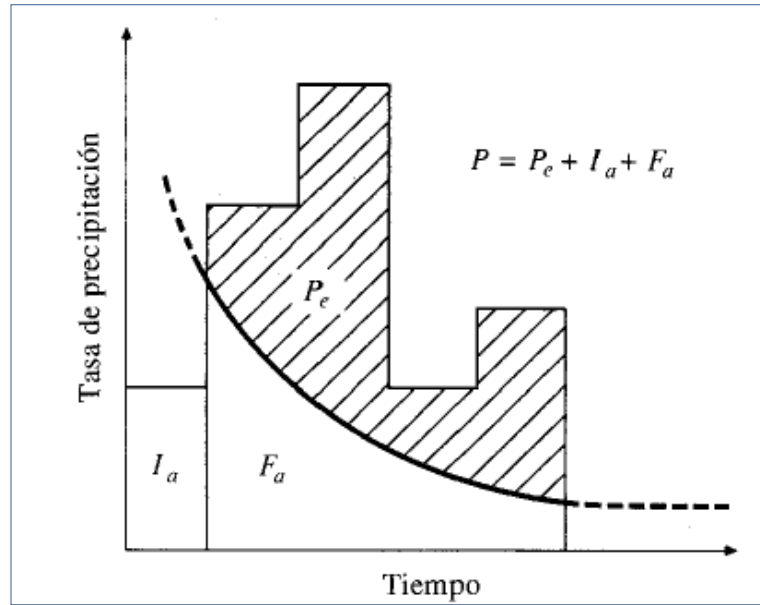


Figura 11. Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS:
 I_a = abstracción inicial, P_e = Exceso de precipitación, F_a = abstracción continuada, P = precipitación total.

Fuente: Chow (1994).

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir,

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (2)$$

Del principio de continuidad

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (3)$$

Combinando (2) y (3) y resolviendo para P_e se encuentra

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica,

$$I_a = 0.2S \quad (5)$$

Con base en esto

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (6)$$

Al representar en graficas la información de P y P_e para muchas cuencas, el SCS encontró curvas como las que se muestran en la figura 5.

Para estandarizar estas curvas, se define un numero adimensional de curva CN , tal que $0 \leq CN \leq 100$ Para superficies impermeables y superficies de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$.

El número de curva y S se relacionan por

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (7)$$

Donde S está en pulgadas. Los números de curva que se muestra e la figura 12 se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (II). Para condiciones secas (I) o condiciones húmedas (III), los numero de curva equivalentes pueden calcularse por

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0.058CN(II)} \quad (8)$$

$$CN(I) = \frac{23 CN(II)}{10+ 0.13CN(II)} \quad (9)$$

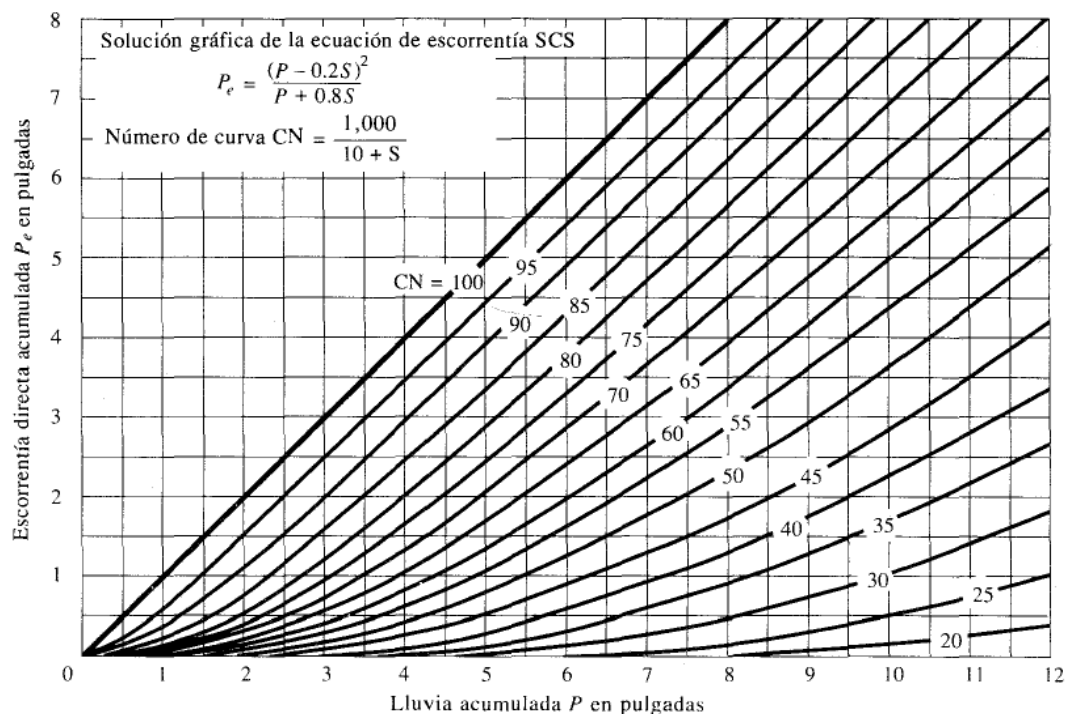


Figura 12. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS.

Fuente: Soil Conservation Service (1972).

En la tabla 6 se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase.

Tabla 6. Clasificación de clases antecedentes de humedad para los métodos de abstracciones de lluvia del SCS.

Grupo	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
Humedad antecedente	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: Soil Conservation Service (1972).

Los números de curva han sido tabulados por el SCS con base en el tipo de suelo y uso de la tierra. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto.

- Precipitación promedio en el área de una cuenca

La *precipitación* se refiere a cualquier forma de agua, sólida o líquida, que cae de la atmósfera y alcanza a la superficie de la Tierra. La cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo es conocida como la *intensidad de la precipitación* (altura de precipitación por unidad de tiempo). Un *pluviógrafo*, o el *medidor de lluvia electrónico*, es el instrumento ideal para registrar la lluvia, ya que al medir la intensidad de ésta, es posible saber cuándo y cuánto llovió en cada instante, durante una tormenta.

La precipitación que ocurre en una zona no es constante y el escurrimiento que se genera depende en gran medida de la extensión donde tiene lugar y de sus características (tamaño, pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.). Si queremos saber cuánto llovió durante una determinada tormenta, la respuesta puede variar, ya que depende de la medición en cada sitio, de acuerdo con la ubicación que tenga dentro de la zona donde está lloviendo. Es por eso que la precipitación se caracteriza como una altura o lámina; de esta manera es posible comparar la altura de la lluvia en diferentes puntos de una cuenca, o bien, obtener un promedio; también, al ser una variable independiente del área, permite convertir la lluvia en volumen precipitado para cualquier subárea dentro de la cuenca que se esté estudiando (CENAPRED, 2013).

La precipitación promedio en una cuenca es la estimación de la precipitación media en un lapso de tiempo y distribución espacial dentro de la cuenca. Para calcular la precipitación promedio en una cuenca, es necesario analizar las series de datos de precipitación disponibles, al menos por 30 años, de las estaciones meteorológicas existentes dentro de la cuenca y su periferia. A partir de dicha información se puede ponderar la aportación espacial de cada sitio a través de los siguientes métodos: aritmético, thiessen o de las curvas isoyetas (Martínez, Fernández, & Salas, 2016).

- Evento extremo de precipitación

En la literatura se han reportado diferentes definiciones para caracterizar un evento extremo de precipitación. Por ejemplo Charles (2000) los divide en tres tipos: un evento extremo de Tipo I ocurre cuando la suma de cinco días de precipitación total excede al 5% de la media anual. A los eventos de Tipo II y III, los define como la suma de la precipitación total durante cinco días que excede el 10 y 15 % de la media anual, respectivamente. Haylock y Nicholls (2000) examinaron tres índices de lluvia extrema: el número de eventos por encima de un extremo umbral (frecuencia extrema); la intensidad promedio de precipitaciones de eventos extremos (extrema intensidad); y la proporción de precipitación total de eventos extremos (extrema por ciento). Otros autores mencionan que para cualquier estación meteorológica dada, un evento extremo es cuando el 20% o más de la estacionalidad climática total de una localidad, cae en un día (Carvalho, Jones, & Liebmann, 2002). Sin embargo, Carvalho, Jones y Liebmann (2004). señalan como precipitación extrema, cuando la precipitación diaria en una estación dada está por encima del 16% del promedio de precipitación estacional total En México, el Servicio Meteorológico Nacional definió la tabla 7 para clasificar la precipitación acumulada en 24 horas para pronósticos a corto y mediano plazo. Para Protección Civil los milímetros de lluvia acumulados a lo largo de un día representan: 24 mm acción, 44 mm inundación menor, 58 mm inundación moderada y 78 mm inundación mayor y evacuación (IIO, 2012).

Tabla 7. Clasificación de la precipitación acumulada en 24 horas para pronósticos a corto y mediano plazo (24 a 96 horas).

Nivel	Lluvia en mm acumulada en 24 horas	Categoría
0	0.1 a 25.0	Lluvia
1	25.1 a 50.00	Lluvia Fuerte
2	50.1 a 75.0	Lluvia Muy Fuerte
3	75.1 a 150.0	Lluvia Intensa
4	150.1 a 250.0	Lluvia Torrencial
5	Mayor a 250.1	Lluvia Extraordinaria

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2016).

Estructura de datos espaciales

- **Sistemas de Información Geográfica**

Los sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen numerosas ventajas respecto a la cartografía convencional, puesto que de forma automática permiten manejar datos espaciales internamente referenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos de información de tipo digital y análisis geográfico (Conesa, 1996). Los datos SIG representan los objetos del mundo real que se pueden dividir en dos tipos: objetos discretos (localidades, lagos, ríos) y continuos (precipitación, temperatura, elevación). Los SIG se han consolidado como las herramientas más adecuadas para analizar de forma eficiente modelación hidrológica ya que permiten mejorar la representación de la variabilidad en la componente espacial de sistemas naturales, como los hidrológicos, a partir de la construcción de modelos espaciales (Piedra, 2013).

- **Modelos lógicos de sistemas de información geográfica**

El modelo lógico hace referencia a como se muestrean y organizan las variables y objetos para lograr una representación de la realidad lo más adecuada posible. El modelo de datos en un SIG puede ser raster o vectorial.

- **Modelo de datos vectorial**

En el modelo vectorial las entidades se definen por pares de coordenadas que configuran puntos, líneas o límites de polígonos para regiones con un mismo valor temático (Jones, 1997). El interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una base de datos que describe sus atributos.

En aplicaciones hidrológicas el análisis de datos vectorial se utiliza para realizar una representación vectorial de las cuencas y las líneas de drenaje. Usando esta información se construye una red geométrica de cauces de un arroyo.

- **Modelo de datos raster**

Un tipo de datos raster es en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor (Chrisman, 1997). Los datos raster registran valores para cada celda que pueden ser valores discretos, como el uso del suelo, valores continuos como temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. En aplicaciones hidrológicas el análisis de datos raster se realiza para generar datos sobre la dirección de flujo, acumulación de flujo, definición de corriente, segmentación de arroyos, y la delimitación de cuencas hidrográficas.

Calibración de modelos de cuencas hidrográficas

La clasificación de los modelos se basa en la descripción de los procedimientos, pueden ser agregados (no toman en cuenta la variación espacial, se expresan por medio de ecuaciones diferenciales ordinarias), y distribuidos (toman en cuenta la variación espacial y las características de la cuenca hidrográfica), dentro de los cuales se diferencian entre: determinísticos, estocásticos y mixtos. También se pueden clasificar por medio de la escala (espacio y tiempo); o por medio del método de solución como: numérico, análogo o analítico (Singh, 1995).

En la elaboración de los modelos computacionales para la solución de problemas hidrológicos, el tipo de modelo va sujeto a la disponibilidad de la información. En general los modelos distribuidos necesitan más información que los modelos agregados y en muchos casos no se encuentra toda la información, esto afecta la calidad de los resultados debido a que los modelos piden información para efectos de calibración y validación de sus parámetros.

En el proceso de calibración de los modelos consta de dos partes, que son: especificación de los parámetros y la estimación de los parámetros; la primera parte se basa en las propiedades de la cuenca hidrográfica, como son: propiedades físicas que no representan condiciones futuras, y el procedimiento de los parámetros para establecer los rango límites de iteración (máximos y

mínimos); la segunda parte consiste en utilizar diferentes técnicas de diseño con el fin de minimizar la incertidumbre de los datos estimados, para poder encontrar el mejor ajuste de la información y su posterior uso (Singh, 1995).

La obtención de los parámetros se realiza mediante procesos de optimización, los cuales pueden ser manuales o utilizando herramientas computacionales, dependiendo de la complejidad en el análisis de la información. Para efectos de generalización de los parámetros, por medio de una metodología manual no se puede establecer una única solución, mientras que por medio de herramientas computacionales es más fácil encontrar una única respuesta. Adicionalmente al proceso de calibración va sujeto un análisis de sensibilidad e incertidumbre con el fin de establecer confianza en los resultados obtenidos.

El proceso de calibración consta de los siguientes pasos (Singh, 1995):

Definición de la función Objetivo: Es una ecuación que se emplea para calcular una medida numérica de la diferencia entre los resultados del modelo simulado (generalmente el hidrograma de escurrimiento) y los registrados en la cuenca de estudio. El propósito de la calibración del modelo es, encontrar los valores de los parámetros que optimizan (valores máximos o mínimos) el valor numérico de la función objetivo.

Optimización del Algoritmo: El propósito es limitar el rango de valores que pueden tomar los parámetros, encontrar los valores apropiados máximos y/o mínimos de estos parámetros y de esta manera mejorar la confiabilidad de los resultados. Dentro de los métodos de búsqueda se encuentran locales y globales; los primeros tienen como propósito encontrar los valores mínimos de la función objetivo y a su vez se dividen en métodos de búsqueda directos y gradientes; mientras que los segundos diseñan eficientemente modelos para encontrar el valor mínimo de las funciones multimodales, las estrategias empleadas se basan en los siguientes criterios: criterio determinístico, criterio estocástico y/o una combinación de los dos determinístico y estocástico. Pero en la calibración de modelos hidrológicos no lineales, únicamente existen estudios realizados mediante el criterio estocástico y/o combinación de los dos.

Calibración de los datos: Es muy importante tener en cuenta la cantidad y calidad de los datos, ya que afecta directamente los resultados obtenidos. Dependiendo de estas condiciones se puede analizar la sensibilidad de los parámetros; los posibles errores en el proceso de obtención de información disminuyen la confiabilidad de los parámetros estimados.

Proceso de Validación: El propósito es encontrar cualquier imperfección, como por ejemplo: durante el proceso de calibración, en el análisis de las suposiciones del modelo seleccionado con el cual se calibran los datos, la selección de los parámetros, entre otros. Este método consiste en examinar el rendimiento de una parte de los datos que no se van a calibrar.

Análisis de Sensibilidad: El análisis de sensibilidad consiste en observar si un cambio en el valor del parámetro afecta con gran importancia el resultado, para este caso se dice que existe sensibilidad en los parámetros; pero si el valor del parámetro no afecta el resultado se dice que no existe sensibilidad.

3. Objetivos

Objetivo General

Simular el desbordamiento de la Presa ELZ ubicada en la zona urbana de la ciudad de Ensenada, Baja California, México.

Objetivos Particulares

- Conectar los elementos hidrológicos necesarios para representar las subcuencas que drenen a la Presa ELZ.
- Definir las características de la Presa ELZ que logren su representación en los procesos de simulación.
- Establecer condiciones iniciales que generen el desbordamiento de la Presa ELZ.

4. Descripción de la zona de estudio

- **Localización y geografía**

La zona de estudio encuentra en el Municipio de Ensenada (Figura 2) que pertenece al Estado de Baja California y representa el 73.5% de la superficie del mismo. Debido a que su extensión territorial de 52,646.52 km² lo ubica como el municipio más grande de México. El Estado de Baja California está situado en la región noroeste de la república mexicana y en la parte septentrional de la Península del mismo nombre. Está conformado de 5 Municipios: Mexicali que constituye la Capital del Estado, Tijuana, Tecate, Ensenada y Playas de Rosarito. La ciudad y puerto de Ensenada, pertenece al municipio del mismo nombre, que es el de mayor extensión territorial en México y es la tercera Ciudad más importante del estado con una población de 511,772 mil habitantes (COPLADE, 2014).

- **Geología**

En el municipio de Ensenada, destaca un paisaje geológico relativamente dominado por la formación ígnea intrusiva (aproximadamente 40% de la superficie), seguida por la ígnea extrusiva (33%), luego la sedimentaria (20%) y finalmente la metamórfica (7%).

En consecuencia, el 73% del territorio municipal tiene una dominancia geológica de rocas ígneas, causa principal de una conductividad primaria casi nula de los flujos hídricos provenientes de las pocas precipitaciones pluviales. Aunando a lo anterior que las pendientes son pronunciadas, al llover se origina que todos los arroyos sean de “caudal bruscamente variable”, generando problemas de variabilidad de lecho, con lo cual provoca inundaciones y socavaciones que afectan los valles agrícolas y poblaciones cercanas a la costa del municipio. En las desembocaduras de los arroyos se encuentra aluviones, constituidos por materiales de acarreo de sus respectivas corrientes, representan las rocas de mayor importancia, desde el punto de vista hidrológico, por su alta permeabilidad. Este tipo de suelo comprende una área, dentro de los límites del centro de población, de 2 301 ha (55.34%) (IMIP et al, 2013).

- **Edafología**

En el municipio de Ensenada, la mayoría de los suelos son azonales y poco desarrollados; los suelos que presentan menos de 60 cm de profundidad constituyen aproximadamente el 80% de la superficie de todos los suelos disponibles y se agrupan según la clasificación de la FAO-UNESCO (1971), a los siguientes tipos: Regosoles, Litosoles y Feozems. Los suelos de una profundidad de hasta un metro constituyen aproximadamente el 15% del total de suelos y son representados por el tipo Yermosoles, Solonchaks, Vertisoles y Fluvisoles, y los que van más allá de un metro de profundidad son los Xerosoles y representan el 5% de los suelos del municipio (ARNME, 2012).

- **Vegetación**

Se cuenta con pocos bosques y bajas densidades de vegetación que reflejan las condiciones de aridez, predominando el matorral de diversos tipos. Los matorrales que predominan son el Matorral Sarcocaula (8.25 % de la superficie), situándose en lomeríos, sierras bajas y mesetas; se asocia a rocas de tipo ígneo y suelos poco profundos como son los Regosoles, Yermosoles y Litosoles.

- **Clima**

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificado por García (2004), el tipo de clima es seco templado mediterráneo BSk (e). La temperatura media anual oscila entre los 14 °C y los 18 °C, siendo diciembre y enero los meses más fríos, y agosto y septiembre los meses más cálidos. La temporada de lluvias es en invierno (IMIP et al, 2013).

- **Uso actual del suelo**

El uso del suelo predominante es el habitacional. El uso comercial se encuentra concentrado en el primer cuadro de la ciudad y en sus inmediaciones, y en el resto del centro de Población se presenta mayormente en forma de corredores comerciales o mixtos.

- **Precipitación**

Se presenta un régimen de lluvias de invierno con una precipitación total anual promedio de 266.5 mm. La temporada de lluvias es de diciembre a marzo y se captura aproximadamente el 75% de la precipitación total anual. Los meses con mayor precipitación son enero, febrero y marzo, y los meses con menor precipitación son junio y julio.

- **Hidrología Superficial**

El INEGI, el INE y la CONAGUA delimitaron las cuencas hidrográficas de México a una escala de 1:250,000 a partir de criterios meramente topográficos (morfográficos) e hidrográficos (red de drenaje superficial) (IMIP et al, 2013). La ciudad de Ensenada se encuentra dentro de la Región Hidrológica RH01 (Figura 13), denominada Baja California Noroeste (Ensenada); tiene una extensión de 26,285 km². En la RH01 se ubica la cuenca “C” Rio Tijuana- Arroyo de Maneadero y la subcuenca Bahía de Ensenada con un área de 760 km², de tipo abierta y drena al mar. Los cuerpos de agua superficiales de interés en este estudio que se localizan dentro de la subcuenca Ensenada son la presa ELZ y el Arroyo Ensenada.

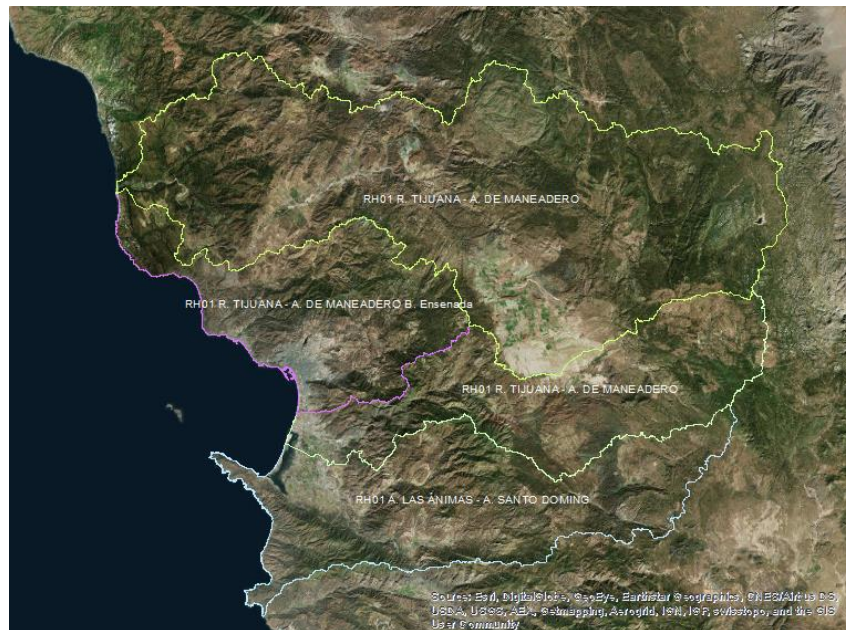


Figura 13. Región Hidrológica (RH01), denominada Baja California Noroeste (Ensenada) y sus cuencas.

Fuente: Elaboración propia.

Los cauces que se encuentran dentro de la subcuenca permanecen secos o con muy poca agua la mayor parte del año; solo en temporada de lluvia es cuando los cauces pueden acarrear grandes cantidades de líquido y sedimento.

- **La Presa ELZ**

Localización geográfica: De acuerdo a la memoria descriptiva de la presa ELZ (CONAGUA, s.f.), la presa ELZ (Figura 14) está ubicada en las coordenadas 31° 53' 45" latitud norte y 116° 35' 49" longitud oeste de Greenwich, sobre el arroyo Ensenada a 3.5 km al Noreste de la ciudad de ese mismo nombre dentro de la zona urbana en el límite de la Colonia Popular 2 y del Ejido Adolfo Ruiz Cortines.

Finalidad y descripción: Inició operaciones en 1978 en una zona despoblada a las afueras de la ciudad con el objeto de controlar las avenidas. En la década de 1980 Aguas abajo de la cortina de la presa existían pequeños ranchos que se encontraban fuera de la mancha urbana. Como resultado del crecimiento irregular de urbanización hacia el sector Noroeste, los ejidatarios vendieron sus tierras. A partir de 1981 la presa ELZ se integra como una fuente de suministro de agua para uso urbano al entrar en operación una planta potabilizadora de 150 l/s. En 1985 se construye el fraccionamiento Villa Fontana y Valle Verde, localizados a 100 y 400 metros aguas abajo de la cortina de la presa respectivamente y contiguas a la orilla del arroyo Ensenada; donde se vierte el agua de la presa.

Hidrología:

- **Capacidades del almacenamiento:** De acuerdo a las batimetrías realizadas por Ramírez-Hernández (2009) la presa tiene una capacidad al NAMO (Nivel de Aguas Máximas ordinarias) de 2.694 millones de m³, a una elevación de 19.8 m y de una capacidad al NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) de 6.983 millones de m³, con una elevación de 25.23 m.

Cortina: La cortina es de sección gravedad de concreto ciclópeo, longitud 260 m, altura máxima 34 m; vertedor de demasías en la parte central de la cortina, obras de toma a base de tubería a presión, combinada en su descarga con un canal de desfogue y suministro de agua a la planta potabilizadora. El área de la cuenca del arroyo hasta la presa es de 150 km².

Obra de excedencia:

- **Vertedero:** La presa contiene un vertedero construido monolíticamente con la cortina y tiene las siguientes características: longitud de cresta 5.00 m, es de cimacio descarga libre, perfil Creager, elevación 19.86 m; el cimacio se prolonga en una rápida en la elevación 14.26 m, talud 0.75:1 y remata en un deflector con cresta a la elevación 7.30 m, para descargar al cauce. Gasto máximo de diseño 122.0 m³/s, que pasan sobre la cresta con una carga de 5.37 m, y queda un bordo libre de 1.77 m.

Operación:

- **Gasto máximo vertido:** El máximo valor de almacenamiento registrado ocurrió en enero de 1993 con 5.36 millones de m³, fecha en la cual se tuvo una descarga máxima de 35.0 m³/s.

Debido al riesgo del uso de agujas en el vertedor, no se llegaron a colocar, ya que las avenidas tienen un tiempo de concentración mínimo de sólo 3 a 4 horas y la presa se opera dentro de la zona urbana. Desde su construcción, la presa no ha sido desazolvada.

5. Metodología

5.1 Procesos para simular el desbordamiento de presa

En este apartado, se definen las acciones que se llevan a cabo (generación de un modelo de cuenca, un modelo meteorológico y las especificaciones de control) así como los procesos internos de dirección y apoyo (caracterizar geomorfología de cuenca, conectar elementos hidrológicos, definir características de la presa y establecer condiciones iniciales), además, para cada proceso se define una metodología.

Para realizar los procesos y recopilar, organizar, administrar y analizar información geográfica, es necesario utilizar programas computacionales (Figura 14), como ARCGIS que sintetiza datos de diversas fuentes en una misma vista geográfica unificada (ESRI, 2016) además, permite la integración con otros programas a través de extensiones. Tal es el caso de la extensión Geoespacial de Modelación Hidrológica Geo-HMS.

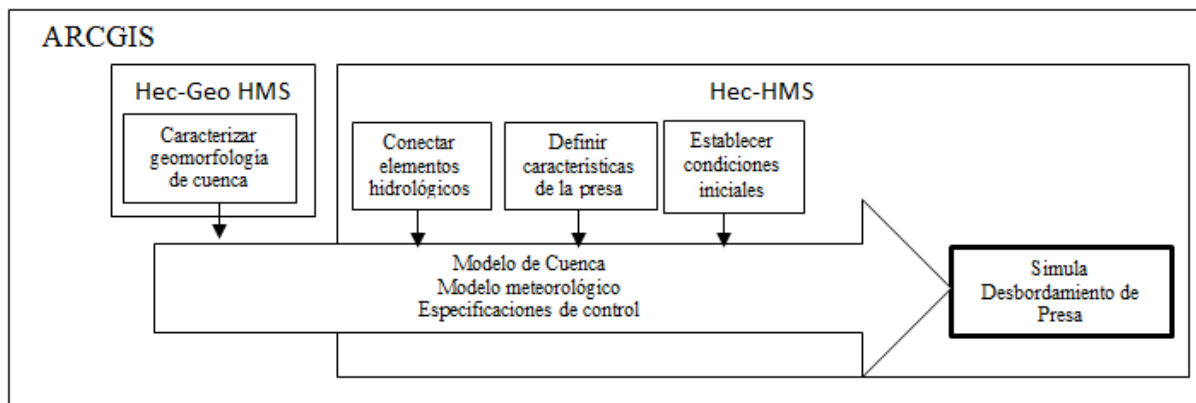


Figura 14. Procesos de simulación del desbordamiento de presa y programas computacionales a utilizar.

Fuente: Elaboración propia.

HEC-GEOHMS realiza análisis de datos digitales del terreno para transformar las vías de drenaje y límites de la cuenca en una estructura de datos hidrológicos que representa la red de drenaje. El programa permite visualizar información espacial, realizar análisis en cuencas hidrográficas, delinear subcuencas y arroyos. El resultado es un modelo de cuenca que será la entrada a la modelación hidrológica (HECH-HMS, 2010).

La simulación del desbordamiento de presas se realiza con un programa computacional de dominio público y de amplia utilización internacional conocido como Sistema de Modelación Hidrológico HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. HEC-HMS proporciona métodos de cálculo para evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca ante un evento de lluvia y dispone de un componente para especificar las características de una presa (HECH-HMS, 2010). Los proyectos que se crean en HEC-HMS están compuestos por tres elementos:

1. Modelo de cuenca, el cual contiene la información relativa a los elementos hidrológicos que definen ésta (subcuencas, tramos de propagación, etc.).
2. Modelo meteorológico, el cual contiene información relativa a precipitaciones (hietogramas).
3. Especificaciones de control, donde se define la duración de la simulación y el intervalo temporal con el que se va a definir el hidrograma.

Caracterizar geomorfología de una cuenca

La geomorfología de una cuenca pretende cuantificar determinados rasgos de la superficie terrestre. Para obtener las características geomorfológicas con HEC-GeoHMS se utiliza el diagrama de flujo de la figura 15.

A continuación se describen los pasos para obtener las características geomorfológicas de una cuenca:

1. Preparación y compilación inicial de los datos del terreno.

La preparación de los datos se realiza utilizando modelos lógicos de ARC-GIS.

- **Preprocesado del terreno.** En este paso se usa un MDE como entrada a HEC-GEO HMS para obtener los patrones de drenaje de la cuenca que permiten una primera delineación vectorial de los cauces, de las subcuencas y la red de drenaje. La delineación de las subcuencas se basa en la premisa de que el agua fluye siguiendo la línea de máxima pendiente.

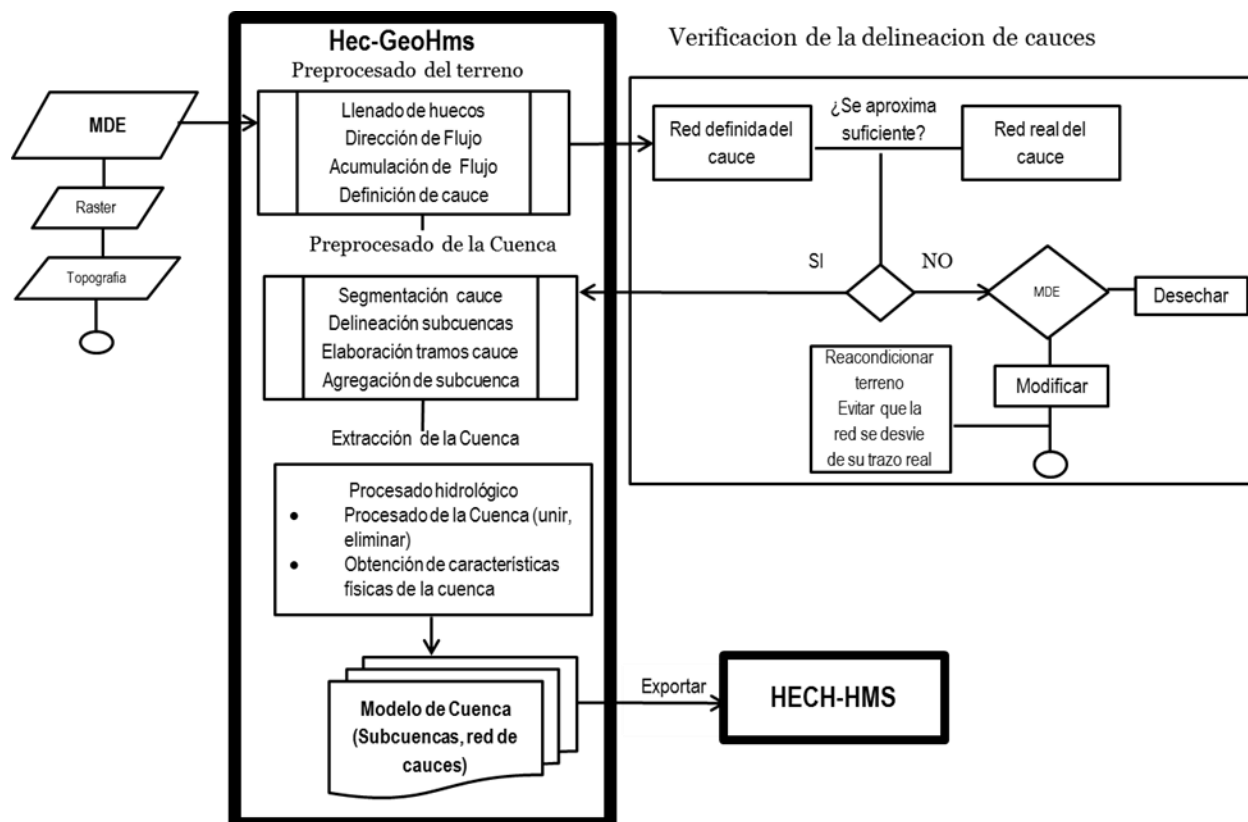


Figura 15. Diagrama de flujo para obtener las características geomorfológicas de una cuenca en entorno SIG con HEC- GeoHMS.

Fuente: Elaboración propia.

- **Llenado de huecos:** Una depresión en un MDE se define como la celda o conjunto de celdas rodeadas por otras celdas con una elevación mayor. Esto se debe a dos razones: 1) errores en los datos usados para obtener el MDE como los algoritmos de interpolación en formato raster a partir de fuentes de información en formato vectorial o 2) ser atributos naturales del paisaje o excavaciones como un lago sin salida, un mar interior o una zona endorreica. El método de llenado de depresiones usado en HEC-GeoHMS consiste en completar las depresiones incrementando los valores de celda en cada depresión hasta el valor de la celda con la elevación más baja en el límite de la depresión. Así se garantiza la continuidad de la red hidrográfica.

- **Dirección de Flujo:** En el cálculo de la dirección del flujo se le asigna a cada celda un valor en función de la dirección hacia donde drena, que será la dirección de la máxima pendiente. Los ocho valores posibles en función de la dirección de drenaje se muestran en la figura 16 y son: 1 este; 2 sureste, 4 sur, 8 suroeste, 16 oeste, 32 noroeste, 64 norte y 128 noreste. Este esquema de numeración se debe al sistema binario, que es usado por los ordenadores, donde el 1 equivale a 00000001, el 2 a 00000010, el 4 a 00000100 y así sucesivamente hasta el 128 que equivale a 10000000.

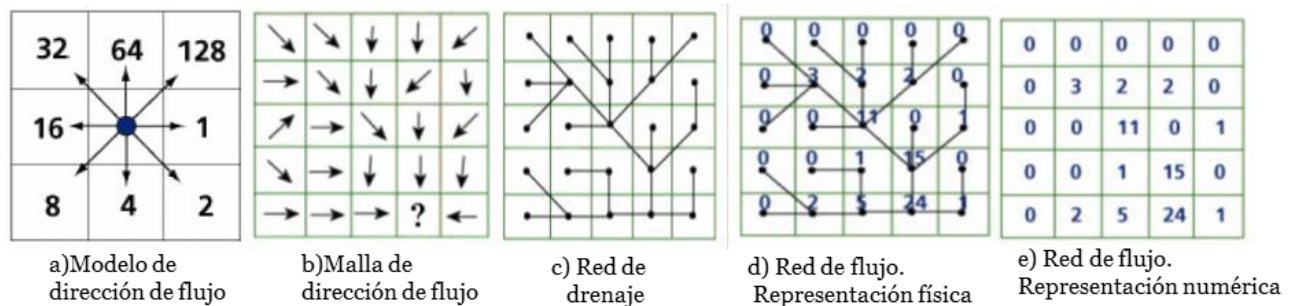


Figura 16. Representación de la red de drenaje y acumulación de flujo.

Fuente: Martínez, 2007.

En la figura 16 observamos la malla de direcciones de flujo que puede ser representada poniendo en cada celda una flecha apuntando hacia la celda que drena o dibujando una línea que una los centros de las celdas. A partir de este concepto de unir celdas es como posteriormente se construye la red de drenaje de la figura 16c.

- **Acumulación de Flujo:** A partir del archivo de direcciones de flujo se obtiene el archivo de acumulación de flujo. Este paso determina el número de celdas que drenan a cada celda. Hay que indicar que la celda de estudio no está contabilizada en el proceso. Desde el punto de vista físico, la acumulación de flujo es una medida del área de drenaje, expresada en unidades de celdas, que puede ser pasada a m^2 o km^2 multiplicando el número de celdas por el tamaño de celda del modelo. En la figura 16b y 16c se muestra la representación de la acumulación de flujo.

- **Definición de Cauce:** A partir del archivo de acumulación de flujo los cauces pueden ser definidos mediante el uso de un valor umbral de área de drenaje o de número de celdas de acumulación de flujo. Desde el punto de vista hidrológico, este valor umbral indica el momento en el que se genera la escorrentía. Todas las celdas que tengan un valor superior al valor umbral se clasifican como celdas que forman parte del cauce, mientras que las restantes celdas serán consideradas como superficie del terreno que drena a los cauces definidos. HEC-GeoHMS da por defecto como valor umbral el 1% del valor máximo de la acumulación de flujo (el valor máximo de acumulación de flujo es el área de la cuenca de estudio, por lo tanto el valor umbral definido sería el 1% del área total). Pero lógicamente, el momento en el que se genera la escorrentía no depende únicamente del tamaño de la cuenca.

2. Verificación de la delineación de cauces.

Lo que hay que comprobar es si los cauces obtenidos por el algoritmo de cálculo siguen la trayectoria real. Si se comprueba que la red definida no se aproxima lo suficiente a la red real habrá que modificar el MDE. Este proceso de modificación está compuesto por dos partes: la primera es realizar un reacondicionamiento del terreno con HEC-GeoHMS y la segunda es modificar los datos de partida para obtener un nuevo MDE. Hay que señalar que el proceso de modificación es un proceso iterativo y que el técnico deberá elegir el valor de los parámetros a modificar y decidirá cuando el resultado es aceptable en base a su experiencia y a la comprobación in situ de las zonas conflictivas.

3. Preprocesado de la cuenca.

El preprocesado incluye una serie de pasos que se describen a continuación.

- **Segmentación de Cauce:** Divide el cauce en distintos tramos. Cada tramo de cauce está formado por el punto de inicio de un cauce y una unión, por dos uniones o por una unión y el punto final del cauce. Entonces a todas las celdas que formen parte de un mismo tramo se les asignará el mismo número.

- **Delineación de Subcuenca:** Este paso delinea la subcuenca que vierte a cada tramo de cauce definido en el paso anterior.

- **Elaboración de las Subcuencas:** Convierte el archivo en formato raster de las subcuencas obtenidas en el paso anterior a formato vectorial.

- **Elaboración de los tramos de cauce:** Este paso convierte los cauces a formato vectorial.

- **Agregación de Subcuenca:** Este paso agrega las subcuencas hacia aguas arriba en cada confluencia de los cauces. Aunque no tiene ningún significado hidrológico es un paso necesario, ya que mejora el proceso posterior de delineación de subcuencas y mejorar la Extracción de los datos.

4. Extracción de la cuenca de estudio.

Una vez que ya se ha completado el preprocesado del terreno hay que extraer la cuenca hidrográfica de estudio. Para ello hay que definir el punto de drenaje de la cuenca. El procesado hidrológico, consiste en el procesado de cuenca, la obtención de las características físicas de cauces y subcuencas, la estimación de los parámetros hidrológicos y la exportación de los datos a HEC-HMS.

- **Procesado de cuenca:** En este paso el técnico decide si es conveniente unir o desagregar subcuencas. Para que dos o más subcuencas puedan unirse deben tener un punto confluencia común o ser adyacentes en forma de aguas arriba hacia aguas abajo, es decir, que una subcuenca pueda verter en otra.

- **Características de Cauces y Subcuencas:** HEC-GeoHMS permite la extracción de varias características físicas de los cauces y de las subcuencas. Éstas características son almacenadas en tablas de atributos, que pueden ser exportadas a hojas de cálculo o a otros programas. A partir de las características físicas se obtendrán posteriormente los parámetros hidrológicos (Tabla 8), que forman parte de los datos de conforman en modelo hidrológico. La máxima longitud de flujo y la pendiente de la máxima longitud de flujo son características con las que posteriormente se determinará el tiempo de concentración de cada subcuenca, parámetro de entrada necesario para HEC-HMS.

Tabla 8. Métodos para subcuenca y tramos del cauce.

Elementos hidrológico	Tipo de calculo	Método	Parámetros hidrológicos
Subcuenca	volumen de esorrentía	Número de Curva del SCS ¹	Número de Curva
	Transformación lluvia a caudal	Hidrograma Unitario del SCS	Tiempo de concentración
Tramo	Tránsitos en cauce	Muskingum	

¹Ahora es el Natural Resources Conservation Service (NRCS).

Fuente: Elaboración Propia.

- Exportar datos a HEC-HMS

El último objetivo de HEC-GeoHMS es obtener una serie de datos hidrológicos que formarán parte de los datos de entrada para HEC-HMS. Debido a que los parámetros hidrológicos y el modelo meteorológico serán calculados externamente, únicamente se exporta el modelo de cuenca; con el área de las subcuencas y el mapa de fondo con los cauces y subcuencas.

5. Modelo de cuenca

En HEC-HMS el modelo de cuenca se representa mediante la conexión de una serie de elementos hidrológicos, de modo que formen una red que refleje el movimiento real del agua en la cuenca. La tabla 9 describe tales elementos hidrológicos.

Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca y requieren parámetros para que el programa pueda modelar el proceso hidrológico representado por el elemento.

Tabla 9. Descripción de los elementos hidrológicos en el modelo HMS.

Elemento hidrológico	Descripción
Subcuenca (Subbasin)	Representa la parte física de la cuenca. Dada la precipitación, la salida de agua de la subcuenca se calcula restando las pérdidas a la precipitación y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca, sumando finalmente el caudal base.
Tramo (Reach)	Transporta el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada.
Unión (Junction)	Suma flujos de agua que provienen de elementos hidrológicos situados aguas arriba de la unión. El caudal de salida se calcula sumando todas las entradas (hidrogramas de todos los elementos conectados a la unión) y asumiendo que no existe almacenamiento en la unión.
Fuente (Source)	Introduce caudal en la cuenca, no tiene entradas, el gasto de salida es definido por el usuario.
Salida (Sink)	Representa el punto de salida de la cuenca. El gasto de entrada puede venir de uno o más elementos situados aguas arriba del sumidero. No hay gasto de salida en este elemento.
Presa (Reservoir)	Modela la retención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o depósito de retención. El gasto de entrada viene de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida puede ser calculado por: altura-área-descarga; tablas de almacenamiento-descarga; o elevación-almacenamiento-descarga.
Derivación (Diversion)	Modela el flujo de agua que abandona un tramo de cauce. La entrada proviene de uno o más elementos de aguas arriba. La salida consiste en un flujo derivado y otro no derivado (que sigue por el cauce). El flujo derivado se define por el usuario. Ambos flujos se pueden conectar aguas abajo con otros elementos. La salida es de dos tipos, el caudal desviado, y el caudal que no es desviado.

Fuente: HECH-HMS (2010).

• Métodos de Cálculo y Parámetros Hidrológicos

En el elemento subcuenca existen modelos matemáticos para determinar las pérdidas de precipitación, la transformación de exceso de precipitación en escorrentía hacia la salida de la subcuenca, y la suma del caudal base. En este documento, los modelos matemáticos serán denominados métodos. En la tabla 8 se muestran los métodos utilizados en cada subcuenca.

Hech-HMS calcula el volumen de escorrentía mediante el cálculo del volumen de agua que es interceptada, infiltrada, almacenada, evaporada y sustraída de la precipitación, a este conjunto de elementos se le denomina *perdidas*. La interceptación y el almacenamiento superficial de la precipitación se representan mediante la acumulación del agua en árboles o césped, depresiones locales en la superficie del suelo, grietas y hendiduras en los estacionamientos o techos, o una superficie donde el agua no es libre de moverse como flujo superficial.

Una cuenca puede clasificarse como impermeable o permeable. Una superficie impermeable es la parte de la cuenca en la que toda la precipitación contribuye al escurrimiento, sin infiltración, evaporación o cualquier otra pérdida de volumen. Por otro lado, la precipitación en las superficies permeables está sujeta a pérdidas. En este estudio se utiliza el método de NC de la SCS para el cálculo de las pérdidas acumuladas y no se consideran las pérdidas por evapotranspiración, ya que la modelización de avenidas es un proceso cuya duración es de unas pocas horas, o a lo sumo dos o tres días, siendo por tanto despreciables las posibles pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración en tan corto espacio de tiempo.

Los métodos de cálculo que se usan en los tramos son relativos a la propagación de caudales.

- **Método de Número de Curva del Soil Conservation Service**

El procedimiento del número de curva (*NC*) fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y por el entonces SCS como un simple procedimiento para calcular el volumen de escurrimiento generado por grandes tormentas en pequeñas cuencas agropecuarias. Los *NC* dependen del tipo de suelo, del uso y tratamiento del mismo, de su condición de humedad antecedente y de la pendiente. Los valores de *NC* se definen en el rango entre 0 a 100, pero en la práctica se observa que varían entre 35 y 98, con algunas excepciones (Ponce y Hawkins, 1996). Para un terreno al que corresponda un *NC* =100, indica que toda la precipitación genera escorrentía.

Debido a su simplicidad, pronto evolucionó más allá de sus objetivos generales y fue adoptado para diferentes usos de suelo, como cuencas urbanas y forestales; así, rápidamente llegó a ser una de las técnicas más utilizadas por ingenieros e hidrólogos, incluso se han desarrollado metodologías para la generación automática del *NC* usando los sistemas de información geográfica (Alonso, Ibáñez, Arteaga, & Vázquez, 2014).

- **Metodología para generar mapa del número de curva**

La metodología que se presenta a continuación (Figura 17) está basada en un informe del CEDEX, que forma parte del ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente del gobierno de España, realizado con la colaboración del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

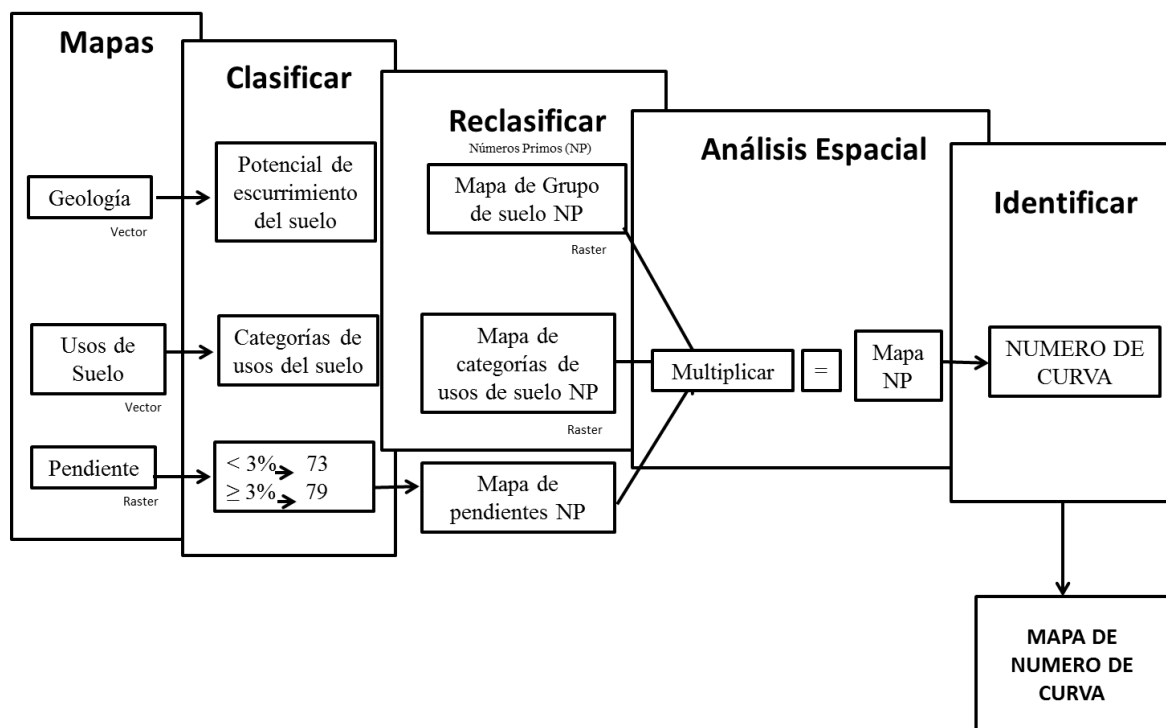


Figura 17. Proceso para obtener mapa de número de curva.

Fuente: Elaboración propia

A continuación se describen los procesos para generar el mapa de número de curva (Ferrer, Rodríguez, & Estrela, 1995).

1. Disponer de los mapas de las variables a usar (geología, uso de suelo y pendiente).
2. Clasificar leyenda geológica a grupos de suelo de la SCS según la tabla 10.
3. Clasificar usos de suelo de acuerdo a las categorías de la tabla 11.
4. Clasificar mapa de pendientes en dos grupos $< 3\%$ asignando valores de números primos 73 y $\geq 3\%$ asignando valor 79.
5. Convertir los mapas de vectores a raster.
6. Reclasificar a números primos (NP) los mapas de grupo de suelo, mapa de categorías del uso de suelo de acuerdo de acuerdo a la tabla 11.
7. Realizar análisis espacial multiplicando las capas reclasificadas con números primos, de esta manera solo habrá un único número expresado como combinación de las tres variables que condicionan el valor del número de curva. Dada la singularidad de los números primos, el producto de ellos siempre dará un número diferente.
8. Identificar el correspondiente número de curva en la tabla 11. A cada número primo le corresponde un numero de curva
9. El resultado de paso anterior será el mapa de número de curva.

- **Calculo del tiempo de concentración**

En la literatura existen múltiples expresiones para el cálculo del tiempo de concentración (TC) que varían considerablemente debido a ciertos criterios con los que fueron definidas, como la extensión de la cuenca, si es una cuenca natural o urbanizada o con superficies de concreto o asfalto. De acuerdo a dichos criterios la variabilidad de los resultados entre una y otra expresión para calcular el TC puede ser bastante alta, razón por la cual el criterio del analista es fundamental en la definición del TC de una determinada cuenca.

Tabla 10. Clasificación de grupos de suelo de la SCS.

Grupos de Suelo	Infiltración (suelo muy húmedo)	Escorrentía	Textura del Suelo	Drenaje
A	Rápida	Muy Lenta o nula	Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.	Perfecto
B	Moderada	Lenta	Terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos. Arenas finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de ambos.	Bueno a moderado
C	Lenta	Moderada	Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados. Arenas muy finas, limos y bastante arcilla.	Imperfecto
D	Muy lenta	Rápida	Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella. Se incluyen terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos)	Pobre o muy pobre

Nota: El grupo hidrológico del suelo, según los científicos del SCS, después de analizar más de 4 000 suelos con base en su potencial de escurrimiento, los clasificaron en cuatro grupos, identificándolos con las letras A, B, C y D de acuerdo con su capacidad de infiltración.

Fuente: Alonso et al. (2014).

Tabla 11. Equivalencias para obtener número de curva.

Np Usos de suelo	Usos de Suelo	Pendiente		NP Grupo de suelo				Multiplicación de Np (Np uso de suelo) * (Np pendiente) * (Np grupo de suelo)				Equivalencia a Número de Curva			
		Np	(%)	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
2	Aguas	79	≥ 3	83	89	97	101	13114	14062	15326	15958	98	98	98	98
2	Continetales	73	< 3	83	89	97	101	12118	12994	14162	14746	98	98	98	98
3	Acumulación de	79	≥ 3	83	89	97	101	19671	21093	22989	23937	98	98	98	98
3	Nieve	73	< 3	83	89	97	101	18177	19491	21243	22119	98	98	98	98
5	Infraestructuras	79	≥ 3	83	89	97	101	32785	35155	38315	39895	98	98	98	98
5	Viaria	73	< 3	83	89	97	101	30295	32485	35405	36865	98	98	98	98
7	Urbanizaciones	79	≥ 3	83	89	97	101	45899	49217	53641	55853	98	98	98	98
7		73	< 3	83	89	97	101	42413	45479	49567	51611	98	98	98	98
11	Núcleos urbanos	79	≥ 3	83	89	97	101	72127	77341	84293	87769	98	98	98	98
11		73	< 3	83	89	97	101	66649	71467	77891	81103	98	98	98	98
13	Zonas industriales y	79	≥ 3	83	89	97	101	85241	91403	99619	103727	98	98	98	98
13	Comerciales	73	< 3	83	89	97	101	78767	84461	92053	95849	98	98	98	98
17	Cultivos Herbáceos	79	≥ 3	83	89	97	101	111469	119527	130271	135643	61	72	81	83
17	de Secano	73	< 3	83	89	97	101	103003	110449	120377	125341	60	70	78	81
19	Cultivos Herbáceos	79	≥ 3	83	89	97	101	124583	133589	145597	151601	54	68	78	82
19	de Regadío	73	< 3	83	89	97	101	115121	123443	134539	140087	52	67	76	79
23	Fruteros de Secano	79	≥ 3	83	89	97	101	150811	161713	176249	183517	45	64	77	83
23		73	< 3	83	89	97	101	139357	149431	162863	169579	40	60	72	78
29	Fruteros de Regadío	79	≥ 3	83	89	97	101	190153	203899	222227	231391	38	60	72	78
29		73	< 3	83	89	97	101	175711	188413	205349	213817	34	54	69	77
31	Viña	79	≥ 3	83	89	97	101	203267	217961	237553	247349	45	64	77	83
31		73	< 3	83	89	97	101	187829	201407	219511	228563	40	60	72	78
37	Prados	79	≥ 3	83	89	97	101	242609	260147	283531	295223	68	78	86	89
37	Superforestados	73	< 3	83	89	97	101	224183	240389	261997	272801	46	67	81	88
41	Bosques y Prados	79	≥ 3	83	89	97	101	268837	288271	314183	327139	40	60	69	76
41		73	< 3	83	89	97	101	248419	266377	290321	302293	40	60	69	76
43	Bosques de	79	≥ 3	83	89	97	101	281951	302333	329509	343097	36	52	62	68
43	Esclerófilos	73	< 3	83	89	97	101	260537	279371	304483	317039	36	52	62	68
47	Bosques de	79	≥ 3	83	89	97	101	308179	330457	360161	375013	36	52	62	68
47	Caducifolios	73	< 3	83	89	97	101	284773	305359	332807	346531	36	52	62	68
53	Bosques de	79	≥ 3	83	89	97	101	347521	372643	406139	422887	36	52	62	68
53	Aciculifolios	73	< 3	83	89	97	101	321127	344341	375293	390769	36	52	62	68
59	Vegetación de	79	≥ 3	83	89	97	101	386863	414829	452117	470761	94	94	94	94
59	Zonas Húmedas	73	< 3	83	89	97	101	357481	383323	417779	435007	91	91	91	91
61	Suelos con	79	≥ 3	83	89	97	101	399977	428891	467443	486719	75	82	86	89
61	Vegetación Escasa	73	< 3	83	89	97	101	369599	396317	431941	449753	71	78	82	86
67	Zonas Quemadas	79	≥ 3	83	89	97	101	439319	471077	513421	534593	75	82	86	89
67		73	< 3	83	89	97	101	405953	435299	474427	493991	71	78	82	86
71	Zonas de Arena y	79	≥ 3	83	89	97	101	465547	499201	544073	566509	75	82	86	89
71	Playa	73	< 3	83	89	97	101	430189	461287	502751	523483	71	78	82	86

Fuente: Adaptación de Sánchez (2015).

- **Formula de Temez**

En 1978, J.R. Temez propuso una fórmula de cálculo del tiempo de concentración. Esta fórmula se utiliza para pequeñas cuencas naturales o cuencas poco urbanizadas y tiene amplia difusión en España (Martínez, 2007; Aroca, 2014). La ecuación 1 muestra la fórmula de Temez donde TC es el tiempo de concentración en horas, L es la longitud máxima del flujo en km y J representa la pendiente del tramo en m/m.

$$TC_{(hra)} = 0.3 \cdot \left(\frac{L_{(Km)}}{J^{1/4}} \right)^{0.76} \quad (10)$$

- **Método de Muskingum**

La propagación de la onda de avenida se caracterizará aplicando el método de Muskingum.

Una vez conocidos los caudales de referencia y obtenidos los hidrogramas de la cuenca se puede realizar el tránsito de dichos hidrogramas. El tránsito de caudales es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos o superpuestos en uno o más puntos aguas arriba. En un sentido más amplio, el tránsito de caudales puede considerarse como un análisis para seguir el caudal a través de un sistema hidrológico, dada una entrada.

Uno de estos métodos de tránsito de avenidas es el Método de Muskingum, que es un método de tránsito de sistemas agregados es decir, el flujo se calcula como una función del tiempo únicamente en un lugar particular, sin entrar en los análisis y detalles que realizan los modelos hidráulicos. Este método modela el almacenamiento volumétrico del flujo en un cauce mediante la combinación de dos sumandos constituidos por el almacenamiento en prisma y el almacenamiento en cuña, tal y como se muestra en la figura 18.

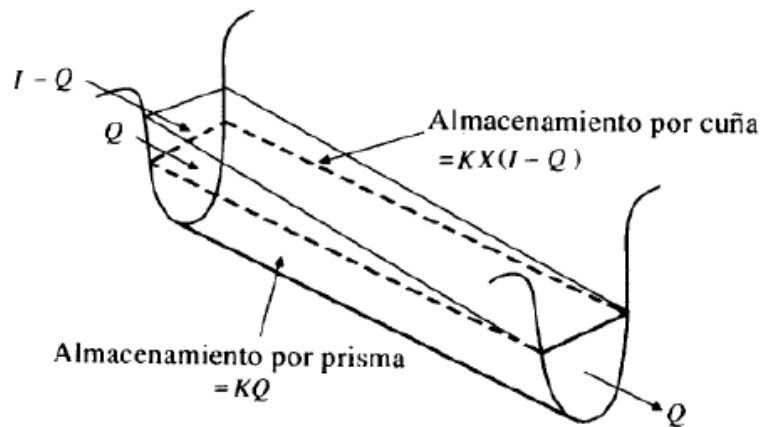


Figura 18. Almacenamiento por prisma y por cuña en un tramo de un cauce.

Fuente: Aparicio (1992).

Durante la fase de crecimiento del hidrograma, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, produciéndose un almacenamiento en forma de cuña positiva. Por el contrario durante la fase de recesión, el caudal de salida es mayor que el de entrada, resultando así una cuña negativa. Además, existe un almacenamiento en prisma que está formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del cauce. Suponiendo que el área de la sección transversal del flujo de avenidas es directamente proporcional al caudal en la sección, el volumen de almacenamiento por prisma es igual a KQ donde K es un coeficiente de proporcionalidad, y el volumen de almacenamiento por cuña es igual a $KX(I - Q)$, donde X es un factor de ponderación dentro del rango $0 \leq X \leq 0,5$. El almacenamiento total es por consiguiente la suma de las dos componentes, $S = KQ + KX(I - Q)$, que reorganizada da la función de almacenamiento para el método de Muskingum, y representa un modelo lineal para el tránsito de caudales en flujos.

$$S = K[XI + (1 - X)Q] \quad (11)$$

El valor de X depende de la forma de almacenamiento en cuña y varía desde 0 para un almacenamiento tipo embalse, hasta 0,5 para una cuña completamente desarrollada. Cuando $X = 0$ no existe cuña y por consiguiente no existe curva de remanso. En este caso la ecuación anterior resulta en un modelo de embalse lineal $S = KQ$. En flujos naturales, X se encuentra entre 0 y 0,3

con un valor medio cercano a 0,2. No se necesita una gran precisión en la determinación de X debido a que los resultados del método son relativamente insensibles al valor de este parámetro. El parámetro K es el tiempo de tránsito de la onda de flujo a través del tramo del canal. Para su determinación se necesita el hidrograma de entrada y de salida y a partir de ello K quedaría definida como:

$$K = \frac{S}{XI(1-X)Q} = \frac{0,5\Delta t[(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{X(I_{j+1} - I_j) + (1-X)(Q_{j+1} - Q_j)} \quad (12)$$

donde:

S = es el almacenamiento

X = depende de la forma de almacenamiento (varia entre 0 y 0,5)

I = caudal de entrada

Q = caudal de salida

Para el tránsito hidrológico, los valores de K y X se suponen especificados y constantes para todo el rango de flujo.

Los valores de almacenamiento en el tiempo j y $j+1$ pueden escribirse, respectivamente, como:

$$S_j = K[XI_j + (1-X)Q_j] \quad (13)$$

$$S_{j+1} = K[XI_{j+1} + (1-X)Q_{j+1}] \quad (14)$$

Utilizando las ecuaciones 20 y 21, el cambio del almacenamiento durante el intervalo de tiempo Δt es como se muestra en la figura 19 y en la ecuación 22.

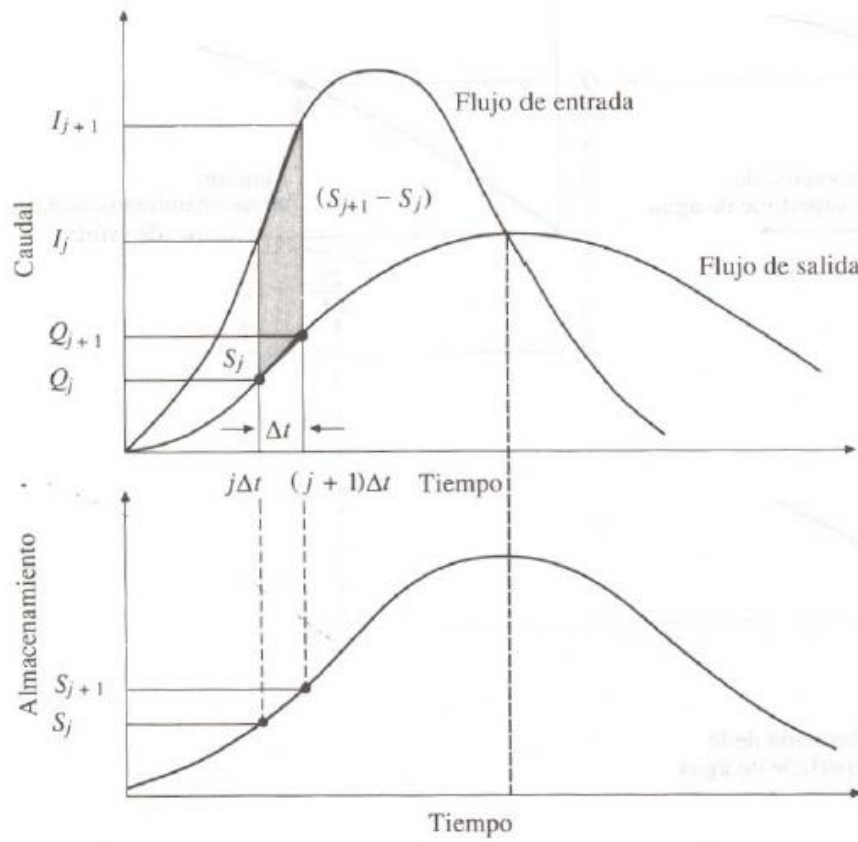


Figura 19. Cambio de almacenamiento durante un período de tránsito Δt .

Fuente: Aparicio (1992).

$$S_{j+1} - S_j = K \{ [XI_{j+1} + (1-X)Q_{j+1}] - [XI_j + (1-X)Q_j] \} \quad (15)$$

El cambio en el almacenamiento también puede expresarse, como:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1})}{2} \Delta t - \frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t \quad (16)$$

Combinando las ecuaciones 22 y 23 y simplificando, se obtiene:

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j \quad (17)$$

Que es la ecuación de tránsito para el método de Muskingum, donde:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) - \Delta t} \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (19)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (20)$$

Nótese que $C_1 + C_2 + C_3 = 1$.

- **Representación de presas en el modelo de cuenca.**

En el modelo de cuenca una presa es un elemento con una o más entradas de flujo de agua y un flujo de salida calculado. Las entradas de flujo vienen con otros elementos en el modelo de cuenca. Si hay más de un flujo de entrada, todas las entradas se agregan antes de calcular la salida. Se asume que la superficie del agua en el embalse esta nivelada. Los parámetros base definidos para el elemento Presa se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Parámetros base del elemento Presa.

Parámetro	Definición
Elemento de propagación aguas abajo	Identificación del tramo
Método	Outflow Structures
Método de Almacenamiento	Elevation-Almacenamiento
Elevación inicial	Elevación de la presa
Vertedero	1

Fuente: Elaboración propia.

El parámetro de propagación se refiere al tramo que transporta el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca. Se utiliza el método de outflow structures porque este método está diseñado para modelar embalses con estructuras de salidas y se puede especificar una estructura de salida única como lo es un vertedero. Asimismo se define una tabla que relaciona la elevación y el almacenamiento. El parámetro de elevación inicial, se refiere a la elevación y volumen de la presa en el momento en que inicia la simulación y puede ser variable dependiendo del escenario.

Una de las características del vertedero es que tiene sus propios parámetros base que se muestran en la tabla 13. El método de broad-crested spillway (vertedero de cresta ancha) permite controlar la parte superior del embalse de acuerdo con el flujo de vertedero.

El coeficiente de descarga da cuenta de las pérdidas de energía ya que el agua entra en el vertedero y fluye a través de él, y, finalmente, sale del vertedero en función de la forma que tenga el vertedero. Los valores comunes están entre 1.10 a 1.66 en el sistema internacional de unidades (2.0 a 3.0 US customary units) (HEC-HMS, 2010).

Tabla 13. Parámetros base del vertedero.

Parámetro	Definición
Método	Broad-Crested Spillway
Elevación	Cresta del vertedero
Ancho	Ancho del vertedero a través del cual pasa el agua
Coeficiente ($M^{0.5}/S$)	Coeficiente de descarga

Fuente: Elaboración propia.

- **Modelo Meteorológico**

El modelo meteorológico en HMS calcula la entrada de precipitación requerida por un elemento subcuenca. El programa puede usar datos de lluvia puntual o en malla y puede modelar lluvia congelada o líquida junto con evapotranspiración. Incluye varios métodos de precipitación (tormenta frecuente, medidores de lluvia, precipitación en malla, distancia inversa y otros). Dentro del modelo meteorológico introducimos los datos de los pluviógrafos que se van a utilizar y los asignamos a cada subcuenca. Una breve descripción de los métodos disponibles para calcular la precipitación media en la cuenca o celda a celda se incluye en la tabla 14. En el presente trabajo se utiliza el método de Hietograma especificado.

Tabla 14. Descripción de los métodos del modelo meteorológico.

Métodos para la precipitación	Descripción
Frecuencia de las tormentas (Frequency Storm)	Este método es utilizado para desarrollar un evento de precipitación en el cual el valor de la precipitación para diferentes duraciones tiene una probabilidad de excedencia consistente.
Estaciones (pluviómetros) con peso (Gage Weights)	Este método permita asignar pesos a las diferentes estaciones definidas por el usuario.
Precipitación por grilla (Gridded Precipitation)	Este método permite el uso de precipitación por grilla, tal como puede ser la proveniente de un radar meteorológico.
Inverso de la distancia (Inverse Distance)	Este método calcula el promedio en la subcuenca aplicando la ecuación del inverso de la distancia al cuadrado para las estaciones definidas por el usuario.
Tormenta del SCS (SCS Storm)	Este método aplica una distribución específica del SCS a una tormenta con una duración total de 24 horas.
Hietograma especificado (Specified Hyetograph)	En este método el usuario introduce el hietograma para la subcuenca.
Tormenta estándar de proyecto (Standard Project Storm)	Este método aplica una distribución en el tiempo a un valor de precipitación dado. (Este índice se extrae de un manual del Corps of engineers, válido solo para Estados Unidos y actualmente en desuso).

Fuente: Elaboración propia.

- **Componentes de las especificaciones de control**

Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada corrida de una simulación y estos varían de acuerdo a cada escenario. La información en las especificaciones de control se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Especificaciones de control

Parámetro	Definición
Fecha y hora de inicio	Comienzo de la precipitación.
Fecha y hora de finalización	Se debe permitir que el caudal generado llegue a la desembocadura de la cuenca (dependerá del tiempo de concentración).
Intervalo de tiempo	Indica cada cuanto tiempo debe realizar el cálculo y debe cumplir con la especificación del método de Muskingum (tiempo en la estimación del número de subtramos).

Fuente: Elaboración propia.

6. Resultados y discusiones

6.1 Caracterización geomorfológica de la cuenca

El proceso para la caracterización de geomorfológica de la cuenca, inicio con la generación del MDE. Para generarlo, se utilizaron las curvas de nivel provenientes de catastro (Figura 20a). Primeramente se realizó una inspección visual para verificar si dichas curvas abarcaban en términos de extensión geográfica el área de interés, que debe incluir los cauces del río que drenan a la presa ELZ y los parteaguas que definan la cuenca de estudio. Como resultado de la inspección se obtuvo que las curvas de nivel no abarcaban suficientemente el área de interés, además incluían vectores (considerados como obstáculos) que hidrológicamente no permitían una delineación aproximada del cauce real. Para corregir estos inconvenientes, se obtuvieron las curvas de nivel que hacían falta. Se utilizó el MDE de 15 m de INEGI de donde se extrajeron curvas de nivel a 1 m y se realizó un geoprocesamiento para la unión de curvas de nivel (catastro e INEGI), el resultado se muestran en la figura 20b.



a. Curvas de nivel a 1m (Catastro)



b. Unión curvas de nivel
Catastro e INEGI (amarillo)
Ubicación Presa ELZ (rojo)

Figura 20. Muestra la selección y preprocesamiento de datos espaciales de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se identificaron los vectores que desviaban la red del cauce real. En la figura 21 se muestra parte de los resultados. En la figura 21a se observa que hay una curva de nivel de 1m que esta sobre el cauce del arroyo Ensenada, estos vectores obstruyen la delineación del cauce, puesto que se considera un obstáculo. Para que el cauce del arroyo siga su curso, a los vectores se les asignó elevación igual a cero (Figura 21b). Este procedimiento se realizó para cada vector identificado como obstáculo. Una vez modificadas las curvas de nivel, se procedió a generar un MDE. El MDE resultante se muestra en la figura 22.

Es necesario realizar el proceso de identificar vectores que desvían la red del cauce real, en caso de no hacerlo, al momento de generar la red del cauce de los arroyos, estos perderán consistencia, y el arroyo no seguirá su curso, visualmente se verá entrecortado el cauce del arroyo. Y en consecuencia, el modelo de cuenca no representara sus procesos internos de forma adecuada.



- a. La flecha en color rojo indica el cauce del arroyo. Se muestra una curva de nivel de 1m en color rojo considerada como obstáculo.
- b. La flecha en color naranja indica la dirección del cauce del arroyo. Se muestra la modificación de la curva de nivel asignándole valor igual a cero

Figura 21. Identificación y reacondicionamiento de la red de cauces.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 22. Modelo Digital de Elevación de la zona de interés válido desde el punto de vista hidrológico.

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el MDE de la figura 22 como entrada a HEC-GEO HMS para obtener los patrones de drenaje de la cuenca. La dirección del flujo se puede observar en la figura 23 y se representó como un valor (en cada celda) en función de la dirección hacia donde drena, que es la dirección de la máxima pendiente.

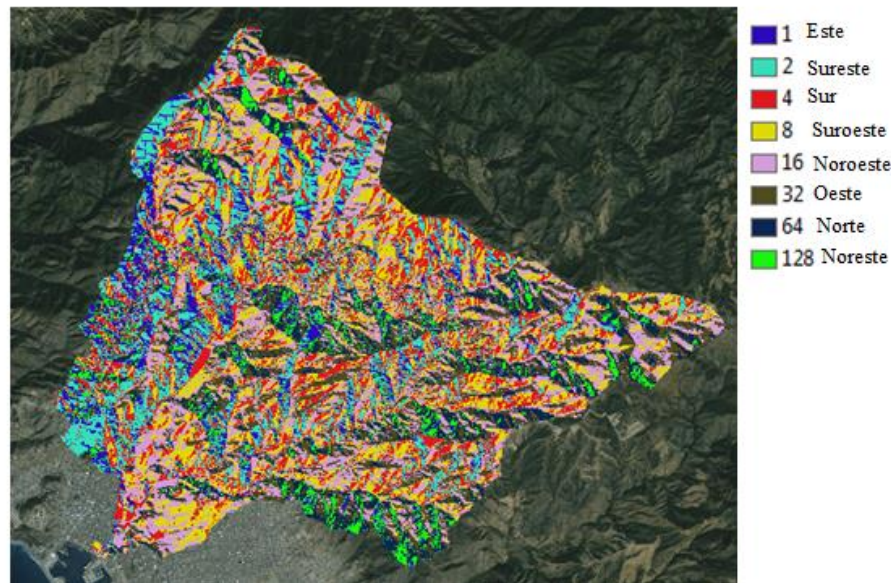


Figura 23. Dirección de flujo. La dirección del flujo se definió buscando el camino descendente de una celda a otra.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del proceso de direcciones de flujo se obtuvo el archivo de acumulación de flujo que representa el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas debajo de ella. Desde el punto de vista físico, la acumulación de flujo es la el área de drenaje que se calcula mediante la multiplicación del número de celdas por el tamaño de celda del modelo.

En el proceso de acumulación de flujo se definieron los cauces, se consideró un valor umbral que se muestra en la tabla 16 y que representa el 1% de área de drenaje. En este proceso, las celdas que tienen un valor superior a 0.95 se clasificaron como celdas que forman parte del cauce y las restantes celdas se consideraron como superficie del terreno que drenan a los cauces definidos. El resultado de este proceso se muestra en la figura 24.

Tabla 16. Valor umbral de área de drenaje.

Área total de la cuenca (km ²)	Umbral (1% del Área)	Subcuencas generadas	Subcuencas de interés (MERGE)
950,000	0.95	28	6

Fuente: Elaboración propia.

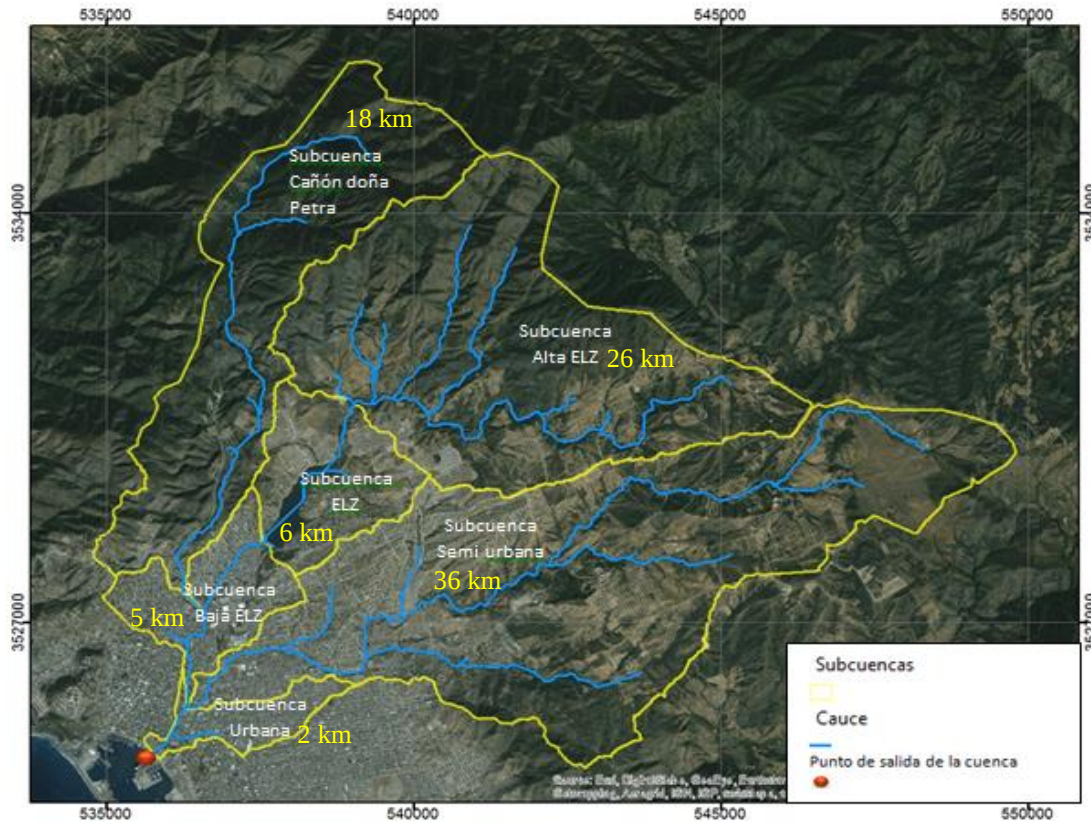


Figura 24. Resultado de la red hidrográfica de la cuenca y delimitación de subcuencas de interés con su respectiva área.

Fuente: Elaboración propia.

Para la generación del modelo de cuenca se definió un punto de salida ubicado en la desembocadura del arroyo Ensenada, el cual drena al mar. Con este punto, que se muestra en la figura 24 en color rojo, se obtuvieron 28 subcuencas.

Bajo la perspectiva de que las subcuencas aguas arriba deben drenar hacia el vaso de la presa, o abarcar la zona del vaso, en el preprocesado de la cuenca se decidió unir algunas subcuencas generando así la subcuenca Arriba ELZ que drena directamente al vaso de la presa y la subcuenca ELZ que abarca la zona del vaso. Observamos en la figura 24 que la cortina de la presa se definió de una manera casi perfecta como límite de dicha subcuenca.

Haber identificado el punto de salida de la cuenca en la desembocadura del arroyo Ensenada, permitió obtener una mejor delimitación de las dos subcuencas de estudio. Así mismo se definieron otras cuatro subcuencas aguas abajo, que drenan al cauce del arroyo Ensenada. Las seis subcuencas resultantes que se muestran en la figura 24 se exportaron a HEC-HMS como parámetro de entrada para el modelo de cuenca.

6.2 Modelo de Cuenca

En HEC-HMS el modelo de cuenca se representó mediante la conexión de elementos hidrológicos, los cuales formaron la red hidrográfica de la cuenca que reflejo el movimiento real del agua en cada subcuenca. En la figura 25 observamos el modelo de cuenca obtenido en HEC-GeoHMS y sus elementos hidrológicos. En el modelo de cuenca, el volumen de descarga se obtuvo a partir de los escurrimientos generados de los datos de precipitación.

El modelo de cuenca obtenido consta de seis tramos de propagación en el arroyo Ensenada. El agua generada en la subcuenca Alta ELZ se transporta a través del tramo del cauce del arroyo Ensenada hacia aguas abajo hasta la subcuenca ELZ. En la subcuenca ELZ se definió el elemento Presa que representa la presa ELZ. El gasto de entrada del elemento Presa proviene de la subcuenca Alta.

Haber definido en orden los tramos del cauce hacia aguas abajo permitió definir la ubicación del elemento Presa. La ubicación incorrecta, se vería reflejado en los resultados de la simulación, en los flujos de entrada y salida de agua de la presa.

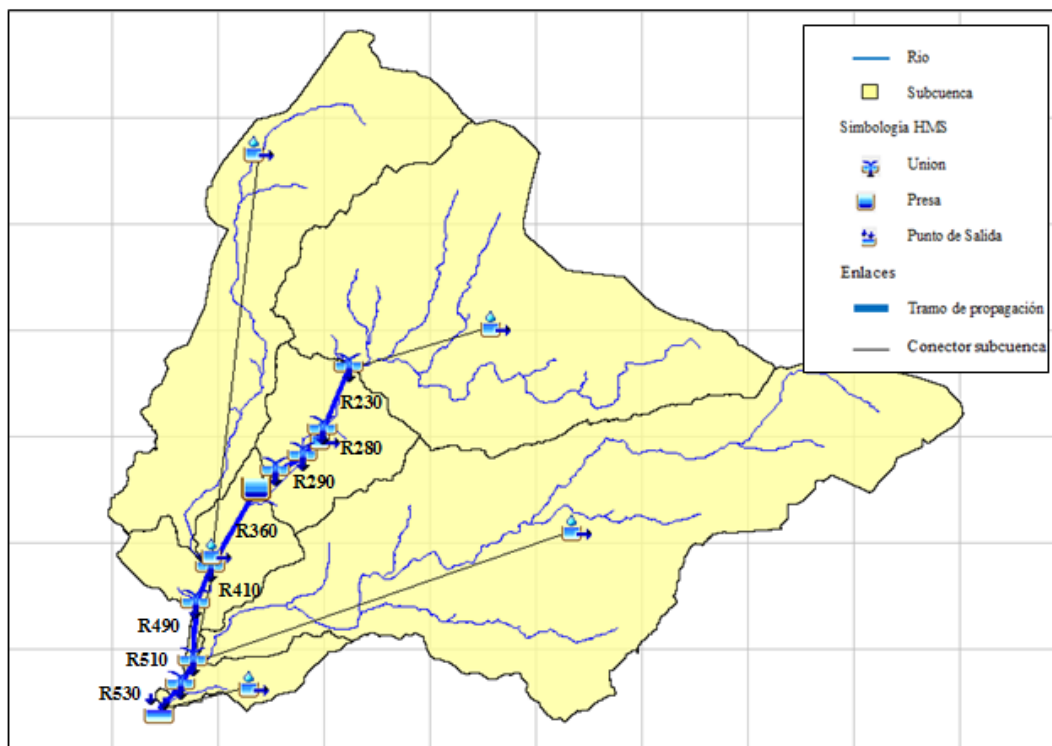


Figura 25. Modelo de cuenca obtenido en HEC-GeoHMS y sus elementos hidrológicos

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Mapa del Número de Curva (NC)

El parámetro hidrológico que se utilizó en el modelo de cuenca para calcular el volumen de escorrentía es el NC. Para obtener el mapa resultante del NC se utilizó como insumo, la información espacial de la tabla 17.

Con la información disponible se generaron los siguientes mapas:

- Mapa de pendientes de la figura 26. Se utilizó el MDE de la figura 22 para reclasificar las pendientes.
- Mapa del grupo de suelo mostrado en la figura 27. Para obtener el mapa, primeramente se digitalizo la carta geológica (Figura 27a) y se procedió a reclasificar por grupos de suelo (Figura 27b). En la tabla 18 se muestra la relación que existe entre la geología del modelo de cuenca y los grupos de suelo. En la

figura 27b observamos que en el grupo C la infiltración es lenta con escorrentía moderada y un drenaje imperfecto. En el grupo de suelo B, la infiltración es moderada con escorrentía lenta correspondiente a un drenaje moderado. La mayor parte de la zona urbana del modelo de cuenca incluye el grupo de suelo D, en donde las calles están pavimentadas y la infiltración es muy lenta generando que la escorrentía sea rápida.

- Mapa del uso de suelo que observamos en figura 28. El mapa de categorías de uso de suelo se obtuvo mediante el geoprocesamiento y reclasificación de la cartografía geoestadística urbana, los usos de suelo y el censo de población y vivienda.

Tabla 17. Información espacial utilizada para generar el NC.

Información espacial de la ciudad de Ensenada	Características	Fuente
Carta geológica H11 B12	Escala 1:50,000	Conjunto de datos vectoriales de información topográfica (INEGI, 2015).
Uso del suelo	Identificación de establecimientos, áreas de recreación, áreas verdes, calles pavimentadas.	Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada (IMIP, 2009).
Cartografía geoestadística urbana	Principales rasgos urbanos	Censos económicos 2014 (INEGI, 2014).
Censo de población y vivienda	Localidades, uso de suelo, ubicación de manzanas por zona	Censos y conteos de población y vivienda (INEGI, 2010).

Fuente: Elaboración propia.

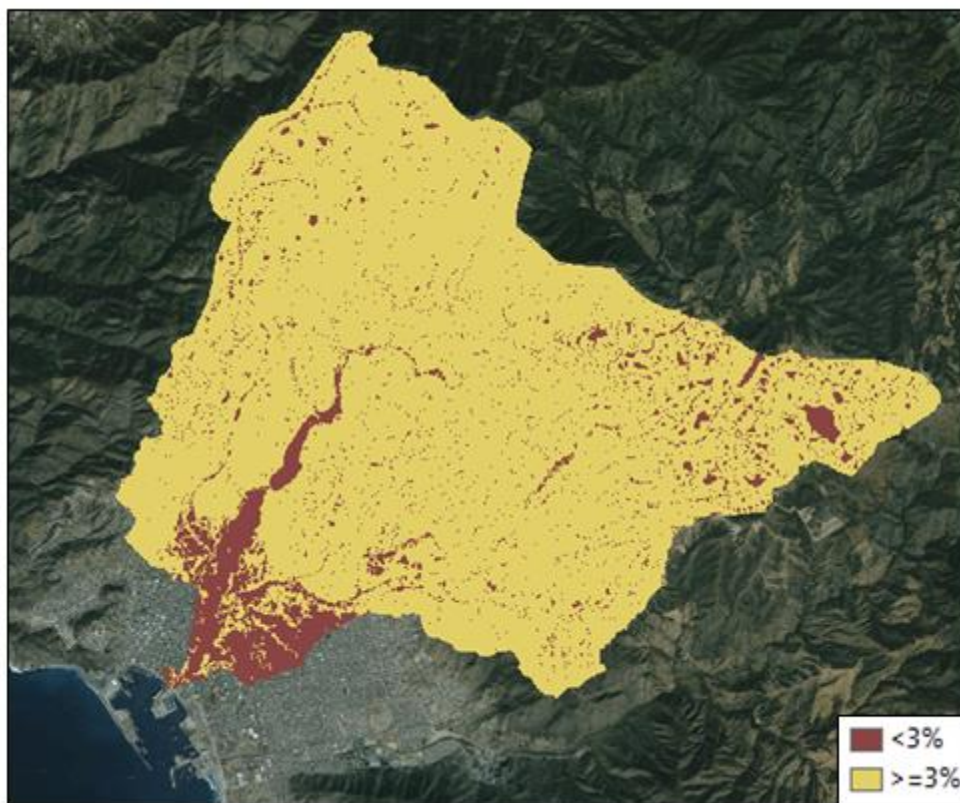
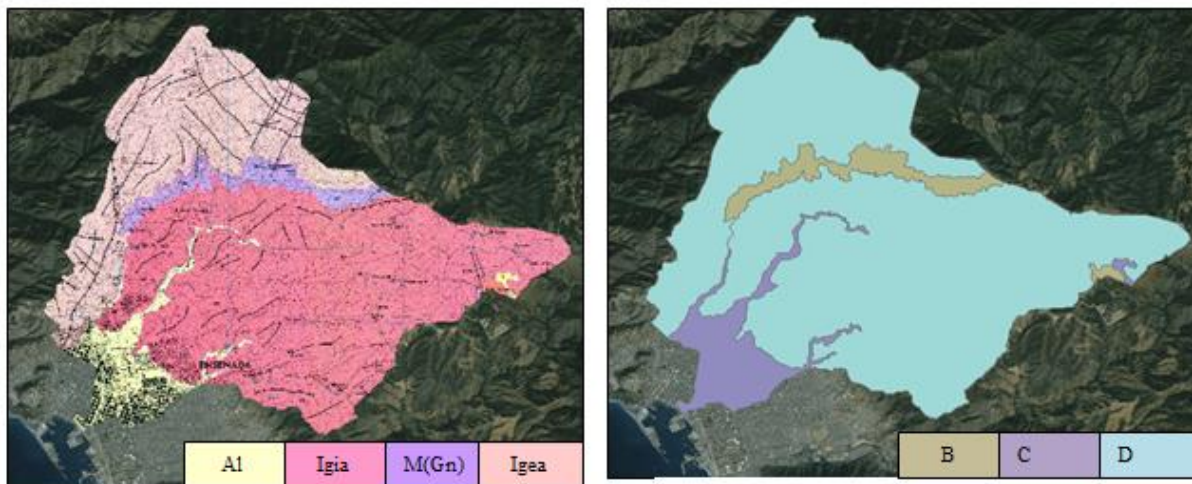


Figura 26. Mapa de pendientes.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del mapa del NC se muestra en la figura 29. El resultado muestra que para las subcuencas Alta ELZ, Cañón de Doña Petra y Semi urbana, el NC correspondiente es de 86. La subcuenca ELZ tiene un número de curva equivalente a 88. Las subcuencas con un NC=91 son los valores más altos correspondientes a las subcuencas Baja ELZ. Además, estas subcuencas están estrechamente relacionados con la zona urbana, en donde se encuentran calles pavimentadas que permiten una lenta infiltración y escorrentía rápida.

Tomando en cuenta que para un terreno al que corresponda un NC =100, indica que toda la precipitación genera escorrentía, se puede considerar que en las seis subcuencas, la mayor parte de la precipitación genera escorrentía, ya que el NC entre cada subcuenca varía únicamente cinco unidades en un rango de 86 a 91.



a. Geología del modelo de cuenca

b. Reclasificación del grupo de suelo del modelo de cuenca

Figura 27. Mapa del grupo de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Tipos de roca en el modelo de cuenca y su correspondiente grupo de suelo

Clave	Descripción	Grupo Suelo	Infiltra	Drena
Igea	Roca Ignea Extrusiva Acida	D	Muy Lento	Pobre o muy pobre
Igia	Roca Ignea Intrusiva Acida			
M(Gn)	Metamorfica Gneis	B	Moderado	Bueno a Moderado
Al	Aluvion	C	Lento	Imperfecto

Fuente: Elaboración propia.

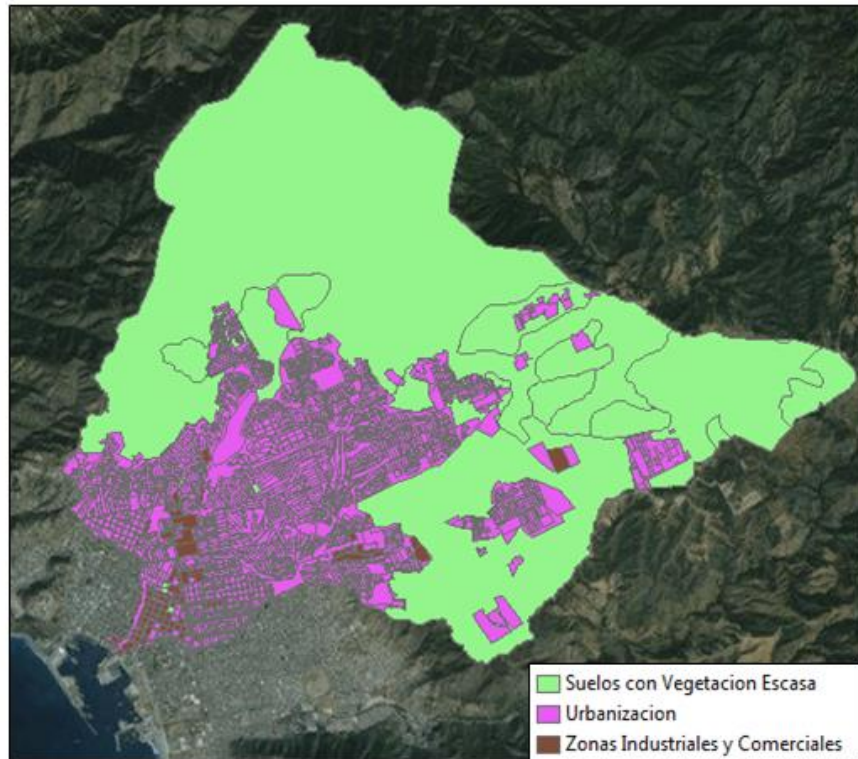


Figura 28. Mapa de categorías de suelo del modelo de cuenca

Fuente: Elaboración propia.

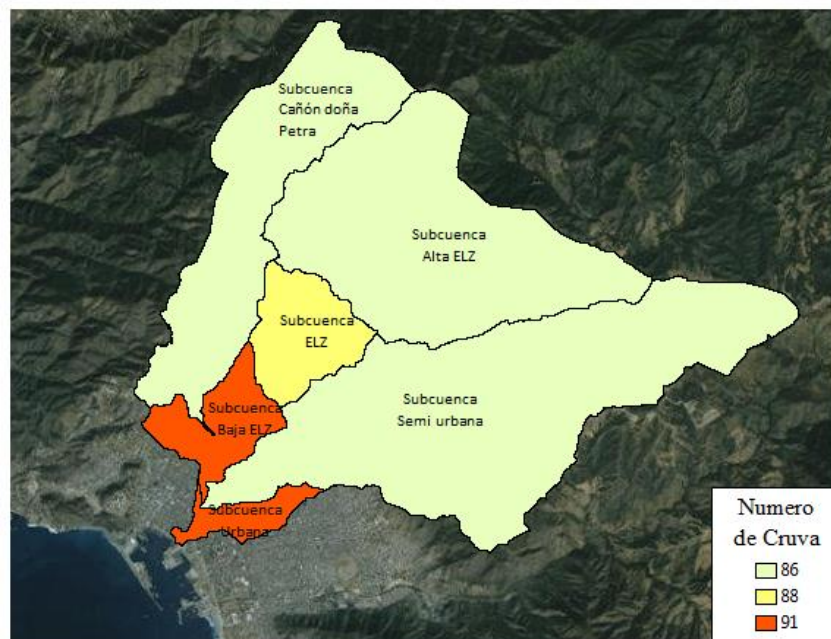


Figura 29. Mapa del NC del modelo de cuenca

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Tiempo de concentración (TC)

El TC necesario para que con una lluvia neta uniforme, la totalidad de la subcuenca contribuya al hidrograma de escorrentía superficial se muestra en la tabla 19. En la figura 30 se muestran las longitudes máximas que recorre el agua en cada subcuenca. Los resultados muestran que el TC máximo de la cuenca se encontró en la subcuenca semi urbana; que corresponde también a la máxima longitud recorrida que son 20 km. Para las subcuencas con una longitud de máximo recorrido menores o iguales a 5km le correspondió un TC=2 horas.

Se utilizó la fórmula de Temez para el cálculo de TC. Los criterios para decidir dicha fórmula se basaron en que la formula se utiliza para pequeñas cuencas naturales o poco urbanizadas, tal es el caso de las subcuencas de mayor interés; la Subcuenca Arriba ELZ que drena al vaso de la presa y subcuenca Arriba ELZ donde se definió el elemento hidrológico que representa a la presa. Además, ambas subcuencas son naturales debido a que las gotas de lluvia que caen sobre ellas tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. En las demás subcuencas se encontró que, aunque están poco urbanizadas, los cauces siguen siendo naturales ya que no tienen revestimiento de concreto. En el TC se destaca la importancia de la pendiente y longitud del cauce principal.

Tabla 19. Tiempo de concentración del modelo de cuenca.

Subcuenca	Longitud (km)	Pendiente	TC (h)
Alta ELZ	11	0.03	4
ELZ	4	0.03	2
Baja ELZ	5	0.04	2
Cañón de Doña Petra	14	0.07	4
Semi urbana	20	0.03	6
Urbana	4	0.01	2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 30. Longitud máxima que debe recorrer el agua en cada subcuenca.

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Tránsitos en cauce

El tránsito de caudales y la propagación de la onda de avenida desde la subcuenca Alta ELZ hasta la desembocadura del arroyo Ensenada, se obtuvieron aplicando el método de Muskingum. Los tramos de propagación del modelo de cuenca obtenidos a partir de Hec-HMS se muestran en la figura 25. En la tabla 20 se muestran los tramos para cada elemento de propagación y el tiempo en que se propaga el caudal.

Tabla 20. Tramos y tiempo en cada elemento de propagación.

Elemento de propagación	Tiempo (minutos)	Tramos
R230	39	4
R280	23	2
R290	26	3
R360	49	5
R410	28	3
R490	33	3
R510	21	2
R530	36	4

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Representación de la Presa ELZ

En la subcuenca ELZ se representaron las características estructurales e hidrológicas de la presa ELZ con un elemento hidrológico denominado “Presa ELZ”. En la figura 25 se identificaron los tramos de propagación 230,280 y 290 que transportan el flujo de agua que se generó en la subcuenca Alta ELZ hasta unirse con la subcuenca ELZ que drenan en el vaso de la presa. Los parámetros estructurales de la presa se presentan en la tabla 21. La obra de excedencia que se especificó en el embalse es un vertedero como estructura única de salida (Tabla 22). Asimismo, se especificó una tabla que relaciona la elevación y el almacenamiento; según el acuerdo 5531 de CONAGUA (Anexo II) donde se aprueba utilizar las curvas de elevación-áreas-capacidades obtenidas de las batimetrías realizadas en el 2009. La elevación de la presa (al momento que inicia la simulación) se definió como el Nivel de Aguas Mínimas de Operación (NAMINO).

Tabla 21. Parámetros estructurales e hidrológicos definidos para la representación de la Presa ELZ.

Parámetro	Valor Definido
Elemento de propagación aguas abajo	Tramo 230,280, 290
Estructura de salida	1 vertedero
Método de Almacenamiento	Elevación-Almacenamiento
Elevación de la presa	10.65 m (NAMINO)

Fuente: Elaboración propia.

En el elemento presa que se definió, no se hizo referencia a la altura de la cortina. Sin embargo, a través de la relación elevación-almacenamiento, Hech-HMS reconoce 27 m como la elevación de la presa ELZ. Hech-HMS toma como parámetro de elevación máxima de la presa, el último valor en la tabla de elevación-almacenamiento.

Tabla 22. Características estructurales e hidrológicas definidas para el vertedero.

Parámetro	Valor Definido
Tipo de vertedero	Cresta ancha
Elevación	19.86 m (coincide con NAMO)
Ancho	5 m
Capacidad de desfogue	122 m ³ /seg
Coeficiente ($M^{0.5}/S$)	1.67

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Modelo meteorológico

En el modelo meteorológico, se utilizó el método de Hietograma especificado y se establecieron manualmente las distintas cantidades de lluvia hasta encontrar la que logro desbordar la presa ELZ. Los datos del modelo meteorológico se asignaron a todas las subcuencas.

Cabe aclarar, que dentro del perímetro de la cuenca de estudio, se ubica la estación ELZ a 100 metros de la presa. Dispone de un registro fiable de precipitaciones de 38 años en el periodo comprendido entre 1970 a 2008. Sin embargo, no se utilizaron estos registros, ya que las precipitaciones en dicho periodo de tiempo han sido escasas, logrando la máxima precipitación de 81.5 mm. Mismas que no han desbordado a la presa ELZ.

6.6 Especificaciones de control y escenario de desbordamiento de la Presa ELZ

Las especificaciones de control que se definieron para el escenario de desbordamiento de la presa ELZ, se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Especificaciones de control

Parámetro	Valor Asignado
Hora inicial	10:10 am
Hora final	22:00 horas
Intervalo de tiempo	10 minutos

Fuente: Elaboración propia.

Se estableció como condición inicial que la elevación de la presa estuviera al NAMINO, es decir, a una altura de 10.65 m con un nivel de almacenamiento de 243 mil m³. Con respecto al intensidad de precipitación, se estableció que fuera continua durante un periodo de 12 horas. Bajo estas condiciones iniciales, se obtuvo que en el modelo meteorológico (Tabla 24) que la intensidad de lluvia que desbordo la presa fue de 400 mm, lo que indica que cada 10 minutos llovió 5.56 mm y cada hora 33.36 mm.

Tabla 24. Resultados del Modelo Meteorológico

Duración de la precipitación	Cantidad de precipitación
12 horas	400 mm
Intervalos de 10 min	5.56 mm
Intervalos de 1 h	33.36 mm

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 25 y en la figura 31 se muestran los resultados de la simulación relacionados con la presa ELZ y en la tabla 26, los resultados para las subcuenca Alta ELZ y subcuenca ELZ que drenan a la presa.

Tabla 25. Concentrado de resultados del escenario de desbordamiento de la Presa ELZ con 400mm de precipitación.

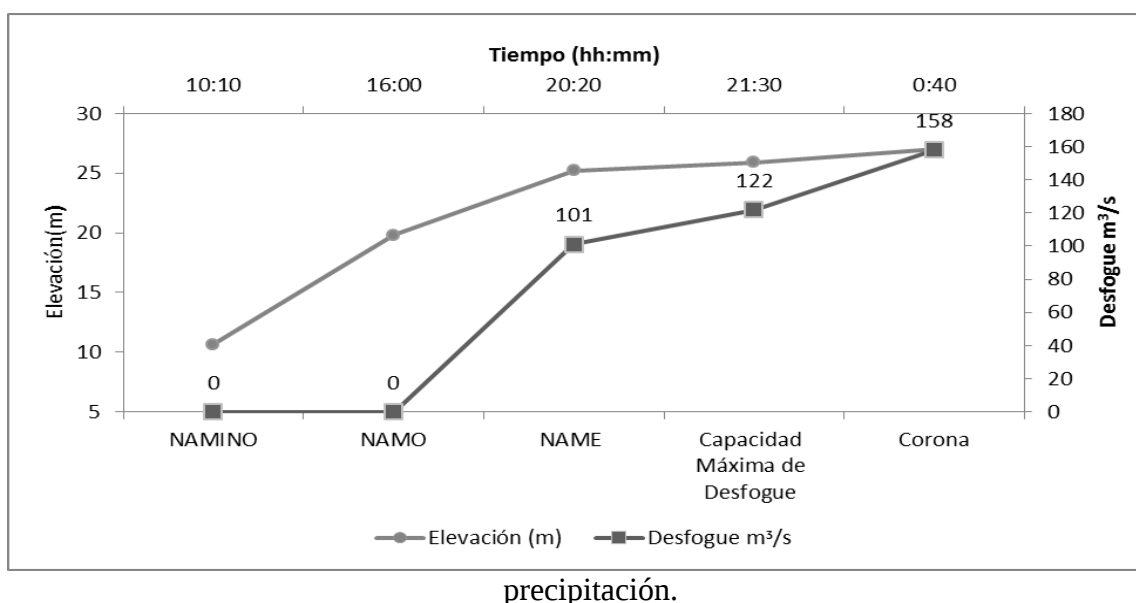
Presa	Elevación (m)	Almacenamiento CONAGUA 2009 (millones m³)	Desfogue m³/seg	Tiempo hh:mm
NAMINO	10.65	243	0	10:10
NAMO	19.8	2,694	0	16:00
NAME	25.23	6,313	101	20:20
Capacidad Máxima de Desfogue	25.9	6,983	123	21:30
Corona	27	8,193	158	0:40

Fuente: Elaboración propia.

La precipitación inicio a las 10:10 am con intensidad de 5.56 mm. La elevación de la presa se encontraba en el NAMINO (10.65 m). La elevación subió a 19.8 m hasta el NAMO a las 16:00 h y en ese momento el vertedero inicio a desfogar (ya que se encuentran a la misma altura). La presa alcanzo el nivel del NAME (25.23 m) a las 20:20 horas, con un desfogue de 101 m³/seg. La capacidad máxima de desfogue del vertedero se logró a las 21:30 h a la elevación de 25.9 m.

es decir, 30 minutos antes que la lluvia terminara. Cuando el vertedero alcanzo su máxima capacidad de desfogue y la lluvia continuaba, la presa siguió subiendo de nivel hasta coronarse, en este punto, el vertedero ya no fue capaz de desfogar porque estaba a su máxima capacidad y la presa empezó a desbordarse.

Figura 31. Resultado de la simulación del desbordamiento de la Presa ELZ con 400mm de



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del escenario mostraron que la presa ELZ se desbordo 00:40 horas, es decir, 14 horas y 40 minutos después de que inicio la precipitación. La presa tuvo un volumen de entrada de 11,391.7 (1000 m³), provenientes de los desfuegos de las subcuencas Alta ELZ y subcuenca ELZ. El volumen descarga de la presa fue de 8912.2 (1000 m³).

Tabla 26. Concentrado de resultados de subcuencas de interés

Elemento	Área (km2)	Volumen de Precipitación (1000 m3)	Perdida de volumen (1000 m3)	Volumen de escorrentía directa (1000 m3)	Volumen de descarga (1000 m3)
Subcuenca ELZ	6	2,285.2	207.8	2,077.4	2,077.4
Subcuenca Alta ELZ	26	10,453.2	1,139.0	9,314.3	9,314.3

Fuente: Elaboración propia.

6.7 Análisis de sensibilidad

Dado que los modelos son representaciones controladas de la realidad y dicho control se realiza utilizando variables de entrada, estimadas, aproximadas o basadas de situaciones semejantes, es preciso realizar un análisis de sensibilidad al cambio de dichas variables. En el presente trabajo, no se realizó la calibración del modelo, sin embargo, como un primer acercamiento, se efectuó análisis de sensibilidad al NC.

El análisis de sensibilidad se basó en la respuesta del modelo a la variación en el NC para cada subcuenca. En la tabla 27, se muestran las variaciones del NC aumentado en cinco unidades (NC+5) y disminuido en cinco unidades (NC-5), a partir del NC estimado (Figura 32). Estas variaciones representan el cambio en el uso del suelo derivado del crecimiento poblacional, NC-5 representa disminución en desarrollo urbano y NC+5 constituye un aumento de zonas urbanizadas.

Tabla 27. Valores establecidos en las variaciones para el NC

Subcuenca	NC-5	NC ponderado	NC+5
Alta ELZ	81	86	91
ELZ	83	88	93
Baja ELZ	86	91	96
Cañón de Doña Petra	81	86	91
Semi urbana	81	86	91
Urbana	86	91	96

Fuente: Elaboración propia.

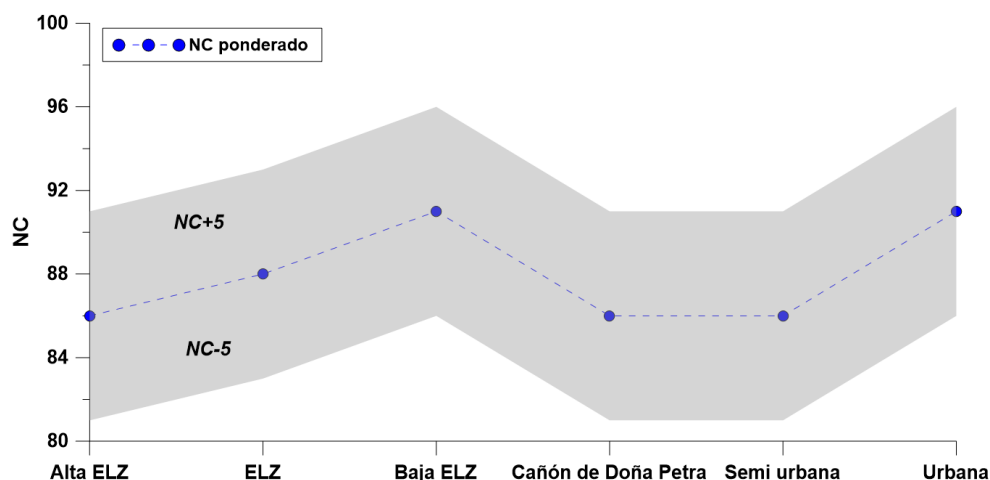


Figura 32. Variación del NC para análisis de sensibilidad del modelo.

Fuente: Elaboración propia.

El NC+5, indica cambios en el uso de suelo que se representan como zonas con mayor urbanización y en donde la mayor parte de la precipitación genera escorrentía. Utilizando valores del NC +5, se obtuvo que hubo una sobre elevación máxima de la cortina de la presa (mayor a 27 m) y que la intensidad de precipitación de 400 mm en el modelo meteorológico ya no es factible para la simulación, debido a que la elevación máxima se presenta con una precipitación menor a 400 mm. A mayor número de curva, la escorrentía es más rápida y por lo tanto se requiere menor intensidad de precipitación para desbordar la presa. Por esta razón, la precipitación se disminuyó a 390 mm y este valor de precipitación se utilizó para los siguientes análisis de sensibilidad. Los resultados del análisis de sensibilidad para las variaciones de NC con un valor de precipitación de 390 mm para las subcuencas que drenan al vaso de la presa, se muestran en la tabla 28.

Existe sensibilidad del modelo a la variación del NC, de acuerdo al análisis de sensibilidad se tiene que para el caso de las subcuencas Alta ELZ y ELZ, el aumento del NC (NC+5) aumenta el volumen de descarga en un 4% en ambas subcuencas, y con valores de NC-5 disminuye en un 6%, en ambas subcuencas.

Tabla 28. Resultados del análisis de sensibilidad para las variaciones de NC con 390 mm de precipitación para las subcuencas que drenan al vaso de la presa.

Subcuenca	NC-5	Volumen de descarga (1000 m ³)	%	NC Calculado	Volumen de descarga (1000 m ³)	%	NC+5	Volumen de descarga (1000 m ³)	%
Alta ELZ	81	8,535.4		86	9,055.2		91	9,444.3	
ELZ	83	1,907.3		88	2,020.7		93	2,102.2	
Presa ELZ									
Volumen de Entrada (1000 m ³)	10,442.7		128	11,075.9		136	11,546.5		142
Pico de Descarga (m ³ /s)	144			153			159		
Pico de Elevación (m)	26.5			26.8			27		
Pico de Almacenamiento (1000 m ³)	7,687.90		94	7,984.6		98	8,192		100
Volumen de Descarga (1000 m ³)	7,962.3		98	8,595.9		105	9,066.2		111

% Con respecto al almacenamiento total de la presa

Fuente: Elaboración propia.

En las subcuencas, el aumento del NC (NC+5) se debería a cambio en el uso de suelo, a que la urbanización se extienda a la zona noroeste de la ciudad de Ensenada, este hecho, generaría un impacto en el aumento del NC.

Por otro lado, la disminución en el NC, podría darse también por cambios en el uso de suelo, cuando existan mayores zonas de vegetación en la subcuencas, y menores desarrollos urbanos. Es importante realizar análisis en disminución de NC, para proveer información en caso de modelar eventos históricos de inundación, puesto que en años anteriores las subcuencas no tenían un gran desarrollo urbano.

Calculo de periodos de retorno

Los periodos de retorno se calcularon con el programa de funciones de distribución Ax+B versión 1.30 disponible en <http://hydrobits.com/>. El periodo de retorno se define como el número de años promedio en el cual el evento puede ser igualado o excedido cuando menos una vez. El programa de funciones de distribución Ax+B emplea la ley de Weibull:

$$Tr = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno

n = Numero de datos de la serie

m = Numero de orden de la serie

El análisis estadístico de la precipitación se realizó para distintas funciones de distribución que se muestran en la tabla 29. Se realizaron las simulaciones hasta que se llegó a una correlación entre los datos de precipitación observados y los calculados por el programa. La función estadística con menor error (1.6) que se ajustó a los datos observados es la Log Normal de dos parámetros (MV) (Figura 33). A partir de esta función se obtuvieron los datos de periodo de retorno y lluvia para dicha función. Se utilizaron registros de precipitación máxima en 24 horas mensual con datos históricos de 1948 al 2009 de la estación Emilio López Zamora (2072) de CONAGUA. En la tabla 30, se muestran los resultados de precipitación para distintos periodos de retorno.

Tabla 29. Resumen de ajuste de las funciones.

PROGRAMA DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN AX+B										
Resumen del ajuste										
Función	EEA	Orden	Kolmogorov	Orden 2	Anderson Darling	Orden 3	Ji Cuadrado	Orden 4	Nash-Sutcliffe	Orden 6
Log Normal de dos parámetros (MV)	1.6741	1	0.0509	6	0.1528	6	0.087	7	0.9861	5
Gumbel doble (ML)	1.6898	2	0.0649	16	0.2071	9	0.0811	3	0.9789	16
Log Normal doble de dos parámetros (Stigth)	1.7129	3	0.0766	18	0.4221	15	0.0801	2	0.9718	18
Log Normal doble de dos parámetros (Momentos)	1.7132	4	0.0763	17	0.3386	14	0.0822	5	0.972	17
Gamma de tres parámetros (MV)	1.7562	5	0.0615	15	0.2306	10	0.1065	14	0.9862	4
Gumbel (ML)	1.7665	6	0.049	4	0.1356	5	0.0946	8	0.9877	1
Log Normal doble de dos parámetros (MV)	1.8092	7	0.0585	14	0.1682	7	0.0821	4	0.9808	15
Gumbel doble (MV)	1.8148	8	0.055	11	0.1072	2	0.0766	1	0.983	13
Log Normal de dos parámetros (Stigth)	1.8301	9	0.0534	9	0.1087	3	0.0953	9	0.984	11
Gamma de tres parámetros (Momentos)	1.8367	10	0.057	13	0.1236	4	0.1082	15	0.9837	12
Log Normal de dos parámetros (Momentos)	1.8472	11	0.0529	7	0.0061	1	0.0973	11	0.984	10
Gumbel (Momentos)	1.8594	12	0.0456	1	0.2561	11	0.1008	12	0.9868	3
Gumbel doble (MC)	1.8724	13	0.0896	21	1.6157	21	0.0825	6	0.9609	20
Gumbel doble (Momentos)	1.89	14	0.0802	20	0.2919	12	0.0972	10	0.9683	19
Gumbel (ME)	1.9142	15	0.0478	2	0.3237	13	0.1051	13	0.986	6
Gumbel (MV)	1.9762	16	0.0485	3	0.1998	8	0.1106	16	0.9856	7
Log Normal de tres parámetros (Momentos)	1.9772	17	0.05	5	0.4503	16	0.1227	17	0.9871	2
Gamma de dos parámetros (Momentos)	2.1239	18	0.0566	12	0.6728	17	0.1643	18	0.9848	9
Gamma de dos parámetros (ML)	2.1909	19	0.0535	10	0.7738	18	0.1733	19	0.985	8
Gamma de dos parámetros (MV)	2.5339	20	0.0532	8	1.2243	20	0.236	20	0.9828	14
Exponencial de dos parámetros (Momentos)	2.8895	21	0.5819	29	4.5839	26	2.8597	28	0.9052	24
Log Normal de tres parámetros (MV)	3.1603	22	0.0781	19	2.3212	23	0.4952	23	0.9581	21
Frechet doble (Momentos)	3.6709	23	0.122	25	1.1363	19	0.4916	22	0.9321	23
Frechet (Momentos)	3.7529	24	0.1127	24	2.029	22	0.4181	21	0.9414	22
Normal (Momentos/MV)	3.9071	25	0.1051	22	3.6208	24	1.0397	24	0.7938	28
Normal (ML)	3.9578	26	0.1052	23	3.7318	25	1.2943	25	0.8495	25
Gumbel (MC)	6.1382	27	0.1597	26	10.8772	29	2.3722	27	0.8015	27
Exponencial de dos parámetros por (MV)	6.1881	28	0.2161	27	5.9945	27	1.3252	26	0.8431	26
Exponencial de un parámetro (Momentos)	18.516	29	0.3207	28	6.4071	28	4.4586	29	-4.3131	29

Fuente: Elaboración propia.

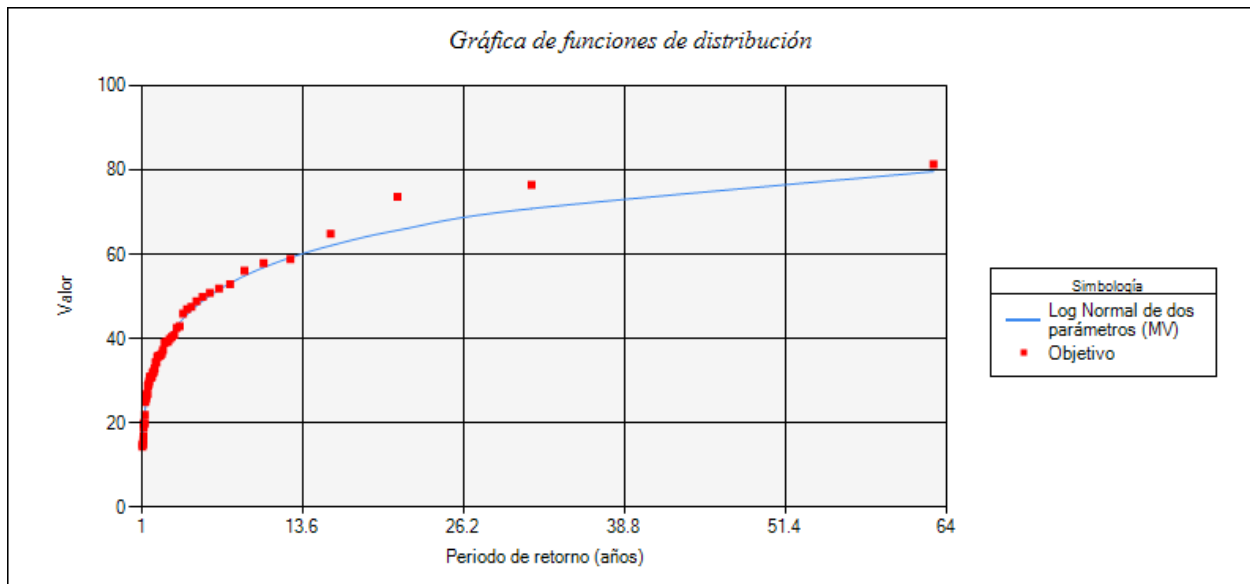


Figura 33. Grafica de función de distribución Log Normal de dos parámetros (MV).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Periodos de retorno.

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
2	33.7916
5	47.2636
10	56.3794
20	65.2225
25	68.0501
50	76.8413
100	85.7113
200	94.7199
500	106.9101
1000	116.3822
2000	126.0953
5000	139.3358
10000	149.6747

Fuente: Elaboración propia.

7. Conclusiones

Identificar el punto de salida de la cuenca en la desembocadura del arroyo Ensenada, permitió obtener una mejor delimitación de las dos subcuencas de estudio (subcuenca Alta_ELZ y subcuenca ELZ). Los valores más altos del mapa del NC del modelo de cuenca están relacionados con la zona urbana donde se encuentran calles pavimentadas (subcuenca urbana con un NC de 91).

Estableciendo como condiciones iniciales que la elevación la presa estuviera al NAMINO y que la lluvia iniciara a las 10:00 h y con un periodo de 12 horas continuas de precipitación, la intensidad de lluvia que desbordó la presa fue de 400 mm. La presa ELZ se desbordó a las 00:40 horas. El análisis de sensibilidad demostró que el NC+5 en el modelo hidrológico requiere de intensidades menores de precipitación a 400mm para que sea factible la simulación.

Bibliografía

- Aiffil, A. (2005). Metodología para la preparación de archivos raster de Modelos Digitales de Elevación para uso en modelos hidrológicos. Departamento Ingeniería Hidrometeorológica. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Recuperado de: <http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/RASTER.pdf>
- Alonso, H., Ibáñez, L., Arteaga, R., & Vázquez, M. (2014). Identificación de curva de escurrimiento en tres microcuencas del río Coatán, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(4), 153-161.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- IMIP, & UABC (2007). Atlas de Riesgos y Peligros Naturales 2da. Etapa. Recuperado de: http://www.imipens.org/IMIP_files/ARPN.pdf
- CENAPRED (2013). Inundaciones. *Secretaría de Gobernación*. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>
- Carvalho, L., Jones, Ch., & Liebmann, B. (2002). Extreme precipitation events in Southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 15, 2377-2394.
- Carvalho, L., Jones, Ch., & Liebmann, B. (2004). The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17, 88-108.
- Chow, V. (1964). Principios de Hidrogeografía. *Estudio del ciclo hidrológico Serie Textos Universitarios*, 1, 67-85.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- Charles, J. (2000). Occurrence of extreme precipitation events in California and relationships with the Madden–Julian Oscillation. *Journal of Climate*, 15, 3576-3587.
- Chrisman, N. (1997). *Exploring Geographical Information Systems*. Chichester, Reino Unido: John Wiley and Son.
- CONAGUA (s.f.) Memoria descriptiva de la presa Emilio López Zamora.
- Conesa, C. (1996). Áreas de aplicación medioambiental de los SIG. Modelización y avances recientes. *Papeles de Geografía*, 23-24, 101-115.
- COPLADE (2014). Datos Demográficos de Ensenada. *Secretaría de planeación y finanzas*. Recuperado de: www.copladebc.gob.mx/seis/pdf/datosDemograficosEnsenada.pdf
- D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). *Amenazas, Vulnerabilidad, Capacidades y Riesgo en el Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo*. Quito, Ecuador: Ekseption.

- ESRI (2016). About ArcGIS. Recuperado de: <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>
- FAO-UNESCO. (1971). *Soil map of the world 1:5,000,000*. Paris, France: UNESCO.
- Ferrer, F. (1993). *Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas*. Madrid, España: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del Agua*, 2(4), 43-58.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gallo, H., & Hurtado, A. (2011). *Estado de riesgo Urbano en Quetzalguaque. Mi Ciudad se está Preparando*. Managua, Nicaragua: Alcaldía Municipal de Quetzalguaque.
- Haylock, M., & Nicholls, N. (2000). Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910–1998. *International Journal of Climatology*, 20, 1533-1541.
- HECH-HMS (2010). *Hydrologic Modeling System User's Manual*. Version 3.5. California, USA: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- IIO (2012). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012. *Secretaría de Desarrollo Social*. Recuperado de: http://www.anr.gob.mx/PDFMunicipales/2011/vr_02001_AR_ENSENADA.pdf
- IMIP, Pro Esteros, A.C., Haciendo lo Necesario A.C., Centro Mexicano de Estudios para la Conservación A.C., Pro Playitas A.C., Lorax Consultores S.A. de C.V.; Dirección de Ecología del XX Ayuntamiento de Ensenada, Arte y Medio Ambiente en Armonía, Ensenada Artist Association, A. C.; Héctor Benet Contreras (2013). Estudio previo justificativo para la creación del área natural protegida: Parque Estatal La Lagunita. *Gobierno del Estado de Baja California*. Recuperado de: http://www.wildcoast.net/content/filedrop/EPJ_PE_La_Lagunita_Version_Consulta.pdf
- INEGI (2010). Censos y conteos de población y vivienda, Censo de Población y vivienda 2010. *INEGI*. Recuperado de: <http://operativos.inegi.org.mx/sistemas/Agurbana/entidad/indicador.aspx>
- INEGI (2014). Censos económicos 2014, Resumen de los resultados definitivos. *INEGI*. Recuperado de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/promo/frrdf_ce2014.pdf
- INEGI (2015). Conjunto de datos vectoriales de información geológica escala 1:50 000 H11B12 (Ensenada). *INEGI*. Recuperado de: <https://mapasims.sgm.gob.mx/CartasDisponibles/>
- Jones, C. (1997). *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. Harlow, Reino Unido: Addison Wesley Longman.

- Martínez, M. (2007). Metodología para el estudio de avenidas en ramblas de cuencas mediterráneas utilizando sistemas de información geográfica y modelos semidistribuidos. (Proyecto de fin de carrera). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Martínez, M., Fernández, D., & Salas, R. (2016). Hidrología Aplicada a las Pequeñas Obras Hidráulicas. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. Recuperado de: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_HIDROLOG%3%8DA.pdf
- IMIP (2009). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada (2008-2030). IMIP. Recuperado de: <http://imipens.org/wp-content/uploads/2012/04/PDUCEP-E-2030-Ene-2009.pdf>
- Piedra, L. (2013). Metodología para la extracción automática de Cuencas y elaboración de un mapa de salida con Isoyetas en Arcgis 10.1. (Tesis de licenciatura). Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Ponce, V., & Hawkins, R. (1996). Runoff curve number: Has it reached maturity?. *J. Hydrolog. Engrg.*, 1(1), 11–19.
- Sánchez, H. (2015). Modelación Hidrológica e Hidráulica: Calcular el número de curva [Notas de Diplomado en Modelación Hidrológica e Hidráulica]. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Sedano, C. (2012). *Gestión Integrada del riesgo de Inundaciones en Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM_Gesti%C3%B3n_%20Inundaciones_Colombia_Karime_Sedano.pdf?sequence=1.
- Singh, V.P., 1995. *Computer models of watershed hydrology*, Water Resources Publications.
- Servicio Meteorológico Nacional (2016). Clasificación de la precipitación acumulada. SEMAR. Recuperado de: http://meteorologia.semar.gob.mx/LLUVIA_SEMAR.pdf
- Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, disponible en U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 1972.
- ERA-Net CRUE (2011). SUFRI. Methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decision-making. Recuperado de: http://www.ipresas.upv.es/docs/2011_July_SUFRI_WP3_Final%20Report.pdf
- Wendor, C. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, obra auspiciada por CONCYTEC.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

- La falta de información por parte de las autoridades gestoras del riesgo, hacia la población que vive aguas abajo de la cortina de la presa ELZ derivó en que los vecinos en conjunto con organizaciones sociales generaran una demanda social.
- Realizar una campaña de difusión sobre el estado actual de la presa que incluya información de azolve, y desbordamiento.
- Retomar la modelación hidrológica y efectuar análisis de calibración para poder encontrar el mejor ajuste de la información (TC, NC, Duración de precipitación). En lo que respecta al NC encontrar el porcentaje que tendría que variar el área de la zona urbana para alcanzar los valores de NC-5 y NC+5.
- Retomar el estudio del desbordamiento de la presa ELZ y continuar con la fase de prevención en conjunto con las autoridades locales gestoras de riesgo.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Ancona, W., & Rabasa, M., (2009). *Transformar la gestión local del riesgo Programa de manejo de riesgos de desastre en el sureste de México*. México, D.F.: PNUD.
- Cardona, O., (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Presented at the Internacional Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice. Wageningen, Netherlands.
- Carreño, M., Cardona, O., Marulanda, M., & Barbat, A. (2006). Índice para medir el desempeño de la gestión de riesgos. *Revista internacional de ingeniería de estructuras*, 11(1), 25-44.
- Catalán, D. (2001). *Protección Civil*. México, D.F.: Trillas.
- Cavazos, T. (Ed.) (2015). *Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México*. México D.F.: ILCSA.
- CENAPRED (2017a). Quienes somos. Recuperado de: <http://www.cenapred.unam.mx/es/QuienesSomos/>
- CENAPRED (2017b). Gestión de Riesgos de Desastres, Sistemas de Información y Atlas de Riesgos. Recuperado de: <http://www.cenapred.unam.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo9.html>
- Coburn, A., Spence, R., & Pomonis, A., (1991). Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres: Vulnerabilidad y evaluación de Riesgo. Cambridge, U.K.: PNUD.
- FAO (2009). *Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres*. Roma, Italia: División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía.
- González, S. (1999). Gestión del riesgo por inundaciones en la ciudad de Buenos Aires. Situación actual y alternativa. Ponencia presentada a la Tercera jornada legislativa para el Área Metropolitana de Buenos Aires: AMBA. Buenos Aires, Argentina.
- González, T. (2008). *La gestión del riesgo de desastre. Un modelo integral para la valoración del riesgo de inundación en centros urbanos y/o suburbanos -Enfoque metodológico utilizando indicadores-Caso: Pueblo Viejo Veracruz, México*. (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- IIO (2012). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012. *Secretaría de Desarrollo Social*. Recuperado de: http://www.anr.gob.mx/PDFMunicipales/2011/vr_02001_AR_ENSENADA.pdf
- Khatibi, R. (2011). Evolutionary systemic modelling of practices on flood risk. *Journal Of Hydrology*, 401(1/2), 36-52.

- Lavell, A. (2003). International agency concepts and guidelines for disaster risk management. IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management. Manizales: National University of Colombia.
- Loarche G., & Tabasso, F. (2011). Gestión Integral de Riesgo en Desastres. La experiencia del grupo interdisciplinario de la Universidad de la República, Uruguay. XI Congreso Iberoamericano de extensión universitaria. Integración, extensión, docencia e investigación para la inclusión y cohesión social. Santa Fe, Argentina.
- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos*. Lima, Perú: Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina – PREDECAN
- OECD (2013). OECD Reviews of Risk Management Policies: Mexico 2013. Review of the Mexican Civil Protection System. Paris, OECD.
- Perles, R. (2010). Apuntes para la evaluación de la vulnerabilidad social frente al riesgo de inundación. *Baetica. Estudios de arte, geografía e historia*, 32, 67-87.
- PLAN DN-III-E (2017). Plan de Auxilio a la Población Civil en Casos de Desastre. SEMAR. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sedena/acciones-y-programas/que-es-el-plan-dn-iii-e>
- Ramírez, F., Ghesquiere, F., & Costa, C. (2009). Un modelo para la planificación de la gestión del riesgo de desastre en grandes ciudades. La Gestión del Riesgo Urbano en América Latina: Recopilación de artículos. Plataforma Temática de Riesgo Urbano – Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Panamá.
- Roberts, N., Nadim, F., & Kalsnes, B. (2009). Quantification of vulnerability to natural hazards. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 3(3), 164-173.
- Rodríguez, J. (2002). Los desastres naturales en Mexicali, B.C.: diagnóstico sobre el riesgo y la vulnerabilidad urbana. *Frontera Norte*, 14(27), 123-153.
- Sapountzaki, K., Wanczura, S., Casertano, G., Greiving, S., Xanthopoulos, G., & Ferrara, F. (2011). Disconnected policies and actors and the missing role of spatial planning throughout the risk management cycle. *Nat Hazards*, 59, 1445.
- SEMAR (2017). Plan de auxilio a la población en casos y zonas de emergencia o desastre. SEMAR. Recuperado de: http://www.semar.gob.mx/Plan_Marina.pdf
- SINAPROC (2017). Qué es el SINAPROC. Secretaría de Gobernación. Recuperado de: <https://www.gob.mx/segob/articulos/que-es-el-sinaproc-30anosproteccioncivil>
- White, G., Kates, R., & Burton, I. (2001). Knowing better and losing even more: The use of knowledge in hazards anagement. *Environ. Hazards*, 3(3–4), 81–92.

Wynne, J. (2007). Floods are Judgment on Society, Say Bishops. *The Telegraph*. Recuperado de: <http://www.telegraph.co.uk/news/uknews/1556131/Floods-are-judgment-on-society%2C-say-bishops.html>

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En A. Maskrey (Ed.), *Los Desastres No Son Naturales* (pp. 11-44). Colombia: La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

ANEXO I

Exhorto al titular de la Comisión Nacional del Agua.

PRESIDENCIA DEL CONGRESO DEL ESTADO



GRUPO PARLAMENTARIO DEL PRI, PVEM, PEBC Y PT.

XX LEGISLATURA
El Poder Constituyente

PROPOSICIÓN CON PUNTO DE ACUERDO

RELATIVO A: EXHORTAR AL TITULAR DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), JOSE LUIS LUEGE TAMARGO, ASÍ COMO AL REPRESENTANTE DEL ORGANISMO DE CUENCA PENINSULA BAJA CALIFORNIA ISMAEL GRIJALVA PALOMINO, A QUE PRESENTE UN DICTAMEN SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LA PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ENSENADA .

APROBADO mayoría 14 NO APROBADO _____

SE DECLARA APROBADO EL **ACUERDO** PRESENTADO POR EL GRUPO PARLAMENTARIO DEL PRI, PVEM, PEBC Y PT. LEÍDO POR EL (LA) DIPUTADO (A) Alfonso Garzón Zatarain.

DADO EN EL SALÓN DE SESIONES "LIC. BENITO JUÁREZ GARCÍA" DEL PODER LEGISLATIVO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, EN **SESIÓN ORDINARIA** DE LA HONORABLE XX LEGISLATURA, A LOS **28 DÍAS** DEL MES DE FEBRERO DEL AÑO 2012.


DIP. PRESIDENTE


DIP. SECRETARIO

Encuesta.

Encuestador _____ No. Folio _____ Fecha _____

Edad _____ Genero _____ (1: Mujer, 2: Hombre) Ocupación _____ Domicilio _____

Instrucciones: Escriba dentro del cuadro la respuesta a las siguientes preguntas.

1.- ¿Cuántos años tiene viviendo en la ciudad de Ensenada? _____ año (s).

2.- ¿Años de vivir en este domicilio? _____ año (s).

3.- La casa en la que vive es:

- ☐ 1. Rentada o alquilada
☐ 2. Prestada
☐ 3. Comprada
☐ 4. Heredada
☐ 5. Otra _____

4.- ¿De qué tipo de material está construida su vivienda? (puede elegir más de una opción):

- ☐ 1. Cemento
☐ 2. Madera
☐ 3. Lamina (Tabla roca)
☐ 4. Otros _____

Pisos: _____

5.- Número de Personas que viven en la casa: _____ persona (s).

6.- En esta vivienda cuantas personas van a la escuela y cuál es la ubicación

Escolaridad	No. De personas	Ubicación
1. Preescolar		
2. Primaria		
3. Secundaria		
4. Preparatoria		
5. Universidad		
6. Otro:		

Ubicación:

1. Dentro del fraccionamiento
 2. En la colonia vecina
 3. En el centro de Ensenada
 4. Fuera de Ensenada
 5. Otra _____

7.- En que trabajan las personas que viven en esta casa y donde se ubica la actividad económica

Empleo	Tipo de empleo		Ubicación
	Temporal	Permanente	

Ubicación:

1. Dentro del fraccionamiento
 2. En la colonia vecina
 3. En el centro de Ensenada
 4. Fuera de Ensenada
 5. Otra _____

8.- ¿Cuál es su medio de transporte? _____

9.- ¿Cuál de los siguientes eventos pudiera afectarle en el lugar donde vive? (Señale del 1 al 6 en orden de importancia)

- ☐ Terremoto
☐ Sismo
☐ Inundación
☐ Ruptura de la presa
☐ Desbordamiento de la presa
☐ Tsunami
☐ Otro _____

Porque: _____

10.- ¿Sabe usted si hubo una inundación en Ensenada?

- ☐ Si
☐ No

Comentarios: _____

11.- ¿Ha recibido información sobre qué hacer en caso de inundación por parte de algún organismo de gobierno u otra organización?

- ☐ Si
☐ No

Si su respuesta es SI, ¿de quién?:

12.- ¿Sabe usted qué hacer ante una amenaza de inundación?

- ☐ Si
☐ No

Si su respuesta es SI: ¿Qué haría? _____

13.- ¿Actualmente qué tipo de problemas considera usted que enfrenta el fraccionamiento? ¿Por qué?

14.- En caso de que se presente un desastre de origen natural en su fraccionamiento. ¿De quién esperaría ayuda?

- ☐ Institución de Gobierno ¿Cuál(es)? _____
☐ Institución Religiosa ¿Cuál (es)? _____
☐ Empresa privada ¿Cuál(es)? _____
☐ Otra (especifique) _____

¿Qué tipo de ayuda esperaría?

ANEXO II

Acuerdo del uso de curvas de elevación-áreas capacidad.



SUBDIRECCION GENERAL TECNICA
GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES
E INGENIERIA DE RIOS.

MEMORANDO NUM. BOO.05.02.01.- 108

México, D. F.; a 6 de febrero de 2013

C. LIC. ISMAEL GRIJALVA PALOMINO
DIRECTOR GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA
PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA
Av. Reforma y Calle "L" s/n
Col. Nueva, 21100 Mexicali, B. C.

En la reunión 1078 del Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas (CTOOH), celebrada el 5 de febrero de 2013, previo envío de las nuevas curvas elevaciones-áreas-capacidades de las presas Abelardo L. Rodríguez, Emilio López Zamora y el Carrizo, BCN, revisadas por la Gerencia de Ingeniería y Asuntos Bilaterales del Agua, los miembros de dicho comité manifestaron su aprobación a las mismas.

Al respecto, el CTOOH tomó el acuerdo 5531, el que hago de su conocimiento a continuación, y le solicito dar cumplimiento a lo que en él se indica.

Acuerdo 5531.- "Se aprueba utilizar las nuevas curvas de elevación - áreas-capacidades obtenidas de las batimetrías realizadas en el 2009, correspondientes a las presas Abelardo L. Rodríguez, Emilio López Zamora y el Carrizo, BCN."

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
EL GERENTE Y SECRETARIO TÉCNICO DEL CTOOH

M.I. HORACIO RUBIO GUTIÉRREZ

C.c.e.p Subdirección General Técnica.- Presente.
C.c.e.p Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.- Presente.
C.c.e.p Subdirección General de Agua Potable Drenaje y Saneamiento.- Presente.
C.c.e.p Coordinación General de Atención de Emergencias y Consejos de Cuenca.- Presente.
C.c.e.p Dirección Técnica.- Av. Reforma y Calle "L" s/n, Col. Nueva, 21100 Mexicali, B. C. Para su seguimiento
C.c.e.p Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Rios.- Archivo

HRG/vcp/13

"Juntos Cuidamos el Agua"