

Indice

Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tablas.....	vii
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
CAPÍTULO 1.....	4
El problema de inundaciones en Tabasco.....	4
1. El problema de inundaciones en Tabasco.....	5
1.1 Descripción general del estado de Tabasco.....	5
1.1.1 Fisiografía.....	6
1.1.2 Cuencas.....	8
1.1.3 Clima.....	14
1.1.4 Precipitación.....	15
1.2 Modificaciones del drenaje por intervención antropogénica.....	20
1.2.1 Rompidos.....	20
1.2.2 Complejo Hidroeléctrico del Grijalva.....	25
1.3 Inundaciones recientes.....	27
1.3.1 Inundación de 1999.....	29
1.3.2 Inundación de 2007.....	30
1.3.3 Inundación de 2009.....	38
1.4 Programas federales de control de inundación.....	40
1.4.1 Programa Integral de Control de Inundaciones (PICI).....	40
1.4.2 Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT).....	40
CAPÍTULO 2.....	42
Campaña de Campo.....	42
2. Campaña de Campo.....	43
2.3 Zona de Estudio.....	43
2.4 Mediciones.....	45
2.4.1 Batimetría.....	45
2.4.2 Medición de la variación de caudal en un ciclo de 24 horas.....	48
2.4.3 Medición de la velocidad del flujo.....	50
CAPÍTULO 3.....	54
Modelo Hidrodinámico en dos dimensiones.....	54
3. Modelo hidrodinámico en dos dimensiones.....	55
3.1 Introducción.....	55

3.2	Ecuaciones de gobierno (Aguas someras).....	55
3.3	Resolución numérica e integración en el tiempo.....	56
3.4	Inundación y secado de celdas.....	57
3.5	Puesta a punto del modelo numérico.....	58
3.5.1	Malla de modelación.....	59
3.5.2	Definición de las condiciones de frontera.....	61
3.6	Validación del modelo.....	64
CAPÍTULO 4.....		66
Resultados.....		66
4. Resultados.....		67
4.1	Introducción.....	67
4.2	Tránsito de la avenida con periodo de retorno de 100 años bajo condiciones actuales del cauce.....	67
4.3	Propuestas de alternativas de alivio en la llanura de inundación.....	70
4.4	Análisis de las alternativas de alivio en la llanura de inundación.....	76
4.4.1	Cálculo de áreas de inundación.....	77
4.4.2	Obtención de volúmenes y costo del dragado.....	77
4.4.3	Relación entre la anchura del dren y el costo de dragado.....	80
4.4.4	Relación del área de inundación y el costo.....	81
Conclusiones.....		83
Referencias.....		85

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación del río González en la costa del estado de Tabasco (las flechas representan la dirección del flujo).....	1
Figura 1.1 División de la subregiones del estado de Tabasco (GET, 2010).....	6
Figura 1.2 División política de los municipios que pertenecen al estado de Tabasco (GET, 2010).....	6
Figura 1.3 Mapa Fisiográfico de la Cuenca del Grijalva (APFM, 2006).....	7
Figura 1.4 Regiones Hidrológicas del Estado de Tabasco con sus respectivas cuencas (Rosique P.J.A., 2006).....	9
Figura 1.5 Cuenca del Grijalva (APFM, 2006).....	11
Figura 1.6 Mapa de Climas del estado de Tabasco, se observa que el clima predominante es el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am. (INEGI, 2010).....	15
Figura 1.7 Precipitaciones pluviales anuales por Entidad Federativa. (Estadísticas de CONAGUA, 2010).....	16
Figura 1.8 Mapa de precipitaciones en el estado de Tabasco (INEGI, 2010).....	19
Figura 1.9 Sistema hidrológico superficial del estado de Tabasco en el siglo XVI (Velázquez G.V., 1994).....	20
Figura 1.10 El rompido de Nueva Zelandia que causó la unión del río Mezcalapa con el río Grijalva (Velázquez G.V., 1994).....	21
Figura 1.11 El rompido de Manga de Clavo originó el nacimiento del río Carrizal, que en su parte final se conoce como río González (Velázquez G.V., 1994)....	22
Figura 1.12 Mapa de San Juan Bautista en 1884, la capital de Tabasco cercada por el río Grijalva. (Atlas Histórico de Tabasco, 1982).....	22
Figura 1.13 Rompido de la Figua, dio origen al río la Figua. (Velázquez G.V., 1994).....	23
Figura 1.14 Ubicación del rompido de Samaria y los municipios afectados: Jalpa, Cunduacán y Nacajuca. (Velázquez G.V., 1994).....	24
Figura 1.15 Rompido de Cañas que originó al río Cañas, se aprecia en color rojo. (Velázquez G.V., 1994).....	24
Figura 1.16 Rompido el Veladero, ocurrió en el año 1952 próximo a la población Nueva Zelandia. (Velázquez G.V., 1994).....	25

Figura 1.17 Sistema Hidroeléctrico del Grijalva. (CFE, 1988).....	26
Figura 1.18 Perspectiva aérea de las Centrales Hidroeléctricas ubicadas en el Complejo Grijalva. (CFE, 1988)	27
Figura 1.19 Inundación en la calle 27 de febrero, en el centro de la ciudad de Villahermosa, en el año de 1929. (Archivo de la Sociedad de Fotógrafos del estado de Tabasco).....	29
Figura 1.20 Inundación de 1936 en el Parque Juárez de Villahermosa, Tabasco. (Archivo de la Sociedad de Fotógrafos del estado de Tabasco).....	29
Figura 1.21 Sistema meteorológicos actuantes durante los últimos días de octubre en el 2007. (CONAGUA, 2007).....	31
Figura 1.22 Localización del Complejo Hidroeléctrico del Grijalva. (APFM, 2006)	32
Figura 1.23 Precipitación máxima diaria de los últimos días de octubre de 2007. (SMN-CONAGUA, 2007).....	34
Figura 1.24 Panel izquierdo: Las principales avenidas de Villahermosa estuvieron anegadas por el desbordamiento de los ríos que rodean la ciudad. Panel derecho: Pocas personas pudieron atravesar las calles de Villahermosa utilizando las lanchas (Diversas páginas de internet).....	37
Figura 1.25 El éxodo de la mayor parte de la población fue a pie, cargando sus pertenencias y objetos de valor. (El Universal, 2007)	37
Figura 1.26 El rescate aéreo llegó a las zonas que se encontraban incomunicadas (Diversas páginas de internet, 2007)	37
Figura 1.27 Vista aérea de la ciudad de Villahermosa, es una imagen devastadora que muestra la magnitud del daño que sufrió la ciudad. (Diversas páginas de internet, 2007).....	38
Figura 1.28 La infraestructura carretera se vio gravemente afectada además de dejar incomunicada a la población. (Diversas páginas de internet, 2009)	39
Figura 1.29 Camiones de gran tamaño se veían imposibilitados para transitar las carreteras afectadas (Asociación Ecológica Santo Tomás, 2009)	40
Figura 2.1 Zona de estudio, incluye el sistema de la laguna Mecoacán y el río González, y otros cuerpos lagunares menores.....	44
Figura 2.2 Funcionamiento de la ecosonda para detectar el fondo marino.....	45
Figura 2.3 Sistema de medición del fondo marino.....	46
Figura 2.4 Panel izquierdo: antena GPS diferencial. Panel derecho: Sonar sumergido.....	46

Figura 2.5 Rutas de navegación de batimetrías.....	47
Figura 2.6 Detalle del mini ADCP montado en la moto acuática y esquema de la metodología de corrientes.....	48
Figura 2.7 Transecto en la desembocadura del río González.....	49
Figura 2.8 En la moto acuática se instalaron un ADCP, CTD y una computadora en la realización de transectos (panel izquierdo). Acercamiento del ADCP (panel derecho).....	49
Figura 2.9 Serie temporal de caudal Q , en la boca de la desembocadura del río González (panel superior) durante un ciclo de marea. En mareas vivas (panel inferior).....	50
Figura 2.10 Velocímetro acústico.....	51
Figura 2.11 Ubicación del vector sobre el río González.....	52
Figura 2.12 Series de tiempo de velocidad y dirección del flujo (paneles 1 y 2), y nivel del agua (panel 3) en el río González, y el nivel del mar (panel 4).....	52
Figura 3.1 Mapa de elevaciones y profundidades generado con el MDE SRTM de 30 m.....	59
Figura 3.2 Panel superior: Elevaciones/profundidades en el dominio del cálculo; panel inferior: malla de cálculo con elementos de resolución variable.....	60
Figura 3.3 Marea astronómica registrada para el mes de Agosto en la costa del estado de Tabasco.....	61
Figura 3.4 Mediciones tipo del perfilador acústico frente a la barra de Chiltepec.....	62
Figura 3.5 Mediciones tipo del perfilador acústico frente a la barra de Chiltepec.....	63
Figura 3.6 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 3.7 Comparación de resultados de velocidad de corriente obtenidos con el modelo numérico (línea continua) vs los datos de campo (línea discontinua).....	65
Figura 4.1 Hidrograma de entrada que se utiliza en la condición de frontera del Dren Victoria.....	68
Figura 4.2 Escenarios de inundación a lo largo de la simulación numérica del drenaje de la avenida extrema asociada a un $Tr=100$ años.....	69
Figura 4.3 Diagrama de las alternativas en la llanura de inundación.....	71

Figura 4.4 Condición final de la alteración con ampliación de la anchura del Dren Victoria a 240 m. y una profundidad de 9 m.	72
Figura 4.5 Condición final de la alternativa con ampliación de la anchura del Dren Victoria a 300 m. y una profundidad de 9 m.	73
Figura 4.6 Condición final de la alternativa con ampliación de la anchura del Dren Victoria a 380 m. y una profundidad de 9 m.	73
Figura 4.7 Condición final de la alternativa con ampliación de la anchura del Dren Victoria a 600 m. y una profundidad de 9 m.	74
Figura 4.8 Condición final de la alternativa con la ampliación de la anchura del Dren Victoria a 240 m. y una profundidad de 7.5 m.....	75
Figura 4.9 Condición final de la alternativa con ampliación de la anchura del Dren Victoria a 365 m. y profundidad de 7.5 m.	76
Figura 4.10 Secciones del dren Victoria con diferentes anchuras, con una profundidad de 9 m.	77
Figura 4.11 Secciones del dren Victoria con diferentes anchuras, con una profundidad de 7.5 m.....	78
Figura 4.12 Relación entre el área de inundación y la anchura del dren para los escenarios simulados.....	80
Figura 4.13 Relación entre la anchura del dren y el costo de dragado para los escenarios simulados.....	81
Figura 4.14 Relación entre el área del dren y el costo del dragado para los escenarios simulados.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Clasificación de las Regiones y Cuencas Hidrológicas del estado de Tabasco. (INEGI, 2010)	9
Tabla 1.2 Símbolos referentes a los tipos y subtipos climáticos del estado de Tabasco utilizando la clasificación de Wilhelm Köeoppen adaptado por M.en C Enriqueta García (1994)	14
Tabla 1.3 Periodos de lluvias, sequías, temporales y nortes. (Velázquez G.V., 1994)	17
Tabla 1.4 Cronología de inundaciones (1879-1955) en el estado de Tabasco. (Gamma L.C., et al, 2008)	28
Tabla 1.5 La serie de eventos meteorológicos comenzó desde mediados de septiembre, continuaron hasta finales de octubre. (CENAPRED, 2000).....	30
Tabla 1.6 Fenómenos meteorológicos en la temporada de lluvias en el 2007 (SMN, 2007)	31
Tabla 1.7 Afectaciones en las localidades del Estado de Tabasco ocasionadas por las inundaciones del 2007. (GET, 2007).....	36
Tabla 1.8 Impacto socioeconómico de las inundaciones ocurridas en el Estado de Tabasco en los meses de octubre y noviembre, 2009. (CENAPRED-CEPAL, 2010).....	39
Tabla 4.1 Áreas de inundación para cada escenario de alivio simulado en km ²	77
Tabla 4.2 Areas de dragado para los diferentes escenarios de alivio propuestos, el renglón correspondiente a 100 m. de anchura representa la condición actual	78
Tabla 4.3 Los valores del área de inundación, el volumen de dragado y el costo para una profundidad de 9 m.	79
Tabla 4.4 Los valores del área de inundación, el volumen dragado y el costo para una profundidad de 7.5 m.....	79

