

## Tabla de contenido

Estado del arte .....	7
Herramientas de planificación y simulación del recurso hídrico.....	8
Análisis de estudios previos.....	10
Aporte del trabajo a las investigaciones realizadas .....	18
Objetivos.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos .....	19
Antecedentes.....	20
Descripción del área de estudio .....	20
Ubicación del área de estudio.....	20
Características de la zona .....	21
Ecosistemas y biodiversidad .....	25
Población.....	27
Disponibilidad y usos del agua .....	28
Problemáticas.....	30
Incremento poblacional / aumento de las demandas.....	30
Sequías .....	31
Deforestación .....	32
Sobreexplotación del recurso hídrico.....	33
Contaminación del agua.....	34
Sistemas de monitoreo y control de la calidad del agua .....	35
Normativa nacional y semáforo de calidad del agua.....	35
Infraestructura de las plantas de tratamiento de aguas residuales .....	39
Norma Mexicana de Caudal Ecológico NMX-AA-159-SCFI-2012 .....	41
Metodología.....	44
Propuesta de segmentación del área de estudio .....	45
Recopilación de información .....	48
Información geográfica .....	48
Información climatológica .....	50
Información hidrométrica.....	51

Información de calidad del agua .....	55
Construcción del modelo de calidad del agua WEAP .....	55
Ecuaciones de modelación .....	56
Datos de entrada del modelo .....	62
Análisis y manejo de la información .....	64
Generación de la geodatabase de información (SIG).....	64
Determinación de secciones transversales / geometría del río.....	66
Manejo información climatológica .....	70
Manejo información hidrométrica.....	72
Manejo información de calidad del agua .....	78
Descripción y simulación de los escenarios de calidad del agua.....	89
Escenario base octubre 1999 a septiembre 2000.....	93
Escenario base considerando norma de caudal ecológico.....	93
Escenario flujos naturalizados.....	96
Resultados de las simulaciones.....	97
Resultados de la modelación escenario base octubre 1999 a septiembre 2000 .....	97
Resultados de la modelación escenario base considerando norma de caudal ecológico .....	99
Resultados de la modelación escenario flujos naturalizados .....	101
Conclusiones.....	103
Discusión de resultados .....	103
Recomendaciones.....	114
Limitaciones y estudios posteriores .....	114
Bibliografía.....	117
Anexo 1 .....	120

## Índice de figuras

Figura 1. Modelo WEAP Bravo calidad del agua tramo Falcón-Golfo de México (Aparicio, J., 2008) .....	16
Figura 2. Resultados calibración del Modelo WEAP Bravo calidad del agua tramo Falcón-Golfo de México (Aparicio, J., 2008).....	17
Figura 3. Localización de la cuenca del Río Conchos. Elaboración propia con información de CONAGUA .....	21
Figura 4. Caracterización de la cuenca del Río Conchos. (World Wildlife Fund, 2006).....	23
Figura 5. Ciudades principales en la cuenca del Río Conchos. (CONAGUA, 1997) .....	27
Figura 6. Uso del recurso hídrico por Distrito de Riego (COCEF, 2002).....	29
Figura 7. Presas principales en la cuenca del Río Conchos (Kelly, 2001).....	30
Figura 8. Acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 1997) .....	34
Figura 9. Escala de clasificación calidad del agua superficial con base en DBO5 (CONAGUA, 2017) .....	38
Figura 10. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en % OD (CONAGUA 2017) .....	38
Figura 11. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en SST (CONAGUA, 2017) .....	39
Figura 12. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales por caudal tratado (CONAGUA, 2016) .....	40
Figura 13. Ubicación plantas de tratamiento de aguas residuales. Elaboración propia con información de CONAGUA.....	41
Figura 14. Modelo conceptual objetivos ambientales (World Wildlife Fund, 2015).....	43
Figura 15. Matriz de objetivos ambientales (Salinas, S. 2011) .....	43
Figura 16. Tramo 1: Alto Conchos. Elaboración propia .....	46
Figura 17. Tramo 2: DR005. Elaboración propia.....	46
Figura 18. Tramo 3: El Granero. Elaboración propia.....	47
Figura 19. Tramo 4: Ojinaga. Elaboración propia.....	47
Figura 20. Ubicación de los puntos generados de flujos naturales TCEQ (Teasley & McKinney, 2006).....	53
Figura 21. Ubicación de los puntos de flujos naturales en la cuenca del Río Conchos (Teasley & McKinney, 2006).....	54
Figura 22. Concepto de base de datos geográfica (Maidment, 2002) .....	65
Figura 23. Geodatabase generada para la Cuenca del Río Conchos- calidad del agua. Elaboración propia.....	66
Figura 24. Imagen satelital tramo a modelar. Elaboración propia.....	67
Figura 25. Manipulación de la imagen satelital en AUTOCAD. Elaboración propia.....	67
Figura 26. Triangulación del tramo en AUTOCAD. Elaboración propia .....	68
Figura 27. Ubicación del inicio del tramo a modelar, estación Las Burras. Elaboración propia .....	68
Figura 28. Sección transversal estación Las Burras. Elaboración propia.....	69

Figura 29. Obtención de la geometría de la sección. Elaboración propia .....	70
Figura 30. Serie temperatura observada estación 8092. (ERICIII_3.2) .....	71
Figura 31. Ubicación de los sitios de monitoreo de calidad del agua en México (USIBWC) .....	79
Figura 32. Estación considerada para calidad del agua como punto inicial del tramo. (USIBWC).....	80
Figura 33. Estación considerada para calidad del agua como punto final del tramo. (USIBWC).....	81
Figura 34. Esquemático WEAP Río Conchos_UDLAP. Elaboración propia .....	90
Figura 35. Grupo de contaminantes considerados en la modelación WEAP .....	90
Figura 36. Geometría del río ingresada en el modelo WEAP .....	91
Figura 37. Distancia entre los puntos inicial y final del tramo en la geodatabase. Elaboración propia.....	92
Figura 38. Interfaz del modelo de calidad del agua: escenario 1 .....	93
Figura 39. Objetivo ambiental en la cuenca del Río Conchos (World Wildlife Fund, 2015) .....	94
Figura 40. Valores de referencia para asignar un volumen de caudal ecológico conforme a los objetivos ambientales (Salinas, S. 2011) .....	95
Figura 41. Interfaz del modelo de calidad del agua: escenario 2 .....	96
Figura 42. Interfaz del modelo de calidad del agua: escenario 3 .....	97
Figura 43. Resultado modelación DBO: Escenario1.....	97
Figura 44. Resultado modelación OD: Escenario1 .....	98
Figura 45. Resultado modelación SST: Escenario1 .....	98
Figura 46. Resultado modelación temperatura del agua: Escenario1.....	99
Figura 47. Resultado modelación DBO: Escenario2.....	99
Figura 48. Resultado modelación OD: Escenario2 .....	100
Figura 49. Resultado modelación SST: Escenario2 .....	100
Figura 50. Resultado modelación temperatura del agua: Escenario2.....	101
Figura 51. Resultado modelación DBO: Escenario3.....	101
Figura 52. Resultado modelación OD: Escenario3 .....	102
Figura 53. Resultados modelación SST: Escenario3.....	102
Figura 54. Resultados modelación temperatura del agua: Escenario3 .....	103
Figura 55. Ubicación estaciones SINA consideradas en el tramo .....	104
Figura 56. Influencia de los centros urbanos en el tramo modelado. Elaboración propia .	112
Figura 57. Influencia del distrito de riego 005 en el tramo modelado. Elaboración propia	112
Figura 58. Plantas de tratamiento en el tramo simulado (hexágonos). Elaboración propia	113

## Índice de tablas

Tabla 1. Estaciones climatológicas que considerar por tramo.....	50
Tabla 2. Estaciones hidrométricas que considerar por tramo.....	52
Tabla 3. Descripción de la ubicación flujos naturales en la cuenca del Río Conchos.....	54
Tabla 4. Datos de entrada del modelo de calidad del agua.....	63
Tabla 5. Serie de temperaturas mensuales a ingresar en el modelo .....	72
Tabla 6. Valores de gasto máximo a ingresar en el modelo .....	72
Tabla 7. Valores relación gasto, tirante, espejo obtenidos en la primera etapa.....	74
Tabla 8. Relaciones de la geometría del río (gasto, tirante, espejo).....	77
Tabla 9. Valores de temperatura del agua medidos.....	82
Tabla 10. Valores de temperatura del agua a ingresar en el modelo .....	83
Tabla 11. Valores OD medidos .....	84
Tabla 12. Valores de OD a ingresar en el modelo.....	85
Tabla 13. Valores SST medidos .....	86
Tabla 14. Valores de SST a ingresar en el modelo.....	87
Tabla 15. Valores DBO medidos.....	88
Tabla 16. Valores de DBO a ingresar en el modelo .....	89
Tabla 17. Caudal a ingresar en el escenario 2 .....	95
Tabla 18. Resultados del modelo para DBO (mg/l) .....	106
Tabla 19. Resultados del modelo para OD (mg/l).....	107
Tabla 20. Resultados del modelo para SST (mg/l).....	109
Tabla 21. Resultados del modelo para temperatura del agua (°C) .....	110

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Ajuste serie de temperatura observada en la estación 8092 .....	71
Gráfica 2. Ajuste valores de tirante etapa 2.....	75
Gráfica 3. Ajuste valores de espejo del agua etapa 2 .....	75
Gráfica 4. Ajuste final valores finales de tirante etapa 3.....	76
Gráfica 5. Ajuste final valores de espejo del agua etapa 3 .....	77
Gráfica 6. Comportamiento datos medidos temperatura del agua.....	82
Gráfica 7. Comportamiento datos medidos OD .....	84
Gráfica 8. Comportamiento datos medidos SST .....	87
Gráfica 9. Comportamiento datos medidos DBO.....	88
Gráfica 10. Contraste entre resultados DBO .....	106
Gráfica 11. Contraste entre resultados OD.....	108
Gráfica 12. Contraste entre resultados SST.....	109
Gráfica 13. Contraste entre resultados temperatura del agua .....	111