

# Índice

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>III</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>V</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
Objetivos .....	3
<b>1. Manejo del riesgo por inundaciones.....</b>	<b>6</b>
1.1 Desarrollo histórico del manejo de riesgos .....	6
1.1.1 Historia temprana: creencia y los desastres naturales.....	6
1.1.2 Desarrollo en la regulación y manejo de riesgos .....	7
1.1.3 La comprensión cuantitativa del riesgo.....	7
1.1.4 Siglo XX.....	8
1.1.5 Observaciones finales .....	9
1.2 Definición y Percepción del riesgo.....	10
1.3 Conceptos fundamentales sobre riesgo .....	11
1.4 Manejo y evaluación del riesgo de inundaciones.....	13
1.4.1 Administración de riesgos de inundaciones .....	19
1.5 Incertidumbre .....	20
1.5.1 Definición .....	20
1.5.2 Estimación de la incertidumbre.....	22
1.5.3 ¿Cómo se pueden reducir las incertidumbres en el futuro? .....	24
<b>2. Modelado numérico de inundaciones fluviales.....</b>	<b>26</b>
2.1 Tipos de modelos para flujos en llanuras de inundación.....	26
2.1.1 Nota sobre la integración de modelos con datos geográficos.....	27
2.2 Estimación del área de inundación.....	28
2.3 Modelos hidrodinámicos en una dimensión (1D) .....	30
2.4 Modelos hidrodinámicos en dos dimensiones (2D).....	31
2.5 Factores a considerar en el desempeño de un modelo hidrodinámico ....	33
2.5.1 Condiciones de frontera .....	34
2.5.2 Condiciones iniciales .....	34
2.5.3 Datos topográficos.....	35
2.5.4 Datos de resistencia hidráulica .....	35
2.5.5 Calibración, validación e incertidumbre.....	36
<b>3. Campaña de campo.....</b>	<b>38</b>
3.1 Zona de estudio.....	38
3.2 Mediciones .....	39
3.2.1 Batimetría.....	40

3.2.2	Velocidad del Flujo .....	42
3.2.3	Caudales.....	46
<b>4.</b>	<b>Modelo hidrodinámico en dos dimensiones .....</b>	<b>53</b>
4.1	Ecuaciones de gobierno (aguas someras) .....	53
4.2	Resolución numérica e integración en el tiempo.....	55
4.3	Inundación y secado de celdas .....	55
4.4	Puesta a punto del modelo numérico.....	56
4.5	Definición de las condiciones de frontera.....	62
4.5.1	Desembocadura del río Tonalá al Golfo de México.....	62
4.5.2	Gasto de entrada en el Río Tonalá .....	63
4.6	Validación del modelo.....	64
4.7	Evaluación de la incertidumbre en los resultados numéricos.....	64
<b>5.</b>	<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>67</b>
5.1	Discretización espacial de la zona de estudio .....	68
5.2	Diferentes Mallas.....	69
5.1.1	Hidrograma en la desembocadura del río.....	73
5.1.2	Hidrograma intermedio en el cauce .....	74
5.3	Diferentes Rugosidades en el cauce .....	75
5.2.1	Hidrogramas de resultados .....	75
5.4	Diferentes rugosidades en la Llanura de inundación. ....	78
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>86</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>88</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Definición de riesgo .....	10
Figura 1.2 Esquema de riesgo .....	11
Figura 1.3 Inundación fluvial en el río Carrizal, Tabasco (panel a) e inundación costera en Nueva Orleans, Estados Unidos (panel b). (Fuente: internet) .....	15
Figura 1.4 Mapa de inundación generado para la gran inundación del río Panuco en 1955 (Pedrozo-Acuña et al. 2011).....	16
Figura 1.5 Ciclo de prevención. ....	17
Figura 1.6 Etapas del manejo de riesgo (Eikenberg, 1998). ....	19
Figura 1.7 Etapas del manejo de riesgo (Eikenberg, 1998). ....	22
Figura 3.1 Ubicación del Río Tonalá en la costa del Estado de Tabasco, México, con nombres de poblaciones cercanas. ....	39
Figura 3.2 Panel izquierdo: Localización de los instrumentos anclados en el río Tonalá (©). Panel derecho: Ubicación de los transectos recorridos con el corrientímetro ADP (a) en la desembocadura durante un ciclo de 12 horas, (b) en tributario al este del Río Tonalá, (c) en el tributario Agua Dulcita, y (d) en ubicación del corrientímetro vector. [Imagen obtenida de GoogleEarth]. ....	40
Figura 3.3 Sistema de medición de batimetría. Panel superior: Ecosonda controlada desde una computadora portátil. Panel inferior: antena del GPS diferencial (rover) sujeta a la embarcación y al transductor de la ecosonda por medio de una barra metálica. ....	41
Figura 3.4 Panel izquierdo: Imagen satelital del área de estudio. Panel derecho: línea de costa digitalizada (en azul) indicando las trayectorias de la embarcación registradas con el GPS diferencial (en rojo).....	42
Figura 3.5 Configuración de la estructura utilizada para anclar el corrientímetro (argonauta) en la desembocadura del río Tonalá.....	43
Figura 3.6 Series temporales de velocidad y dirección de flujo medidas con el argonauta en la desembocadura del río Tonalá. ....	43
Figura 3.7 Profundidad en la desembocadura del Río Tonalá. ....	44
Figura 3.8 Corrientímetro vector utilizado para medir flujo y nivel a 12 km de la desembocadura del río Tonalá. ....	45
Figura 3.9 Series temporales de nivel, velocidad, y dirección de la corriente, medidas con el corrientímetro vector a 12 km de la desembocadura del río Tonalá. ....	46
Figura 3.10 Perfilador de corrientes (ADP) instalado en la embarcación utilizada para recorrer los 4 transectos señalados.....	47
Figura 3.11 Ejemplo de datos obtenidos con el corrientímetro ADP a lo largo del transecto ubicado en la desembocadura del río Tonalá para una hora (17 hrs) durante el ciclo de 12 h. Se muestran series temporales de flujo, gasto, y profundidad de los 7 recorridos que corresponden a las 17 hrs.....	48
Figura 3.12 Serie temporal de caudal promedio, $Q_{prom}$ , en la desembocadura del Río Tonalá (panel superior), y nivel del mar, $\eta$ , (panel inferior). ....	49
Figura 3.13 Serie temporal de caudal máximo, $Q_{max}$ , en la desembocadura del Río Tonalá (panel superior), y nivel del mar, $\eta$ , (panel inferior). ....	49
Figura 3.14 Series de tiempo de caudal, $Q$ , en el Río Tonalá, calculado sólo a partir de las velocidades medidas con el vector ( $Q_v$ , línea azul), calculado a partir de las mediciones con el ADP en un paso de tiempo ( $Q_{ADP}$ , punto negro), aplicando un factor de corrección al $Q_v$ (línea roja con cruces), y en la desembocadura del río (ciclo de 12 horas, línea negra). La variación del nivel del mar se muestra en el panel inferior. ....	51
Figura 4.1 Equipo tecnológico LIDAR.....	57

Figura 4.2 Funcionamiento del sistema LIDAR.....	57
Figura 4.3 Modelos digitales de elevación para la desembocadura del río Tonalá, Tabasco (panel a) 5m de resolución; panel b) 10m de resolución; panel c) 20m de resolución).....	58
Figura 4.4 Mapa de puntos discretos con Elevaciones/Profundidades resolución de 10m generado a partir del LIDAR de INEGI.....	59
Figura 4.5 Delimitación del dominio de cálculo, sistema del río González, Tabasco.....	60
Figura 4.6 Malla de cálculo del sistema del río Tonalá, Tabasco.....	61
Figura 4.7 Batimetría de cálculo con elevaciones y profundidades obtenidas a partir de la información base para el sistema del río Tonalá, Tabasco. ....	61
Figura 4.8 Marea astronómica registrada durante el periodo de mediciones en la desembocadura del río Tonalá, Tabasco.....	62
Figura 4.9 Mediciones integradas de gasto en la desembocadura del río Tonalá (máximo y promedio).....	63
Figura 4.10 Comparación de resultados de gasto medio en la desembocadura obtenidos con el modelo numérico (línea continua) vs los datos de campo (línea discontinua) .....	64
Figura 5.1 Secciones del Cauce. ....	69
Figura 5.2 Visualización de Mallas en la desembocadura del río Tonalá. ....	71
Figura 5.3 Secciones transversales en el río Tonalá. a) desembocadura del río, b) sección intermedia. ....	72
Figura 5.4 Hidrograma en desembocadura río Tonalá.....	73
Figura 5.5 Hidrograma en el río Tonalá.....	74
Figura 5.6 Hidrograma en la desembocadura con variación en la rugosidad.....	76
Figura 5.7 Hidrograma intermedio con variación de rugosidad.....	77
Figura 5.8 Secciones de la llanura de inundación.....	79
Figura 5.9 Rugosidad en la llanura C2.....	80
Figura 5.10 Rugosidad en la llanura C2.....	81
Figura 5.11 Diferentes inundaciones en la llanura, con el efecto a diferentes rugosidades (de menor a mayor rugosidad). ....	82
Figura 5.12 Ejemplo de la obtención del área de inundación mediante la digitalización y escala de los resultados de inundación con el programa AUTOCAD. ....	83
Figura 5.13 Gráfico, relación del área inundada contra el número de Manning..	85

## **Lista de Tablas**

Tabla 2.1 Diferentes métodos para el modelado de inundación en llanuras en orden ascendente de complejidad hidráulica. ....	29
Tabla 2.2 Categorías típicas de datos topográficos requeridos para un modelo unidimensional.....	31
Tabla 5.1 Área de Elemento de Malla para cada sección del cauce. ....	70
Tabla 5.2 Rugosidades utilizadas en el cauce para su calibración. ....	75
Tabla 5.3 Rugosidades en la llanura .....	79
Tabla 5.4 Área inundada a diferentes rugosidades .....	84

