

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

Convenio de Colaboración
No. SGIH-GPIH-SGPOPR-UNAM-II-RF-14-01

Informe Final

CAPÍTULO 3 Estudio para delimitar microcuencas urbanas y definir los gastos pluviales

Dr. Fernando Jorge González Villarreal*
Director del proyecto

M. en I. Juan Javier Carrillo Sosa **
Coordinador del proyecto

M. en I. Jorge Luis Reyes Hernández ****
Ing. Ernesto Arzola Rodríguez ****
Ing. Ana Rocío Cerón Mayo***
Ing. Mauricio Osorio González***
Ing. Erik Vladimir Paredes Suarez***
Ing. Aldo Leopoldo Reyes Santos***
Ing. Jorge Eduardo Velázquez Suarez***
Participantes

Elaborado para:
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA⁺

NOVIEMBRE, 2014

- * Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM
- ** Técnico académico, Instituto de Ingeniería, UNAM
- *** Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM
- **** Consultor Externo

ÍNDICE

3	ESTUDIO PARA DELIMITAR MICROCUENCAS URBANAS Y DEFINIR LOS GASTOS PLUVIALES	1
3.1	Introducción	1
3.2	Recopilación de información	1
3.2.1	Municipios estudiados en la delimitación de microcuencas en zonas urbanas 3	
3.2.2	Diagnóstico de la situación actual.....	6
3.3	Delimitación de microcuencas.....	9
3.3.2	Centro.....	12
3.3.3	Centla.....	15
3.3.4	Jalpa de Méndez	17
3.3.5	Cárdenas.....	19
3.3.6	Cunduacán	22
3.4	Definición de corrientes naturales permanentes y perennes.	24
3.4.1	Centro.....	24
3.4.2	Centla.....	28
3.4.3	Jalpa de Méndez	29
3.4.4	Cárdenas.....	30
3.4.5	Cunduacán	31
3.5	Actualización del estudio hidrológico.....	32
3.5.1	Análisis de frecuencias	32
3.6	Curvas Precipitación-Intensidad-Periodo de retorno (iDT).....	79
3.6.1	Centro.....	81
3.6.2	Centla.....	82
3.6.3	Jalpa de Méndez	83

3.6.4	Cárdenas.....	85
3.6.5	Cunduacán.....	86
3.7	Cálculo del gasto acumulado de origen pluvial para drenado de las microcuencas.....	87
3.7.1	Bases del Método Racional Americano.....	87
3.7.2	Estimación de la magnitud y forma del hidrograma de descarga de las microcuencas.....	88
3.8	Identificación de la infraestructura de alcantarillado pluvial existente.....	209
3.9	Inspección visual para definir la infraestructura principal del anteproyecto... 212	
3.9.1	Relatoría de las visitas de campo.....	212
3.10	Propuesta de trazo y prediseño de colectores primarios.....	279
3.11	Conclusiones y recomendaciones.....	286
	Bibliografía.....	287

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.3.1	Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Centro. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	12
Tabla 3.3.2	Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Centro. (Instituto de Ingeniería, 2014).	13
Tabla 3.3.3	Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Centla. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	15
Tabla 3.3.4	Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Centla. (Instituto de Ingeniería, 2014).	15
Tabla 3.3.5	Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Jalpa de Méndez. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	17
Tabla 3.3.6	Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Jalpa de Méndez.....	19
Tabla 3.3.7	Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Cárdenas. (Instituto de Ingeniería, 2014).	19
Tabla 3.3.8	Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Cárdenas. (Instituto de Ingeniería, 2014).	20
Tabla 3.3.9	Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Cunduacán. (Instituto de Ingeniería, 2014).	22



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Tabla 3.3.10 Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Cunduacán. (Instituto de Ingeniería, 2014).	24
Tabla 3.4.1 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Villahermosa. (INEGI, 2014).	24
Tabla 3.4.2 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Frontera. (INEGI, 2014).	28
Tabla 3.4.3 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Jalpa. (INEGI, 2014).	29
Tabla 3.4.4 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cárdenas. (INEGI, 2014).	30
Tabla 3.4.5 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cunduacán. (INEGI, 2014).	31
Tabla 3.5.1 Datos climatológicos estación Centro.	34
Tabla 3.5.2 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central - Centro.	36
Tabla 3.5.3 Distancia de las estaciones complementarias a la central - Centro.	37
Tabla 3.5.4 Valores de precipitación máxima anual estación de Centro.	38
Tabla 3.5.5 Resultados Análisis de Independencia estación: Centro.	40
Tabla 3.5.6 Funciones de Distribución estación: Centro.	42
Tabla 3.5.7 Datos climatológicos estación Centla.	43
Tabla 3.5.8 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central: Centla.	45
Tabla 3.5.9 Distancia de las estaciones complementarias a la central: Centla.	45
Tabla 3.5.10 Valores de precipitación máxima anual estación Centla.	46
Tabla 3.5.11 Resultados Análisis de Independencia estación: Centla.	48
Tabla 3.5.12 Funciones de Distribución estación: Centla.	50
Tabla 3.5.13 Datos climatológicos estación Jalpa.	52
Tabla 3.5.14 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central.	53
Tabla 3.5.15 Distancia de las estaciones complementarias a la estación central: Jalpa de Méndez.	54
Tabla 3.5.16 Valores de precipitación máxima anual estación Cárdenas.	55
Tabla 3.5.17 Resultados Análisis de Independencia: Jalpa de Méndez.	58
Tabla 3.5.18 Funciones de Distribución estación: Jalpa de Méndez.	60
Tabla 3.5.19 Datos climatológicos estación Cárdenas.	62
Tabla 3.5.20 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central: Cárdenas.	64
Tabla 3.5.21 Distancia de las estaciones complementarias a la central.	64
Tabla 3.5.22 Valores de precipitación máxima anual estación Cárdenas.	65
Tabla 3.5.23 Resultados Análisis de Independencia: Cárdenas.	68
Tabla 3.5.24 Funciones de Distribución.	70
Tabla 3.5.25 Datos climatológicos estación Cunduacán.	71
Tabla 3.5.26 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central.	72
Tabla 3.5.27 Distancia de las estaciones complementarias a la central.	73
Tabla 3.5.28 Valores de precipitación máxima anual estación Cunduacán.	73
Tabla 3.5.29 Resultados Análisis de Independencia.	76
Tabla 3.5.30 Funciones de Distribución.	78
Tabla 3.6.1 Relaciones promedio a la lluvia de una hora de duración. (Campos Aranda, 1998).	80
Tabla 3.6.2 Valores de intensidad para cada duración y periodo de retorno en la Estación Climatológica 27054-Villahermosa (DGE). (Instituto de Ingeniería, 2014).	81

Tabla 3.6.3 Valores de intensidad para cada duración y periodo de retorno en la Estación Climatológica 27016-Frontera A. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	83
Tabla 3.6.4 Valores de intensidad para cada duración y periodo de retorno en la Estación Climatológica 27054-Villahermosa (DGE). (Instituto de Ingeniería, 2014).....	84
Tabla 3.6.5 Valores de intensidad para cada duración y periodo de retorno en la Estación Climatológica 27054-Villahermosa (DGE). (Instituto de Ingeniería, 2014).....	85
Tabla 3.7.1 Forma del hidrograma utilizando los resultados obtenidos por el Soil Conservation Service.....	88
Tabla 3.7.2 Hietograma e hidrograma para la cuenca Sie 1.....	89
Tabla 3.7.3 Hietograma e hidrograma para la cuenca Sie 2.....	91
Tabla 3.7.4 . Hietograma e hidrograma para la cuenca Carri 1	93
Tabla 3.7.5 . Hietogr�ama e hidrograma para la cuenca Carri 2	97
Tabla 3.7.6 Hietograma e hidrograma para la cuenca Carri 3	99
Tabla 3.7.7. Hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 4	102
Tabla 3.7.8 . Hietograma e hidrograma para la cuenca Carri 5	104
Tabla 3.7.9. Hietograma e hidrograma para la cuenca Carri 6	107
Tabla 3.7.10 . Hietograma e hidrograma para la cuenca Carri 7	108
Tabla 3.7.11 . Hietograma e hidrograma para la cuenca Carri lzq 1	111
Tabla 3.7.12 . Hietograma e hidrograma para la cuenca VM1	113
Tabla 3.7.13. Hietograma e hidrograma para la cuenca VM2	117
Tabla 3.7.14. Hietograma e hidrograma para la cuenca VM3	119
Tabla 3.7.15. Hietograma e hidrograma para la cuenca VM4	121
Tabla 3.7.16. Hietograma e hidrograma para la cuenca VM4-2	123
Tabla 3.7.17. Hietograma e hidrograma para la cuenca LaEn1	125
Tabla 3.7.18. Hietograma e hidrograma para la cuenca PVF1	128
Tabla 3.7.19. Hietograma e hidrograma para la cuenca PVF2	131
Tabla 3.7.20. Hietograma e hidrograma para la cuenca PVF3	134
Tabla 3.7.21. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cen 1	137
Tabla 3.7.22. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cen 2	139
Tabla 3.7.23. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cen 3	141
Tabla 3.7.24. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cen 4	143
Tabla 3.7.25. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cen 5	145
Tabla 3.7.26. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cen 6	147
Tabla 3.7.27. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 1	149
Tabla 3.7.28. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 2	151
Tabla 3.7.29. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 3	153
Tabla 3.7.30. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 4	155
Tabla 3.7.31. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 5	157
Tabla 3.7.32. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 6	159
Tabla 3.7.33. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 7	161
Tabla 3.7.34. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 8	163
Tabla 3.7.35. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 9	164
Tabla 3.7.36. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 10	166



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Tabla 3.7.37. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 11	168
Tabla 3.7.38. Hietograma e hidrograma para la cuenca Jal 12	169
Tabla 3.7.39. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 1	171
Tabla 3.7.40. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 2	173
Tabla 3.7.41. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 3	177
Tabla 3.7.42. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 4	179
Tabla 3.7.43. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 5	182
Tabla 3.7.44. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 6	185
Tabla 3.7.45. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 7	186
Tabla 3.7.46. Hietograma e hidrograma para la cuenca Car 8	189
Tabla 3.7.47. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 1	191
Tabla 3.7.48. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 2	193
Tabla 3.7.49. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 3	195
Tabla 3.7.50. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 4	197
Tabla 3.7.51. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 5	199
Tabla 3.7.52. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 7	201
Tabla 3.7.53. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 8	203
Tabla 3.7.54. Hietograma e hidrograma para la cuenca Cun 9	205
Tabla 3.8.1 Relación de las estaciones de bombeo en Villahermosa. (SAS, 2013).....	209
Tabla 3.10.1 Pendientes medias de los canales y colectores	280

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.2.1.- Municipios estudiados en la delimitación de microcuencas en zonas urbanas. (Instituto de Ingeniería, 2014)	2
Figura 3.2.2 Localización bordos en la localidad urbana de Villahermosa. (Instituto de Ingeniería, 2014, con información de Coordinación de Protección Civil de Tabasco, 2009 y Dirección Local de Tabasco, 2014).....	8
Figura 3.3.1 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Centro. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	14
Figura 3.3.2 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Centla. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	16
Figura 3.3.3 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Jalpa de Méndez	18
Figura 3.3.4 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Cárdenas. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	21
Figura 3.3.5 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Cunduacán. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	23
Figura 3.4.1 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Villahermosa.	27
Figura 3.4.2 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Frontera (Cabecera municipal del municipio de Centla). (INEGI, 2014).....	28
Figura 3.4.3 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Jalpa. (INEGI, 2014).....	29
Figura 3.4.4 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cárdenas. (INEGI, 2014)..	30

Figura 3.4.5 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cunduacán. (INEGI, 2014).	31
Figura 3.5.1 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Centro	36
Figura 3.5.2 Función de distribución de la estación: Centro	42
Figura 3.5.3 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Centla	44
Figura 3.5.4 Función de distribución estación: Centla	51
Figura 3.5.5 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Jalpa..	53
Figura 3.5.6 Función de Distribución Jalpa de Méndez	61
Figura 3.5.7 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Cárdenas	63
Figura 3.5.8 Función de Distribución estación Cárdenas.	70
Figura 3.5.9 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Cunduacán	72
Figura 3.6.1 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno en la Estación Climatológica 27054-Villahermosa (DGE).	81
Figura 3.6.2 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno en la Estación Climatológica 27016-Frontera A.	82
Figura 3.6.3 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno en la Estación Climatológica 27020 – Jalpa de Méndez.	84
Figura 3.6.4 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno en la Estación Climatológica 27008 – Cárdenas.	85
Figura 3.6.5 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno en la Estación Climatológica 27010 – Cunduacán.	86
Figura 3.7.1 Forma del hidrograma utilizando los resultados obtenidos por el Soil Conservation Service	89
Figura 3.7.2 Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Sie 1	91
Figura 3.7.3 Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Sie 2	92
Figura 3.7.4 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 1	97
Figura 3.7.5 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 2	99
Figura 3.7.6 Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 3	102
Figura 3.7.7. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 4	104
Figura 3.7.8 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 5	106
Figura 3.7.9 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 6	108
Figura 3.7.10. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri 7	111
Figura 3.7.11. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Carri Izq 1	113
Figura 3.7.12. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VM1	117
Figura 3.7.13. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VM2	119
Figura 3.7.14. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VM3	121
Figura 3.7.15. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VM4	123
Figura 3.7.16. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VM4-2	125
Figura 3.7.17 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca LaEn1	128
Figura 3.7.18. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VPF1	131
Figura 3.7.19. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VPF2	134



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Figura 3.7.20. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca VPF3	137
Figura 3.7.21 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cen 1.....	139
Figura 3.7.22. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cen 2.....	141
Figura 3.7.23. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cen 3.....	143
Figura 3.7.24. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cen 4.....	145
Figura 3.7.25. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cen 5.....	147
Figura 3.7.26. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cen 6.....	149
Figura 3.7.27 . Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 1.....	151
Figura 3.7.28. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 2.....	153
Figura 3.7.29. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 3.....	155
Figura 3.7.30. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 4.....	157
Figura 3.7.31. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 5.....	159
Figura 3.7.32. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 6.....	161
Figura 3.7.33. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 7.....	162
Figura 3.7.34. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 8.....	164
Figura 3.7.35. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 9.....	166
Figura 3.7.36. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 10.....	167
Figura 3.7.37. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 11.....	169
Figura 3.7.38. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Jal 12.....	171
Figura 3.7.39. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 1.....	173
Figura 3.7.40. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 2.....	177
Figura 3.7.41. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 3.....	179
Figura 3.7.42. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 4.....	181
Figura 3.7.43. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 5.....	184
Figura 3.7.44. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 6.....	186
Figura 3.7.45. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 7.....	189
Figura 3.7.46. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Car 8.....	191
Figura 3.7.47. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 1.....	193
Figura 3.7.48. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 2.....	195
Figura 3.7.49. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 3.....	197
Figura 3.7.50. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 4.....	199
Figura 3.7.51. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 5.....	201
Figura 3.7.52. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 7.....	203
Figura 3.7.53. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 8.....	205
Figura 3.7.54. Gráfica del hietograma e hidrograma de la cuenca Cun 9.....	208
Figura 3.9.1. Punto PVF 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	213
Figura 3.9.2. Punto PVF 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	214
Figura 3.9.3. Punto ENC 01. (Instituto de Ingeniería, 2014).	215
Figura 3.9.4. Punto ENC 01. (Instituto de Ingeniería, 2014).	216
Figura 3.9.5. Punto Estación de bombeo la pólvora. (Instituto de Ingeniería, 2014).	217
Figura 3.9.6. Punto Estación de bombeo la pólvora. (Instituto de Ingeniería, 2014).	218
Figura 3.9.7. Punto SIE 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	219
Figura 3.9.8. Punto SIE 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	220

Figura 3.9.9. Punto VM5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	221
Figura 3.9.10. Punto VM5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	222
Figura 3.9.11. B. Punto VM4. (Instituto de Ingeniería, 2014).	223
Figura 3.9.12. B. Punto VM4. (Instituto de Ingeniería, 2014).	224
Figura 3.9.13. Punto VM5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	225
Figura 3.9.14. Punto VM5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	226
Figura 3.9.15. Punto VM2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	227
Figura 3.9.16. Punto VM2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	228
Figura 3.9.17. Emisor de aguas negras Soriana. (Instituto de Ingeniería, 2014).	229
Figura 3.9.18. Emisor de aguas negras Soriana. (Instituto de Ingeniería, 2014).	230
Figura 3.9.19. Punto VM1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	231
Figura 3.9.20. Punto VM1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	232
Figura 3.9.21. Punto CARRI 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	233
Figura 3.9.22. Punto CARRI 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	234
Figura 3.9.23. Punto CARRI 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	235
Figura 3.9.24. Punto CARRI 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	236
Figura 3.9.25. Punto Bomba de aguas residuales. (Instituto de Ingeniería, 2014).	237
Figura 3.9.26. Punto CARRI 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	238
Figura 3.9.27. Punto CARRI 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	239
Figura 3.9.28. Punto Cárcamo de bombeo 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	240
Figura 3.9.29. Sin punto aparente de descarga. (Instituto de Ingeniería, 2014).	241
Figura 3.9.30. Sin punto aparente de descarga. (Instituto de Ingeniería, 2014).	242
Figura 3.9.31. Punto CAR 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	243
Figura 3.9.32. Punto CAR 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	244
Figura 3.9.33. Punto inaccesible CAR 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	245
Figura 3.9.34. Punto inaccesible CAR 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	246
Figura 3.9.35. Punto CAR 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	247
Figura 3.9.36. Punto CAR 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	248
Figura 3.9.37. Punto CAR 4. (Instituto de Ingeniería, 2014).	249
Figura 3.9.38. Punto CAR 4. (Instituto de Ingeniería, 2014).	250
Figura 3.9.39. Punto CAR 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	251
Figura 3.9.40. Punto CAR 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	252
Figura 3.9.41. Punto CAR 6. (Instituto de Ingeniería, 2014).	253
Figura 3.9.42. Punto CAR 6. (Instituto de Ingeniería, 2014).	254
Figura 3.9.43. Punto CAR 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	255
Figura 3.9.44. Punto CAR 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	256
Figura 3.9.45. Punto CEN 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	257
Figura 3.9.46. Punto CEN 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	258
Figura 3.9.47. Punto CEN 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	259
Figura 3.9.48. Punto CEN 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).	260
Figura 3.9.49. Punto CEN 6. (Instituto de Ingeniería, 2014).	261
Figura 3.9.50. Punto CEN 6. (Instituto de Ingeniería, 2014).	262
Figura 3.9.51. Punto CUN 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).	263

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Figura 3.9.52. Punto CUN 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	264
Figura 3.9.53. Punto CUN 1. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	265
Figura 3.9.54. Punto CUN 1". (Instituto de Ingeniería, 2014).....	266
Figura 3.9.55. Punto CUN 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	267
Figura 3.9.56. Punto CUN 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	268
Figura 3.9.57 Punto CUN 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	269
Figura 3.9.58 Punto CUN 3. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	270
Figura 3.9.59. Punto CUN 9. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	271
Figura 3.9.60. Punto CUN 9. (Instituto de Ingeniería, 2014).....	272
Figura 3.9.61 JAL 1 Y 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	273
Figura 3.9.62 JAL 1 Y 2. (Instituto de Ingeniería, 2014).	274
Figura 3.9.63 JAL 4 Y 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	275
Figura 3.9.64 JAL 4 Y 5. (Instituto de Ingeniería, 2014).	276
Figura 3.9.65 Punto JAL 6. (Instituto de Ingeniería, 2014).	277
Figura 3.9.66 JAL 7. (Instituto de Ingeniería, 2014).	278
Figura 3.9.67 JAL 7. (Instituto de Ingeniería, 2014).	279
Figura 3.10.1 Calculo de área hidráulica.....	281
Figura 3.10.2 Trazo preliminar de colectores y estructuras de descarga.....	281

✓

ACCIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LA POBLACIÓN CONTRA INUNDACIONES

3 ESTUDIO PARA DELIMITAR MICROCUENCAS URBANAS Y DEFINIR LOS GASTOS PLUVIALES

3.1 Introducción

Uno de los principales problemas hídricos que enfrenta el estado de Tabasco es el manejo de inundaciones de origen fluvial; debido a ello se han realizado planes de manejo integral que mitiguen las afectaciones causadas por este fenómeno. El objetivo del estudio, en este apartado, es integrar a los estudios anteriores y actuales un análisis que tome en cuenta el manejo de inundaciones de origen pluvial.

Para este fin es necesario caracterizar tanto la precipitación ocurrida en la región de estudio como también la cuenca de aportación para el posterior diseño de la infraestructura que colectará el gasto generado por las precipitaciones máximas, llamado alcantarillado pluvial.

Así, la función primordial del sistema de alcantarillado pluvial, consiste en colectar y retirar el agua de lluvia que se capta en las calles y áreas verdes de una localidad para evitar las inundaciones de origen pluvial que se presentan en épocas de lluvias.

3.2 Recopilación de información

Los municipios estudiados en la primera etapa son Centro, Centla, Cárdenas, Jalpa de Méndez y Cunduacán; los cuales se presentan en la Figura 3.2.1

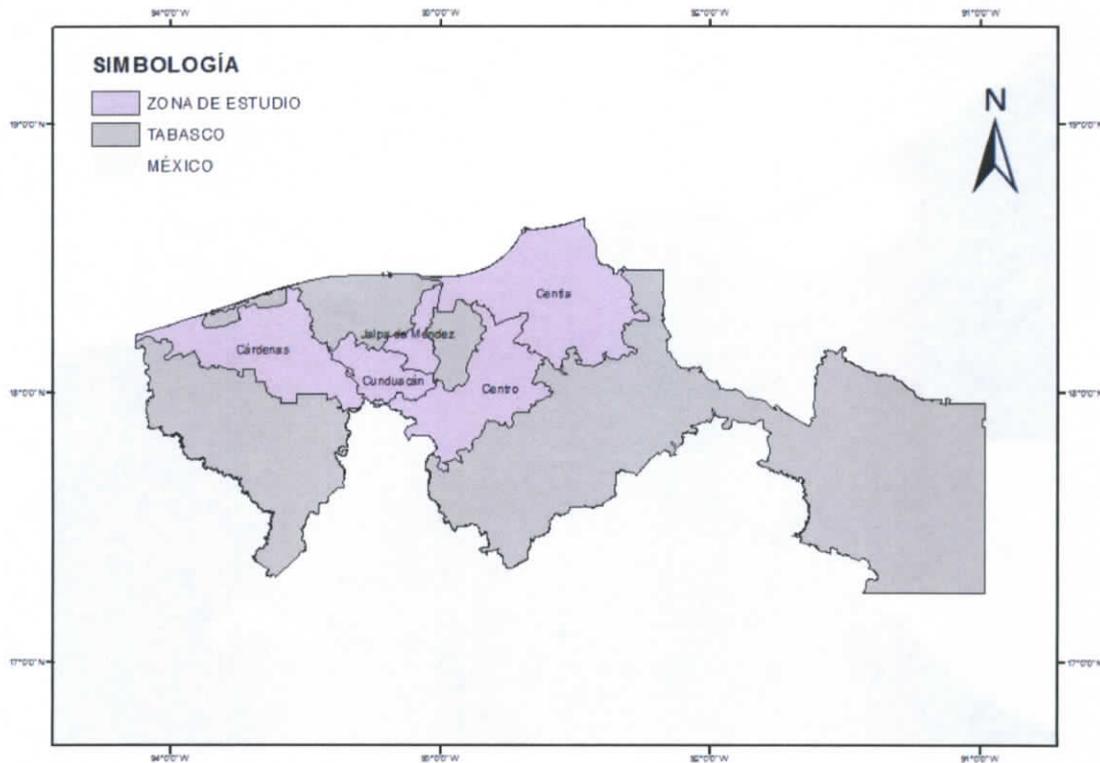


Figura 3.2.1.- Municipios estudiados en la delimitación de microcuencas en zonas urbanas. (Instituto de Ingeniería, 2014)

La información recopilada y procesada para el análisis de delimitación de microcuencas es la siguiente:

- Información Climatológica.
Se realizó un proceso de extracción, verificación de la cantidad y calidad de la información los datos de precipitación en las estaciones climatológicas que se encuentran dentro de la zona de estudio, además de las localizadas no más allá de 30 km fuera de ella¹. La información recopilada se presenta en el **anexo A.3.1 información climatológica recopilada.**
- Información Geomorfológica.

¹ (SMN, 2013)

El Instituto de Ingeniería cuenta con información LiDAR del estado de Tabasco con resolución a cada 5 metros² que se usará para obtener las características geomorfológicas de las microcuencas; sin embargo, para efectuar un análisis preliminar que permita obtener las áreas de estudio estimadas de manera eficiente, se usó el Modelo Numérico de Altitud SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Anexo A.3.2) con resolución a cada 90 metros, el cual se ha obtenido y se encuentra en procesamiento para la delimitación de microcuencas y escurrimientos.

- Información de Catastro.

La información de infraestructura de alcantarillado pluvial existente fue solicitada a los Organismos Operadores de los municipios en estudio (Anexo A.3.3).

3.2.1 Municipios estudiados en la delimitación de microcuencas en zonas urbanas

3.2.1.1 Centro

El municipio de Centro se localiza en la región de Centro y tiene como cabecera municipal a la ciudad de Villahermosa, ubicada entre los paralelos 18°20' de latitud norte y 93°15' de longitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Nacajuca y Centla; al sur con el municipio de Jalpa de Méndez y el estado de Chiapas; al este con los municipios de Centla y Macuspana; al oeste con el estado de Chiapas, el municipio de Cárdenas y el municipio de Nacajuca.

La extensión territorial del municipio es de 1,612 km², los cuales corresponden al 6.9% respecto del total del Estado. Los principales recursos hidrológicos del municipio son las aguas del río Grijalva con sus afluentes: los ríos Samaria, Carrizal y Viejo Mezcalapa.³ La población en el año 2010 era de 640,359 habitantes según el censo nacional de población y vivienda.⁴

² (INEGI, 2014)

³ (INAFED. Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2014)

⁴ (INEGI, 2010)

El 19.4% de la superficie municipal es de naturaleza acuática (llanuras de inundación, cuerpos de agua y pantanos), sin contar con las zonas bajas. Sin duda, se puede asegurar que el municipio tiene una importante vocación en actividades relacionadas con el agua.

Actualmente, la red de drenaje del municipio es obsoleta. Desde hace más de 30 años no se ha realizado inversión al respecto. Las aguas pluviales y residuales se mezclan en el drenaje indiscriminadamente y llegan a cuerpos de agua, contaminándolos. Dado que esas mismas aguas son las que se tratan para potabilizarlas, es importante invertir para resolver este problema.⁵

3.2.1.2 Centla

El municipio de Centla se localiza en la región de los ríos teniendo como cabecera municipal a la ciudad y puerto de Frontera, la que se ubica al norte del estado, entre los paralelos 18°40' de latitud, al sur 18°02' de latitud norte, al este 92°16', y 93°05' de longitud oeste.

Colinda al norte con el Golfo de México, al sur con los municipios de Macuspana y Centro, al este con el estado de Campeche y el municipio de Jonuta, al oeste con los municipios de: Centro, Nacajuca, Jalpa de Méndez, y Paraíso.

La extensión territorial del municipio es de 3,093 km², los cuales corresponden al 10.8% respecto al total del estado, ocupa el 4° lugar en la escala de extensión municipal. El suelo del municipio se beneficia con los caudalosos ríos Grijalva y Usumacinta; éste último recibe las aguas del río San Pedrito en Tres Brazos, para luego unirse al río Grijalva que desemboca en el Golfo de México por la Barra de Frontera.⁶

3.2.1.3 Cárdenas

El municipio de Cárdenas se localiza en la región de la Chontalpa teniendo como cabecera municipal a la ciudad de H. Cárdenas, la que se ubica en los paralelos 17°59'

⁵ (H. Ayuntamiento de Centro, 2013)

⁶ (INAFED. Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2014)



latitud norte y 91°32' de longitud oeste. Colinda al norte con el Golfo de México, los municipios de Paraíso y Comalcalco; al sur con el estado de Chiapas y Huimanguillo; al este con los municipios de Comalcalco, Cunduacán y el estado de Chiapas; al oeste con el municipio de Huimanguillo y el estado de Veracruz.

La extensión territorial del municipio es de 2,112 km², los cuales corresponden al 8.63% respecto al total del estado y ocupa el 5° lugar en la escala de extensión municipal. Su división territorial está conformada por: una ciudad, 2 villas, 20 pueblos, 27 rancherías, 65 ejidos, 40 colonias urbanas, 4 fraccionamientos, 6 congregaciones, 20 colonias agrícolas y ganaderas.⁷

3.2.1.4 Jalpa de Méndez

El municipio de Jalpa de Méndez se localiza en la región de la Chontalpa y tiene como cabecera municipal a la ciudad de Jalpa de Méndez, la que está ubicada al Norte 18°25', al Sur 18°04' de latitud Norte, al Este 90°00', al Oeste 93°13' de longitud Oeste. Colinda al Norte con los municipios de Paraíso y Centla; al Sur con Cunduacán y Nacajuca; al Este con Nacajuca; al Oeste con Comalcalco, Cunduacán y Paraíso.

La extensión territorial del municipio es de 472.36 km², los cuales corresponden al 1.92% respecto del total del estado, ocupando el 14° lugar con respecto a los municipios del estado.

Su división territorial está conformada por: 1 ciudad, 1 fraccionamiento, 6 pueblos, 1 villa, 22 ejidos, 34 rancherías, 4 colonias urbanas (barrios), 1 colonia Agropecuaria y 6 congregaciones, en los que se han ubicado 8 CDR que son: Ayapa, Benito Juárez 2ª sección, Galeana 2ª sección, Iquiuapa, Jalupa, Mecoacán, Nicolás Bravo y Tierra Adentro 1ª sección, en los que se desarrollan la mayoría de las actividades económicas y sociales.

⁷ Ibid.

La mayor parte de la superficie de este municipio es plana, con escasos lomeríos. Esta condición propicia el exceso de humedad. La altitud de la cabecera municipal es de 10 msnm (metros sobre el nivel del mar).

El municipio recibe las aguas del río Nacajuca, que sirve de límite natural con el municipio de Cunduacán y del río El Naranjo, limítrofe con el municipio de Nacajuca. En el Noroeste el río Cucuxchapa es límite con el municipio de Paraíso y el río Chiquistero sirve de límite con el municipio de Centla. Las lagunas más importantes son: Pomposú, El Eslabón, La Negrita, San Agustín, El Provecho, La Tinaja y El Troncón.⁸

3.2.1.5 Cunduacán

El municipio de Cunduacán se localiza en la región de la Chontalpa tabasqueña, teniendo como cabecera municipal a la ciudad de Cunduacán, ubicada entre los paralelos 18°03' de latitud norte y 93°10' de longitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Comalcalco y Jalpa de Méndez, al sur con el municipio de Centro y el estado de Chiapas, al este con los municipios de Nacajuca y Centro, al oeste con el municipio de Cárdenas.

La extensión territorial del municipio es de 623.9 km², los cuales corresponden al 2.54% respecto del total del estado, ocupando el 12° lugar en la escala de extensión municipal. Su división territorial está conformada por una ciudad, 10 poblados, 31 rancherías, 59 ejidos y 13 colonias; en el municipio se ubican 9 centros de desarrollo regional (CDR) en los que se desarrollan la mayoría de las actividades económicas y sociales, estos son: Cucuyulapa, Gregorio Méndez, Libertad, Tierra y Libertad, Tulipán, Yoloxóchitl Segunda, Piedra Segunda, Huimango Segundo y Cumuapa.⁹

3.2.2 Diagnóstico de la situación actual

De acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 la población total en el estado de Tabasco es de 2 238 603 habitantes, de ellos se reporta que el 93.8% cuentan con drenaje, sin embargo, la cobertura de la red de drenaje pluvial no está considerando

⁸ Ibid

⁹ Ibid.



como indicador en el censo; aun así fue posible determinar la existencia o no de infraestructura de drenaje dentro del municipio y corroborar su existencia y estado de operación.

El Plan Estatal de Desarrollo 2013-2018 del estado de Tabasco menciona:

“La falta de planeación en materia ambiental y los efectos de los procesos hidroclimatológicos han contribuido a la modificación drástica de las características del territorio, como son la reducción de la cobertura vegetal, que conduce a la pérdida de suelos y a la cada vez menor capacidad de infiltración, ocasionando mayores volúmenes de escurrimiento superficial e inundaciones, azolvamiento y/o erosión de las cuencas y cauces de ríos, en un proceso cíclico.”

3.2.2.1 Casos particulares

Centro

De acuerdo con la información obtenida en las cartas geoestadísticas urbanas publicadas por el INEGI¹⁰ el municipio de Centro cuenta con las siguientes corrientes y cuerpos de agua:

- Rio Carrizal
- Arroyo Chinin
- Laguna de las Ilusiones

Sin embargo existen muchas más corrientes intermitentes y perennes que serán mencionadas en el capítulo correspondiente.

En general el sistema de bordos que existe en la ciudad de Villahermosa obliga a que el sistema de alcantarillado pluvial incluya rebombeos. Las visitas de inspección realizadas corroboraron que se encuentran en las zonas bajas identificadas como salidas de microcuencas. En la figura 3.2.2 es posible observar que la localidad urbana se encuentra rodeada por bordos.

¹⁰ Ibid.

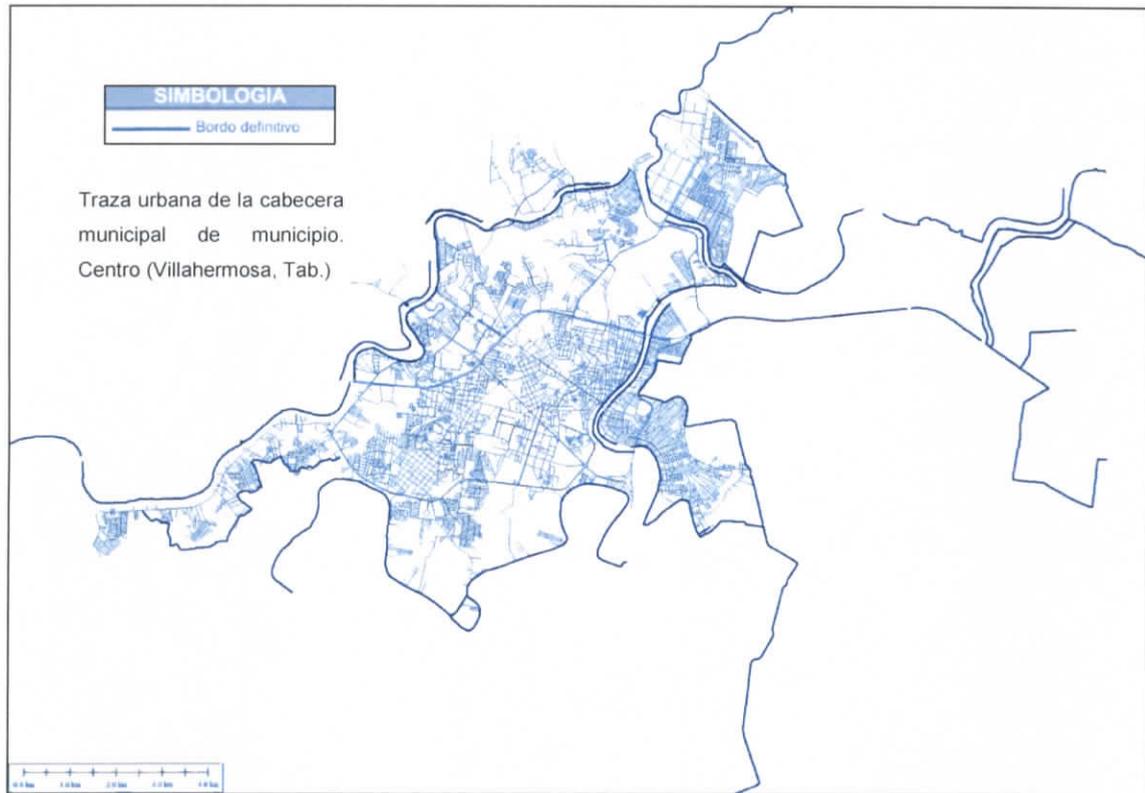


Figura 3.2.2 Localización bordos en la localidad urbana de Villahermosa. (Instituto de Ingeniería, 2014, con información de Coordinación de Protección Civil de Tabasco, 2009 y Dirección Local de Tabasco, 2014).

Centla

La cabecera municipal de Centla, Frontera, se encuentra aproximadamente a 10 kilómetros de la desembocadura del río Grijalva hacia el Golfo de México; cuya margen derecha colinda con los límites de la localidad por su parte poniente, en su parte sur, Frontera colinda con la reserva de la Biosfera Pantanos de Centla; estas condiciones explican el hecho de que la localidad se encuentre en una zona con pendientes suaves (prácticamente nulas).

3.3 Delimitación de microcuencas

El estado de Tabasco tiene una división de cuencas administrativa¹¹, conociendo los parteaguas que delimitan las subcuencas fue posible delimitar la zona de estudio de acuerdo con los datos de cabecera municipal: el polígono de cada cabecera municipal¹² y la división de cuencas administrativa. Para ubicar las salidas de cada microcuenca se localizaron las intersecciones entre el polígono de cada cabecera y las corrientes identificadas como principales por cabecera.

La identificación de subcuencas administrativas tuvo por objetivo definir a gran escala las subcuencas que corresponden a cada municipio de estudio; sin embargo el nivel de detalle de este estudio requiere una delimitación a una escala menor; por lo cual se determinaron las salidas de las microcuencas con la metodología descrita anteriormente.

Las microcuencas por municipio se muestran a continuación, los datos fueron obtenidos del modelo digital de elevación con resolución de 5 metros por pixel (LiDAR), el procesamiento completo de la información se encuentra en el Anexo A.3.2.

3.3.1.1 Caracterización hidrológica del sistema fluvial de la cuenca

La cuenca hidrológica es la unidad básica de estudio. La cuenca está delimitada por el parteaguas, que es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor elevación topográfica y la separa de las áreas vecinas. A continuación se presentan las principales características fisiográficas de la cuenca.

- ÁREA DRENADA (A)

El área drenada de una cuenca es la superficie medida en km² y delimitada en proyección horizontal por el parteaguas y tiene como punto de salida una estación de aforo o un sitio de interés.

¹¹ (INEGI, 2014)

¹² (INEGI, 2014)

- COEFICIENTE DE DESARROLLO DE LA LÍNEA DEL PARTEAGUAS (M_p)

$$m_p = 0.282 \frac{L_p}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

L_p = Longitud del parteaguas en Km

A = Área drenada de la cuenca en km^2

- PARÁMETRO DE FORMA (P_f)

Esta característica es un buen identificador de cómo será la respuesta al escurrimiento a partir de la forma de la cuenca, ya que entre mayor sea el valor de P_f mayor será el perímetro por km^2 de área que se encuentre limitando la cuenca.

$$P_f = \frac{L_p}{A}$$

Dónde:

L_p = Longitud del parteaguas en Km

A = Área drenada de la cuenca en km^2

- ANCHO MEDIO DE LA CUENCA (B_{med})

El ancho medio de la cuenca se define como el cociente del área drenada A , en Km^2 , entre la longitud L_c medida en km.

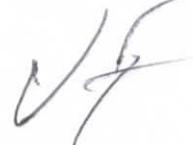
$$B_{med} = \frac{A}{L_c}$$

- PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (S_c)

La pendiente media de la cuenca se obtuvo utilizando los sistemas de información geográfica con los siguientes valores:

- LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL (l_{cp})

La longitud del principal, medida en km, es un indicador de la pendiente de la cuenca, así como del grado de drenaje. La longitud del cauce principal se mide en Km y se estima para la corriente de mayor orden de la cuenca.



- PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL (S_{cp})

La pendiente media del cauce principal constituye un factor importante en la respuesta de una cuenca ante la ocurrencia de una tormenta. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media. Una buena estimación se logra al aplicar la técnica de Taylor y Schwarz, la cual considera que el río se forma de una serie de canales con pendiente uniforme, cuyo tiempo de recorrido es igual al del río.

Si se subdivide el río en m tramos iguales de longitud x , entonces

$$S_{cp} = \left[\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_m}}} \right]^2$$

Dónde:

m número de segmentos de igual longitud, en los cuales se subdivide el tramo en estudio

Si, $i=1, \dots, m$ pendiente de cada segmento i

- TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE UNA CUENCA (t_c)

El tiempo de concentración se define como la diferencia temporal entre el inicio de la lluvia hasta el momento en que se establece el gasto de equilibrio. Es igual al tiempo de viaje de una onda que avanza desde el punto más distante de la cuenca hasta su salida. Kirpich encontró que el tiempo de concentración es una función que depende básicamente de dos variables L_{cp} y S_{cp} .

Así, la fórmula de Kirpich se expresa como:

$$t_c = 0.000325 \frac{L_{cp}^{0.77}}{S_{cp}^{0.385}}$$

Dónde:

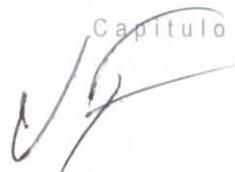
- tc tiempo de concentración en horas.
 Lcp longitud del cauce principal en metros.
 Scp pendiente del cauce principal adimensional.

3.3.2 Centro

Se ubicaron mediante el modelo digital de elevaciones las microcuencas con salidas hacia el río Carrizal, río Viejo Mezcalapa, Río Grijalva y hacia las lagunas de regulación, los puntos se verificarán en campo. La ubicación y la dirección del drenaje de las microcuencas delimitadas se observa en la Figura 3.3.1; las coordenadas de los puntos de salida de estas se encuentran en la tabla. Los mapas de delimitación de las microcuencas correspondiente a esta actividad se encuentran en el Anexo A.3.9.

Tabla 3.3.1 Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Centro.
 (Instituto de Ingeniería, 2014).

Id Mapa	Clave	Latitud	Longitud
1	VM1	17°58'0.74"	-92°58'34.59"
2	VM2	17°57'46.91"	-92°57'47.09"
3	VM 3	17°56'54.43"	-92°56'47.99"
4	VM 4	17°56'56.97"	-92°56'44.98"
5	VM 4-2	17°57'56.5"	-92°55'42.39"
6	Sie1	17°58'29.92"	-92°55'9.87"
7	Sie 2	17°58'58.09"	-92°55'18.95"
8	La En1	17°59'49.91"	-92°53'50.4"
9	PVF1	18°1'49.39"	-92°53'8.65"
10	PVF 2	18°1'44.22"	-92°53'5.27"
11	PVF 3	18°1'54.94"	-92°52'54.38"
12	Carr 1	17°57'45.58"	-93°1'16.15"
13	Carri 2	17°59'2.26"	-92°58'16.65"
14	Carri 3	17°59'29.81"	-92°58'12.32"
15	Carri 4	17°59'52.53"	-92°57'29.65"
16	Carri 5	18°1'4.54"	-92°56'43.14"
17	Carri 6	18°0'17.74"	-92°55'32.64"
18	Carri 7	18°1'9.51"	-92°54'17.22"
19	Carri lzq 1	18°1'34.67"	-92°55'46.96"



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Adicionalmente, en la tabla 3.3.2, se presentan las características fisiográficas de las microcuencas obtenidas.

**Tabla 3.3.2 Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Centro.
(Instituto de Ingeniería, 2014).**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
VM1	45.46	25.88	3.70	9.38	2.52	0.10	11.11	0.0005	10.45	1.06	2.48	1.60	470.37
VM2	15.79	4.19	3.62	23.94	2.17	0.52	4.88	0.0042	4.24	1.15	0.99	4.22	111.36
VM 3	11.43	2.68	3.78	24.11	1.97	0.73	4.06	0.0050	2.62	1.55	1.02	3.94	89.92
VM 4	14.29	4.39	3.51	19.67	1.92	0.44	4.44	0.0036	3.97	1.12	1.11	3.65	109.14
VM 4	8.19	1.28	5.62	23.09	2.04	1.59	2.37	0.0074	2.02	1.17	2.05	3.65	51.15
Sie1	7.54	1.01	2.19	21.71	2.11	2.08	1.99	0.0098	1.82	1.09	0.56	2.37	40.03
Sie 2	7.07	1.06	3.34	24.08	1.94	1.84	1.34	0.0155	1.30	1.03	0.82	5.48	24.85
PVF	22.87	6.27	1.02	6.53	2.58	0.41	6.02	0.0009	5.45	1.10	1.15	1.75	234.56
PVF1	20.20	6.19	2.47	6.16	2.29	0.37	4.89	0.0008	4.30	1.14	1.44	1.34	215.10
PVF 2	13.98	2.75	2.28	5.96	2.38	0.87	3.63	0.0010	3.25	1.12	0.85	1.30	152.54
PVF 3	16.52	5.04	2.36	5.40	2.08	0.41	6.51	0.0005	5.86	1.11	0.86	1.32	322.83
Carr 1	24.27	7.43	5.86	9.42	2.51	0.34	6.87	0.0005	5.74	1.20	1.29	1.93	323.42
Carri 2	8.79	1.45	5.31	15.94	2.06	1.41	1.74	0.0061	1.64	1.06	0.89	2.73	43.35
Carri 3	8.25	1.30	5.18	13.23	2.04	1.57	2.71	0.0030	2.49	1.09	0.52	2.88	80.72
Carri 4	8.05	1.23	4.87	18.26	2.05	1.67	2.36	0.0057	2.21	1.07	0.56	3.81	56.52
Carri 5	13.88	2.74	4.13	9.07	2.36	0.86	3.62	0.0014	3.47	1.04	0.79	2.91	136.01
Carri 6	27.44	10.06	5.18	28.67	2.44	0.24	5.31	0.0044	6.32	0.84	1.59	3.55	116.10
Carri 7	20.53	6.07	3.06	23.36	2.35	0.39	4.84	0.0042	4.67	1.04	1.30	2.28	110.39
Carri lzq 1	7.95	1.48	3.86	6.56	1.85	1.25	3.38	0.0008	3.18	1.06	0.46	1.94	158.46
Nombre	(1)												
Perímetro [km]	(2)												
Área [km ²]	(3)												
Mín. Elev. [m]	(4)												
Máx. Elev. [m]	(5)												
Coef desarrollo línea perimetral parteaguas [1]	(6)												
Parámetro de forma Pf [km ⁻¹]	(7)												
Longitud del cauce principal [km]	(8)												
Pendiente del cauce principal [1]	(9)												
Long Cuenca Lc [km]	(10)												
Coefficiente de Sinuosidad Ks [km]	(11)												
Ancho Bmed [km]	(12)												
Pendiente media de la cuenca [km]	(13)												
Tiempo de Concentración t _c [min]	(14)												

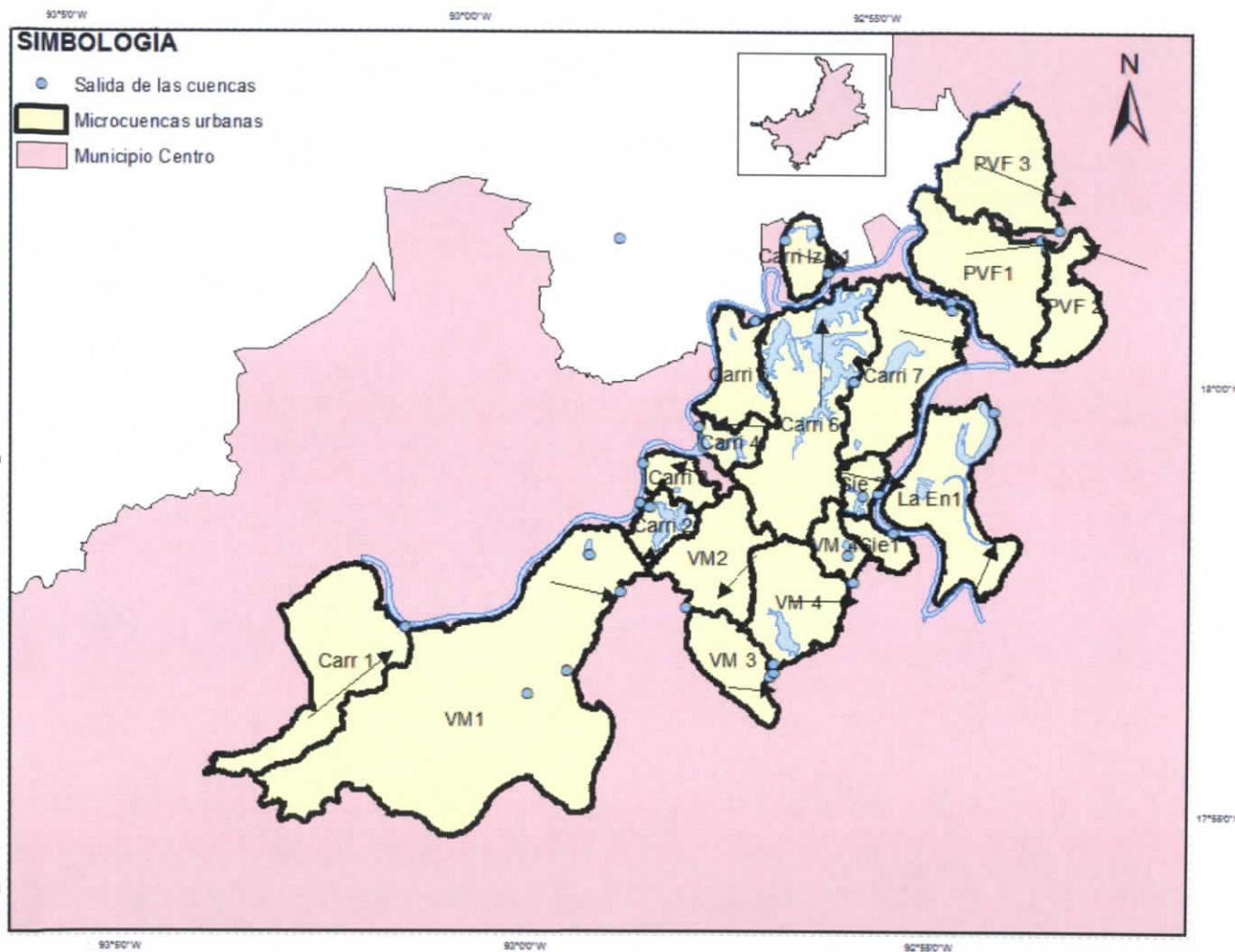


Figura 3.3.1 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Centro. (Instituto de Ingeniería, 2014).

3.3.3 Centla

Se ubicaron 6 microcuencas dentro de la cabecera municipal (Figura 3.3.2), las cuales vierten hacia el río Bajo Grijalva y hacia la zona pantanosa, la ubicación se muestra en la tabla 3.3.3

Adicionalmente, en la tabla 3.3.4, se presentan las características fisiográficas de las microcuencas obtenidas.

**Tabla 3.3.3 Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Centla.
(Instituto de Ingeniería, 2014).**

Clave	Latitud	Longitud
Cen 1	18°32'53.62"	-92°38'46.87"
Cen 2	18°32'53.98"	-92°38'45.54"
Cen 3	18°31'48.87"	-92°38'9.85"
Cen 4	18°31'48.12"	-92°38'11.96"
Cen 5	18°32'3.94"	-92°39'18.45"
Cen 6	18°31'18.06"	-92°38'22.08"

**Tabla 3.3.4 Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Centla.
(Instituto de Ingeniería, 2014).**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Cen1	7.84	1.10	-0.20	1.03	2.11	1.92	2.14	0.0006	1.92	1.12	0.57	1.36	126.50
Cen 2	10.23	0.89	-0.05	2.40	3.06	3.45	2.41	0.0010	2.02	1.19	0.44	1.52	111.10
Cen 3	5.18	0.49	0.15	2.52	2.09	4.31	1.61	0.0015	1.30	1.24	0.37	1.60	70.67
Cen 4	10.28	1.09	-0.07	2.28	2.78	2.56	2.03	0.0012	1.82	1.12	0.60	1.56	92.84
Cen 5	6.43	0.75	0.09	2.40	2.09	2.78	1.63	0.0014	1.38	1.18	2.05	1.31	72.26
Cen 6	7.22	0.76	0.07	1.20	2.33	3.07	1.63	0.0007	1.42	1.15	0.53	1.59	95.60

GA

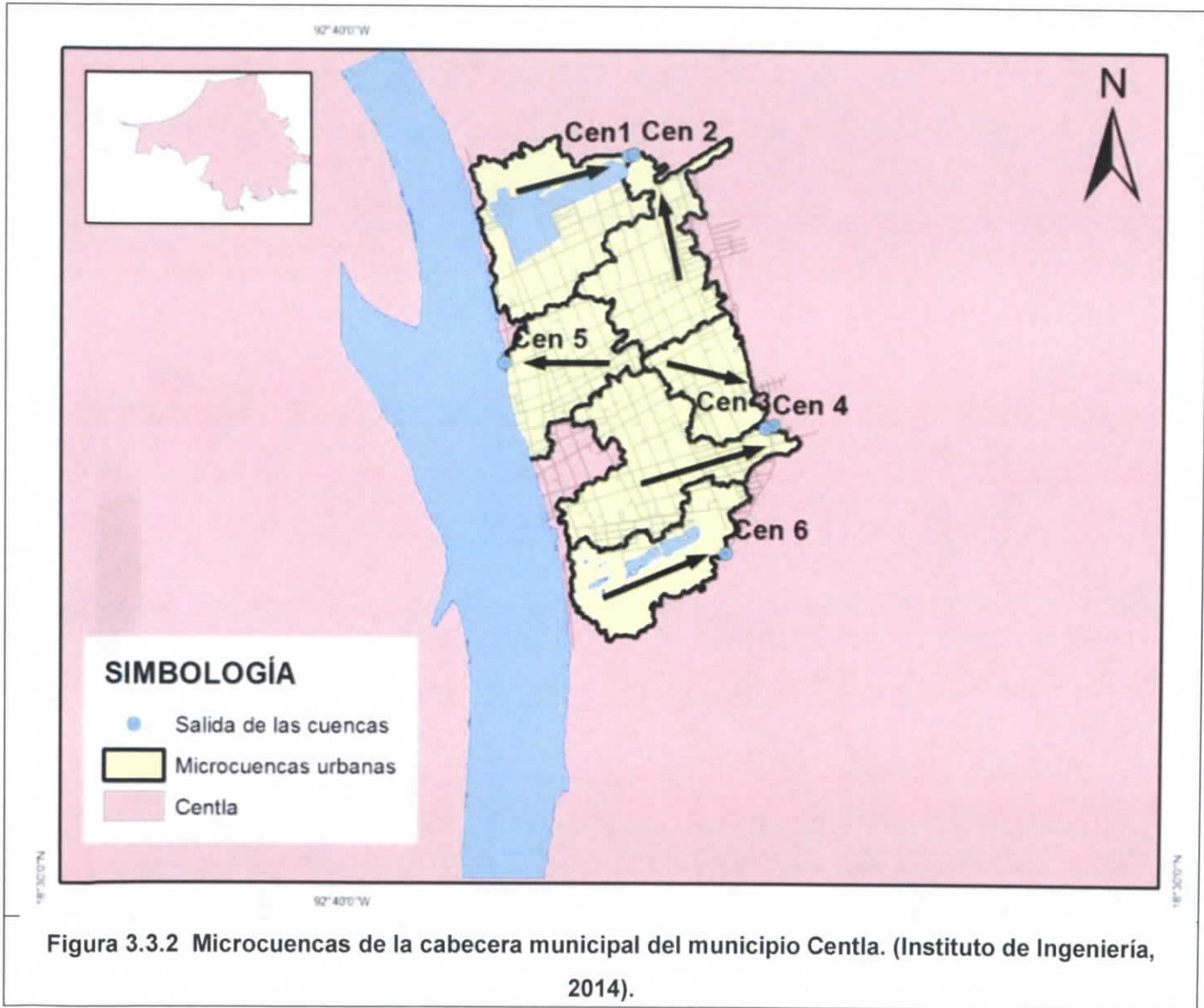


Figura 3.3.2 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Centla. (Instituto de Ingeniería, 2014).

3.3.4 Jalpa de Méndez

Se identificaron 12 subcuencas dentro de la cabecera municipal (Figura 3.3.3), en su mayoría desembocan en el río Nacajuca, su ubicación se muestra en la tabla 3.3.6 .

Adicionalmente, en la tabla 3.3.6, se presentan las características fisiográficas de las microcuencas obtenidas.

Tabla 3.3.5 Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Jalpa de Méndez. (Instituto de Ingeniería, 2014).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Jal	7.85	1.08	3.72	6.26	2.13	1.97	1.66	0.0015	1.56	1.07	0.69	1.13	71.57
Jal 2	4.60	0.36	3.62	6.60	2.16	5.96	1.69	0.0018	1.52	1.11	0.24	1.29	68.43
Jal 3	5.64	0.56	2.19	5.70	2.12	3.77	1.74	0.0020	1.49	1.16	0.38	1.65	66.31
Jal 4	4.68	0.48	2.63	6.84	1.91	4.02	1.52	0.0028	1.40	1.08	0.34	1.46	53.06
Jal 5	4.67	0.50	2.77	6.10	1.86	3.70	1.87	0.0018	1.38	1.36	2.05	1.28	73.80
Jal 6	6.03	0.73	0.94	6.06	2.00	2.75	2.01	0.0025	1.61	1.25	0.45	1.55	67.93
Jal 7	7.61	0.60	2.82	6.05	2.78	4.66	3.03	0.0011	2.56	1.19	0.23	2.27	130.58
Jal 8	4.57	0.53	2.49	5.52	1.77	3.35	1.16	0.0026	1.04	1.12	0.51	1.40	44.10
Jal 9	4.66	0.60	3.27	5.98	1.70	2.84	1.38	0.0020	1.15	1.20	0.52	1.15	56.32
Jal 10	8.25	0.90	2.53	6.41	2.46	2.74	2.03	0.0019	1.76	1.15	0.51	1.70	76.42
Jal 11	4.63	0.38	1.09	5.62	2.12	5.59	1.52	0.0030	1.26	1.21	2.05	1.30	51.67
Jal 12	5.80	0.39	1.64	4.92	2.62	6.71	1.68	0.0020	1.50	1.12	0.26	1.32	65.41
Nombre													(1)
Perímetro [km]													(2)
Área [km ²]													(3)
Mín. Elev. [m]													(4)
Máx. Elev. [m]													(5)
Coef desarrollo línea perimetral parteaguas [1]													(6)
Parámetro de forma Pf [km ⁻¹]													(7)
Longitud del cauce principal [km]													(8)
Pendiente del cauce principal [1]													(9)
Long Cuenca Lc [km]													(10)
Coefficiente de Sinuosidad Ks [km]													(11)
Ancho Bmed [km]													(12)
Pendiente media de la cuenca [km]													(13)
Tiempo de Concentración t _c [min]													(14)



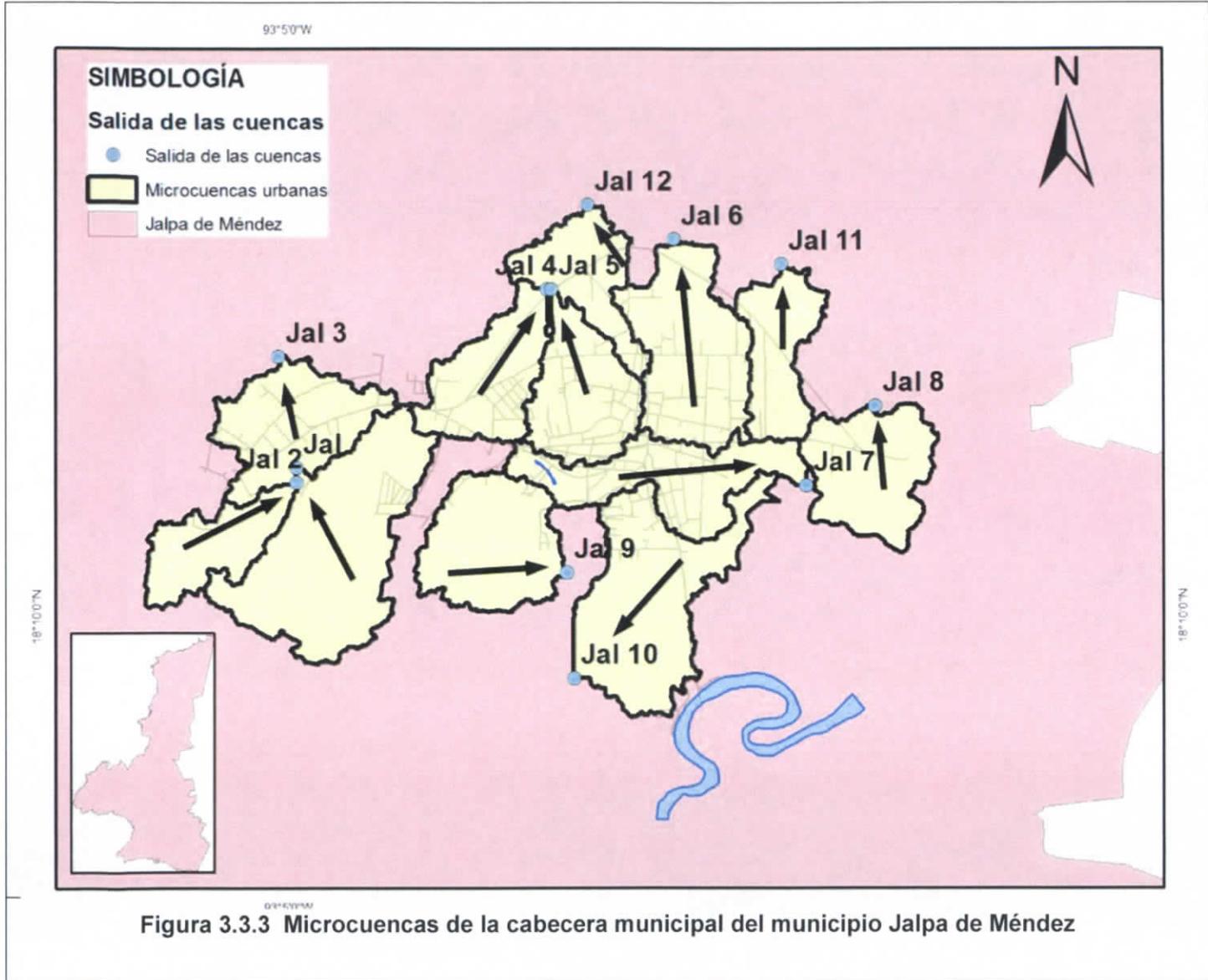


Tabla 3.3.6 Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Jalpa de Méndez

Clave	Latitud	Longitud
Jal 1	18°10'29.52"	-93°4'58.42"
Jal 2	18°10'26.67"	-93°4'58.29"
Jal 3	18°10'51.76"	-93°5'2.17"
Jal 4	18°11'5.12"	-93°4'5.56"
Jal 5	18°11'5.1"	-93°4'4.67"
Jal 6	18°11'15.06"	-93°3'38.75"
Jal 7	18°10'26.1"	-93°3'10.93"
Jal 8	18°10'41.86"	-93°2'56.34"
Jal 9	18°10'8.78"	-93°4'1.45"
Jal 10	18°9'47.84"	-93°3'59.91"
Jal 11	18°11'9.99"	-93°3'16.15"
Jal 12	18°11'21.94"	-93°3'56.97"

3.3.5 Cárdenas

Se identificaron 6 subcuencas dentro de la cabecera municipal (Figura 3.3.4), su ubicación se muestra en la tabla 3.3.7.

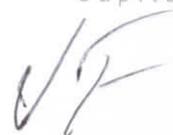
Tabla 3.3.7 Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Cárdenas. (Instituto de Ingeniería, 2014).

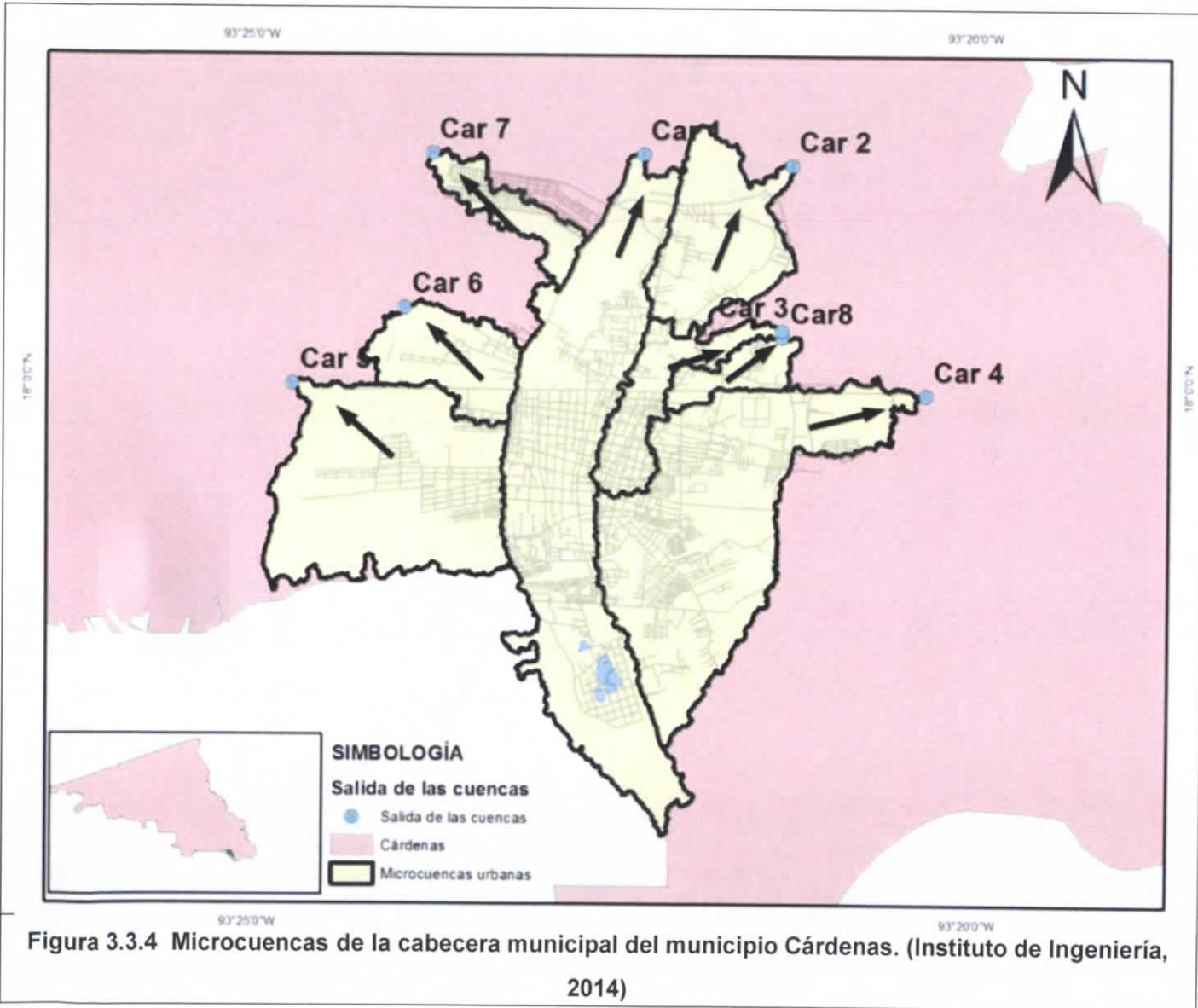
Clave	Latitud	Longitud
Car 1	18°1'29.98"	-93°22'17.2"
Car 2	18°1'26"	-93°21'16"
Car 3	18°0'20.69"	-93°21'19.78"
Car 4	17°59'55.79"	-93°20'19.5"
Car 5	17°59'59.02"	-93°24'42.5"
Car 6	18°0'29.07"	-93°23'56.25"
Car 7	18°1'30.13"	-93°23'44.81"
Car 8	18°0'18.26"	-93°21'19.48"



**Tabla 3.3.8 Características fisiográficas de las microcuencas del municipio
 Cárdenas. (Instituto de Ingeniería, 2014).**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Car 1	33.07	8.67	16.36	19.54	3.17	0.37	2.32	0.0014	8.94	0.26	0.97	2.43	96.28
Car 2	12.41	2.71	15.51	22.57	2.12	0.78	10.55	0.0007	2.75	3.84	0.99	1.94	407.66
Car 3	14.38	1.52	15.12	20.34	3.28	2.15	3.32	0.0016	3.72	0.89	0.41	1.80	120.35
Car 4	24.14	7.49	15.57	21.27	2.49	0.33	4.45	0.0013	6.71	0.66	1.12	1.67	163.15
Car 5	17.78	5.90	14.00	21.97	2.06	0.35	8.65	0.0009	3.92	2.21	1.51	1.54	309.02
Car 6	9.49	1.78	14.72	21.25	2.00	1.12	4.78	0.0014	2.91	1.64	0.61	1.82	168.24
Car 7	10.37	0.96	14.78	20.80	2.98	3.09	3.49	0.0017	2.53	1.38	0.38	1.63	120.79
Car8	7.29	0.77	13.68	19.73	2.34	3.05	3.30	0.0018	1.82	1.82	0.42	1.82	112.91
Nombre	(1)												
Perímetro [km]	(2)												
Área [km ²]	(3)												
Mín. Elev. [m]	(4)												
Máx. Elev. [m]	(5)												
Coef desarrollo línea perimetral parteaguas [1]	(6)												
Parámetro de forma Pf [km ⁻¹]	(7)												
Longitud del cauce principal [km]	(8)												
Pendiente del cauce principal [1]	(9)												
Long Cuenca Lc [km]	(10)												
Coefficiente de Sinuosidad Ks [km]	(11)												
Ancho Bmed [km]	(12)												
Pendiente media de la cuenca [km]	(13)												
Tiempo de Concentración t _c [min]	(14)												





3.3.6 Cunduacán

Se identificaron 8 subcuencas dentro de la cabecera municipal (Figura 3.3.5), en su mayoría desembocan en el río Samaria, su ubicación se muestra en la Tabla 3.3.10.

Tabla 3.3.9 Características fisiográficas de las microcuencas del municipio Cunduacán. (Instituto de Ingeniería, 2014).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Cun 1	4.86	0.34	8.57	11.18	2.36	6.99	1.54	0.0017	1.42	1.08	0.24	1.93	64.64
Cun 2	4.37	0.29	8.66	11.06	2.30	8.02	1.20	0.0020	1.07	1.12	0.27	1.52	50.08
Cun 3	4.93	0.33	8.63	11.17	2.42	7.37	1.82	0.0014	1.63	1.11	0.20	1.59	79.24
Cun 4	10.02	1.79	6.26	10.01	2.11	1.18	2.81	0.0013	2.39	1.18	0.75	1.28	112.78
Cun 5	7.09	0.72	5.80	10.57	2.35	3.24	2.44	0.0020	2.00	1.22	0.36	1.27	87.40
Cun 7	4.82	0.49	6.15	10.09	1.94	3.95	1.77	0.0022	1.48	1.20	0.33	1.45	65.01
Cun 8	5.94	0.38	6.11	10.12	2.73	7.27	1.68	0.0024	1.38	1.22	0.27	1.57	60.54
Cun 9	17.99	4.38	7.15	12.49	2.42	0.55	6.19	0.0009	5.08	1.22	0.86	1.34	245.17
Nombre	(1)												
Perímetro [km]	(2)												
Área [km ²]	(3)												
Min. Elev. [m]	(4)												
Máx. Elev. [m]	(5)												
Coef desarrollo línea perimetral parteaguas [1]	(6)												
Parámetro de forma Pf [km ⁻¹]	(7)												
Longitud del cauce principal [km]	(8)												
Pendiente del cauce principal [1]	(9)												
Long Cuenca Lc [km]	(10)												
Coefficiente de Sinuosidad Ks [km]	(11)												
Ancho Bmed [km]	(12)												
Pendiente media de la cuenca [km]	(13)												
Tiempo de Concentración t _c [min]	(14)												



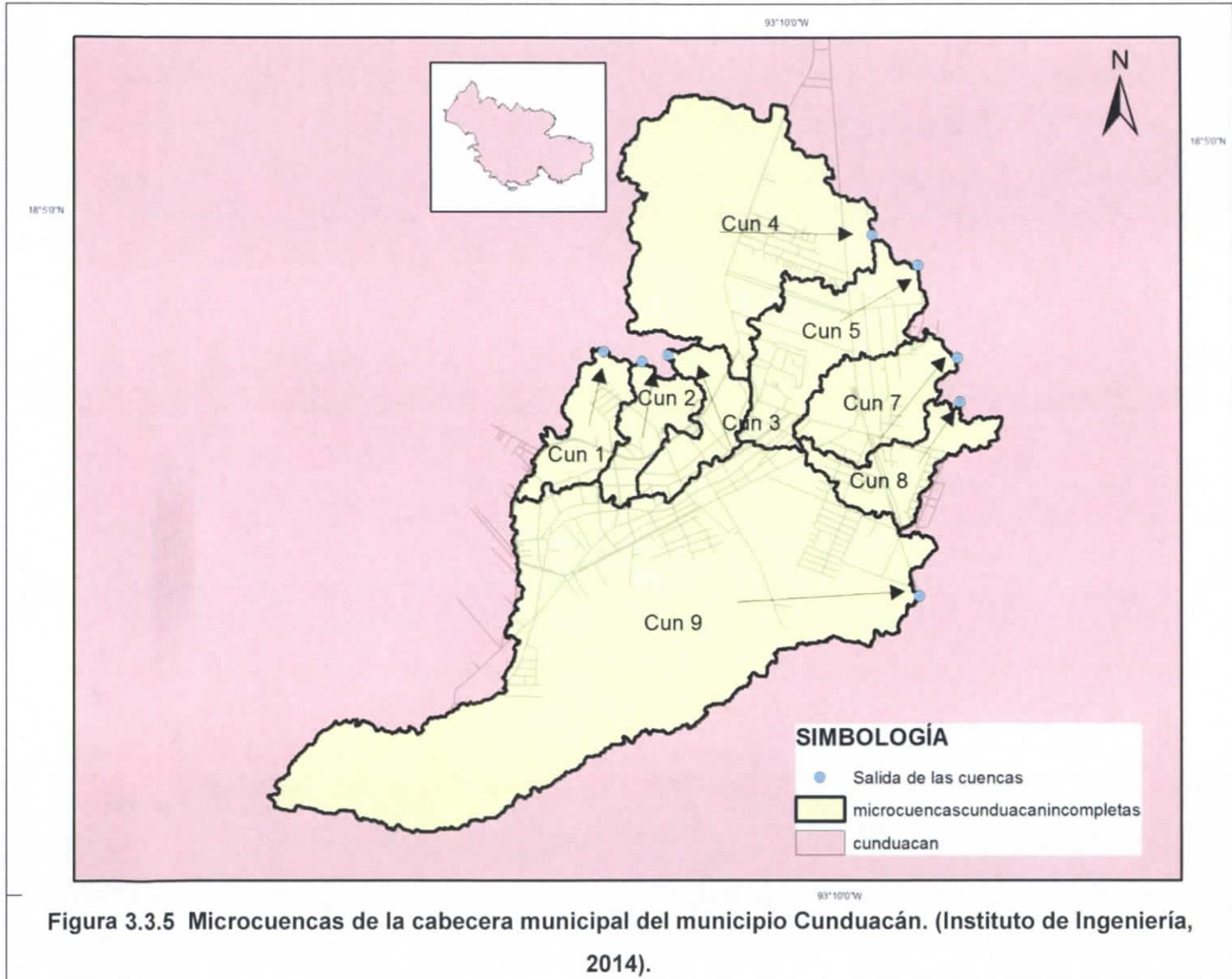


Figura 3.3.5 Microcuencas de la cabecera municipal del municipio Cunduacán. (Instituto de Ingeniería, 2014).

Tabla 3.3.10 Ubicación del punto de salida de las cuencas del municipio Cunduacán. (Instituto de Ingeniería, 2014).

Clave	Latitud	Longitud
Cun 1	18°4'24.53"	-93°10'43.9"
Cun 2	18°4'22.06"	-93°10'35.69"
Cun 3	18°4'23.04"	-93°10'30.06"
Cun 4	18°4'44.86"	-93°9'44.68"
Cun 5	18°4'38.1"	-93°9'35.26"
Cun 7	18°4'18.71"	-93°9'27.95"
Cun 8	18°4'9.67"	-93°9'27.94"
Cun 9	18°3'30.69"	-93°9'39.38"

3.4 Definición de corrientes naturales permanentes y perennes.

Los mapas correspondientes a esta actividad se encuentran en el Anexo A.3.4.

3.4.1 Centro

Los cuerpos geométricos enlistados en la tabla 3.4.1 corresponden a los corrientes y cuerpos de agua existentes en el municipio Centro.

Tabla 3.4.1 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Villahermosa. (INEGI, 2014).

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HL_3272	Corriente de agua	Río Carrizal	Perenne
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Arroyo Chinin	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HL_3272	Corriente de agua	Ninguno	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Ninguno	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Ninguno	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Ninguno	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Ninguno	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Laguna de las Ilusiones	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Laguna de las Ilusiones	Perenne
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Carrizal	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río la Pigua	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Carrizal	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Carrizal	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Grijalva	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río la Pigua	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Carrizal	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Carrizal	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna Encantada	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	La Pólvara	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna de las Ilusiones	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna de las Ilusiones	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Grijalva	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Usumacinta	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Zona pantanosa	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne

La ubicación de las corrientes y cuerpos de agua enlistados previamente se muestran en la figura 3.4.1.

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

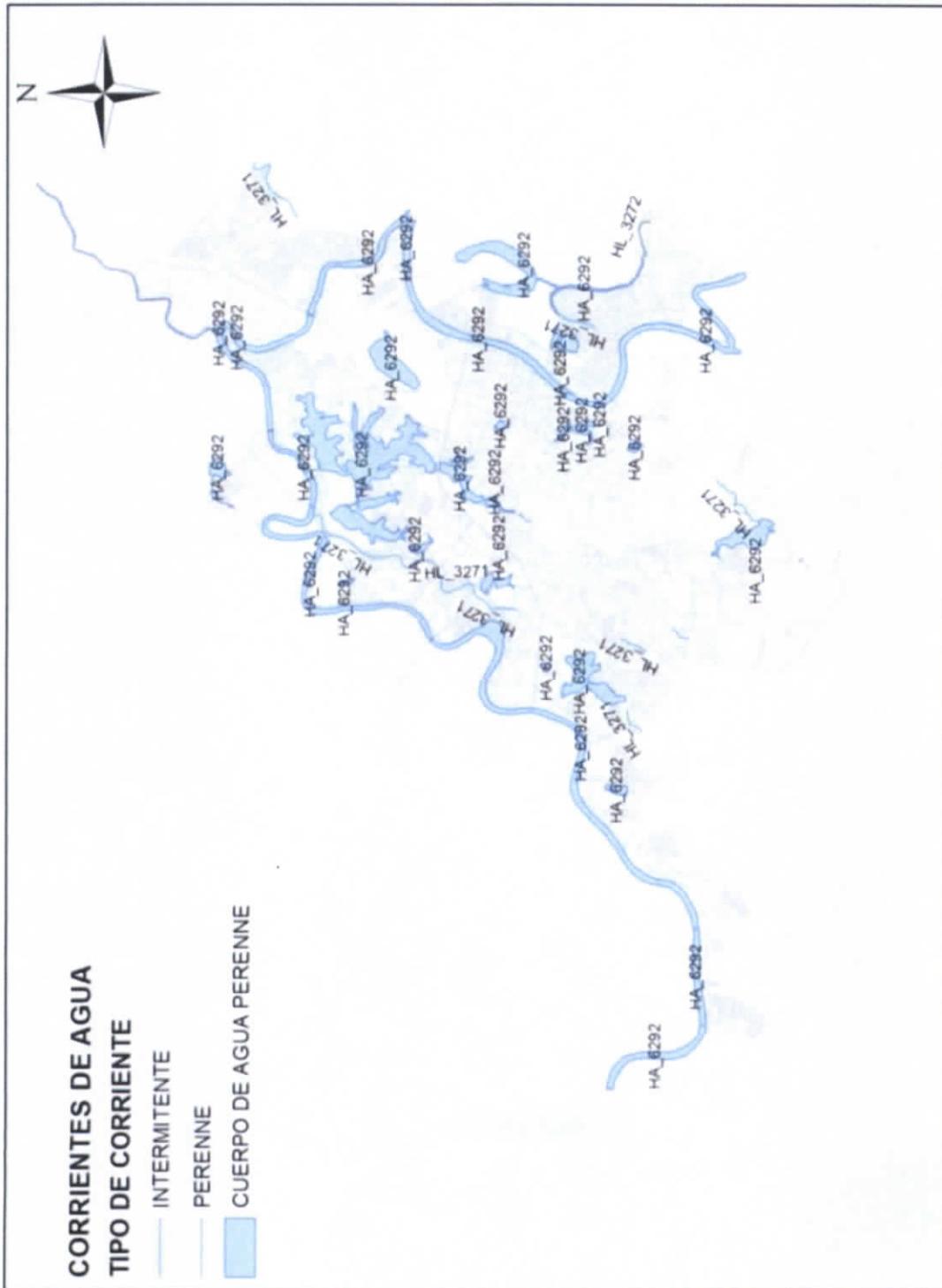


Figura 3.4.1 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Villahermosa. (INEGI, 2014).

JF

3.4.2 Centla

Los cuerpos geométricos enlistados en la tabla 3.4.2 corresponden a los corrientes y cuerpos de agua existentes en la cabecera municipal del municipio de Centla.

Tabla 3.4.2 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Frontera. (INEGI, 2014).

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Laguna de las Ilusiones	Perenne

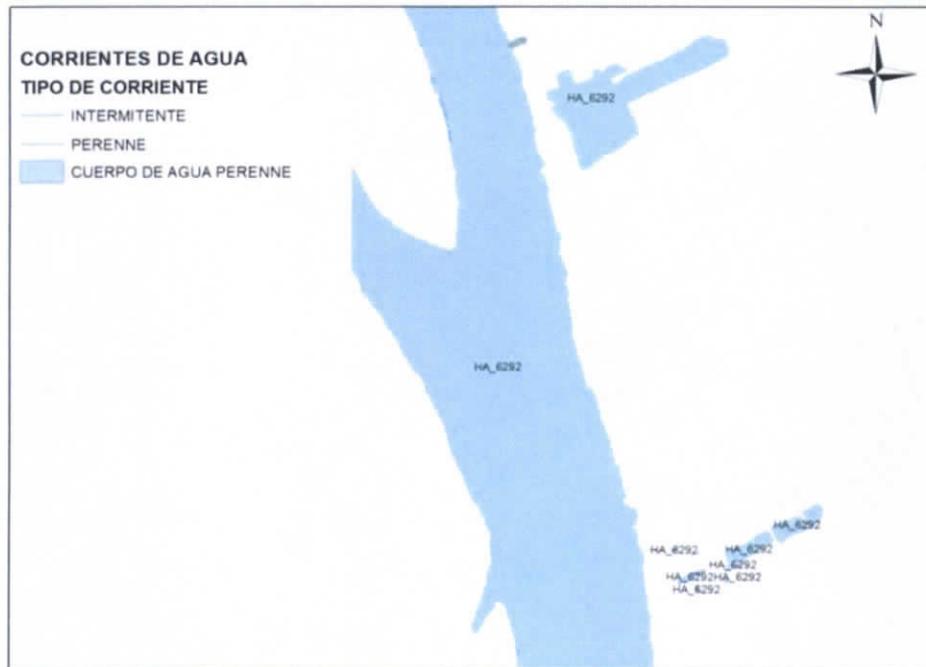


Figura 3.4.2 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Frontera (Cabecera municipal del municipio de Centla). (INEGI, 2014).

3.4.3 Jalpa de Méndez

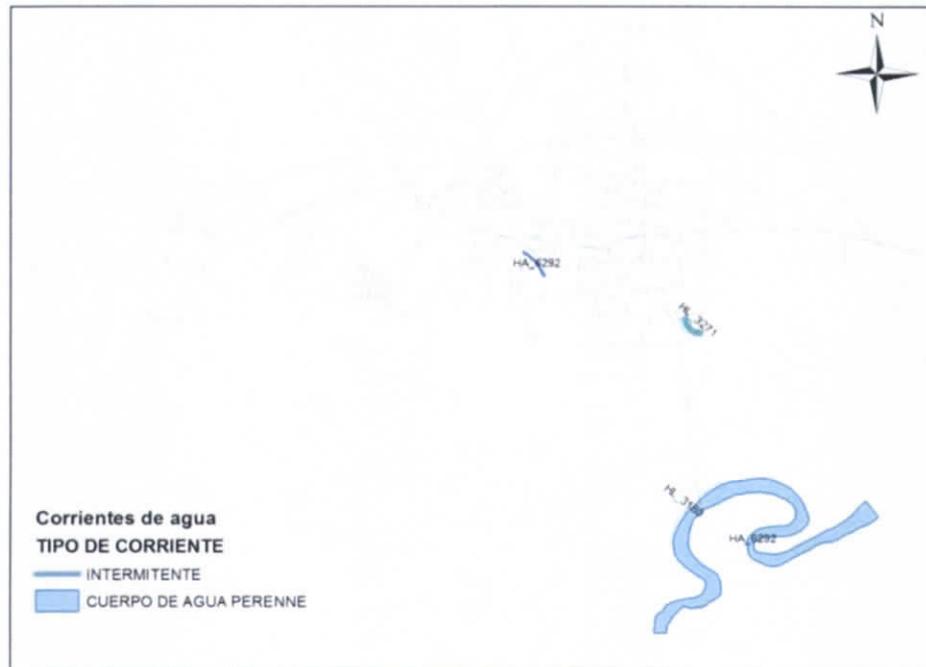


Figura 3.4.3 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Jalpa. (INEGI, 2014).

Tabla 3.4.3 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Jalpa. (INEGI, 2014).

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica
HL_3271	Corriente de agua	Sin nombre	Intermitente
HA_6292	Cuerpo de agua	Río Nacajuca	Perenne
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne

3.4.4 Cárdenas

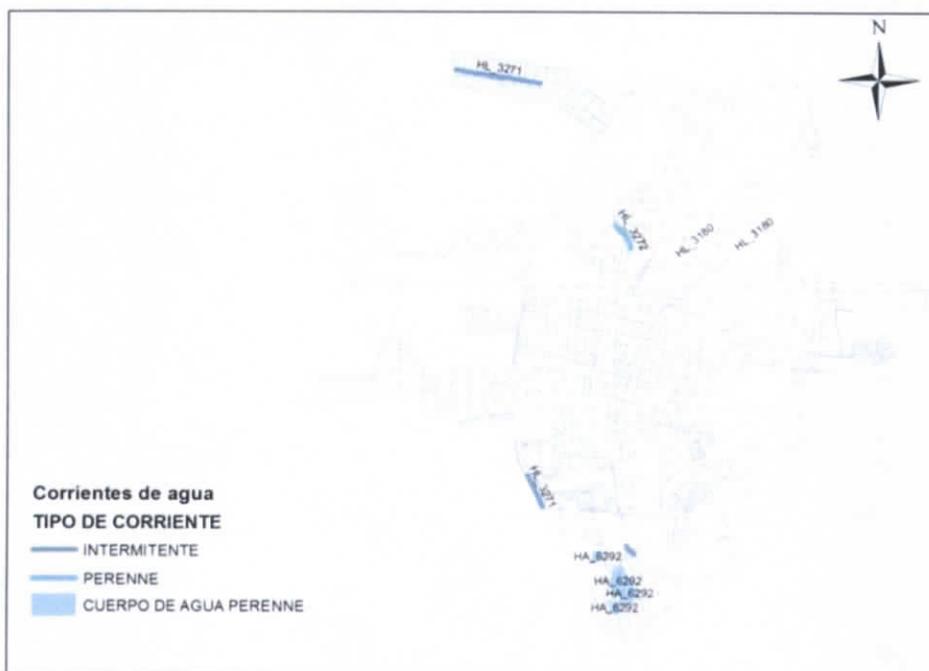


Figura 3.4.4 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cárdenas. (INEGI, 2014).

Tabla 3.4.4 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cárdenas. (INEGI, 2014).

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HA_6292	Cuerpo de agua	Ninguno	Perenne
HL_3272	Corriente de agua	Ninguno	Perenne
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica

3.4.5 Cunduacán

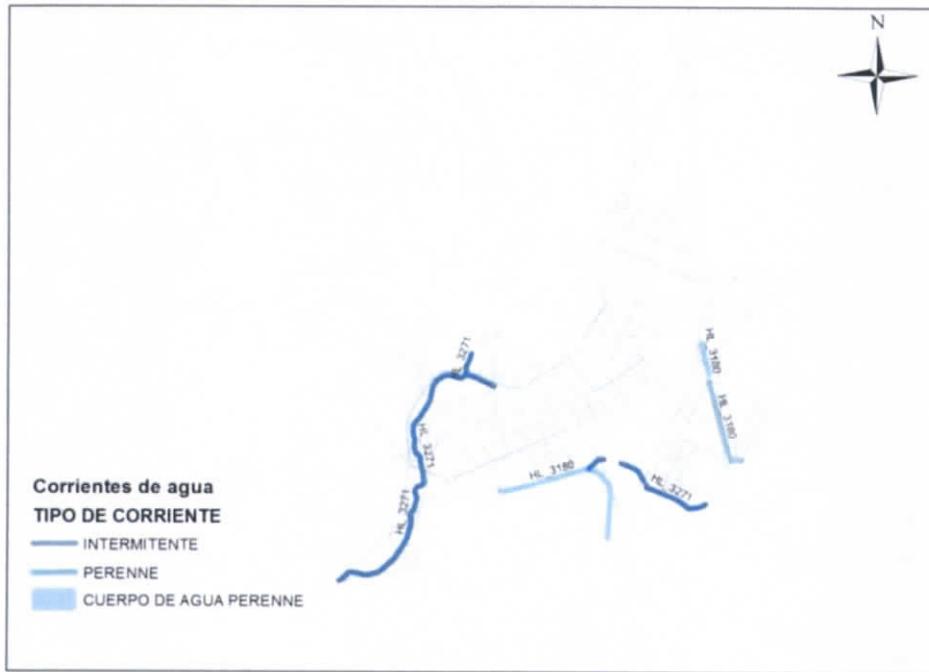


Figura 3.4.5 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cunduacán. (INEGI, 2014).

Tabla 3.4.5 Corrientes y cuerpos de agua en la localidad de Cunduacán. (INEGI, 2014).

Código INEGI	Característica geográfica	Nombre	Tipo
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica
HL_3180	Canal	Ninguno	No aplica
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Dren	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente
HL_3271	Corriente de agua	Ninguno	Intermitente

3.5 Actualización del estudio hidrológico

En la siguiente sección se presenta el análisis hidrológico de precipitación que complementa los análisis de escurrimientos realizado previamente en el Estado (CONAGUA, 2012). Este análisis sirve como base para estimar las intensidades probables para cada periodo de retorno; Los municipios de estudio comprendidos dentro de esta etapa son: Centro, Centla, Jalpa de Méndez, Cárdenas y Cunduacán.

3.5.1 Análisis de frecuencias

Se realizó el análisis de frecuencias para los 5 municipios del estado de Tabasco contemplados en este estudio.

Se usó la información de las estaciones climatológicas que se encuentran en el **anexo A.3.1**

3.5.1.1 Información climatológica recopilada

Se presentó en algunos casos la ausencia de datos; por lo que se utilizó una técnica de interpolación geoestadística para completarlos; esto es: se tenían que completar con datos de estaciones cercanas. Se analizaron las estaciones cercanas que preferiblemente no estuvieran a más de 30 km a la redonda de la estación que se pretendía completar.

Para comprobar si la estación cercana presentaba el mismo comportamiento estadístico y por lo tanto servía para completar los datos faltantes se realizó una análisis de homogeneidad que utiliza como parámetro de consistencia el coeficiente de variación el cual se obtiene según la ecuación [3-1]

$$C.V. = \frac{\sigma}{\mu} \quad [3-1]$$

Dónde:

C.V.: Coeficiente de variación.

σ : Desviación estándar de la muestra.

μ : Media aritmética de la muestra.

Si las estaciones complementarias demostraban un coeficiente de variación dentro de un umbral definido al de la estación a complementar se consideraron aceptables y homogéneas.

Después de demostrar la homogeneidad geoestadística de las estaciones estas se utilizaron para completar los datos faltantes.

Para poder completar los datos faltantes de las estaciones climatológicas, lo primero fue obtener las distancias entre las estaciones complementarias a la estación a complementar, lo que sirvió para obtener un promedio ponderado de la precipitación tomando en cuenta la distancia en la que se encontraban las estaciones complementarias a la central.

El procedimiento que se siguió para obtener las ponderaciones fue el obtener el cuadrado del inverso de la distancia de las estaciones complementarias. Se analizaron los datos de precipitación de las estaciones climatológicas complementarias en donde faltaban los datos de la estación a complementar.

Cuando se obtuvieron los datos completos de la estación central (al menos 30 años) de los cinco municipios, se obtuvo las lluvias máximas por año y a estas se les hizo el análisis de frecuencias.

Se realizaron diferentes análisis de estacionalidad en las zonas de estudio; estos indican si los valores máximos presentan patrones de incremento o decremento en las variaciones anuales partiendo de la hipótesis de que en los procesos estadísticos a realizar se presenta homogeneidad en la muestra de estudio, por otro lado se realizaron pruebas de independencia que hacen comparaciones entre los valores de la misma población para demostrar que no hay una relación entre los valores, la independencia demuestra que la dispersión de los valores no puede ser ajustada a ninguna función.

Para las pruebas de homogeneidad se utilizaron tres métodos; El método de Helmert, el método de T de Student y el método de Cramer.

Al comprobar la homogeneidad y la independencia de la muestra se obtuvieron las funciones de distribución de la muestra, estación por estación para poder inferir los periodos de retorno a 2,5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años.

3.5.1.2 Centro.

Para el municipio de Centro se utilizó como estación base la "27054 – Villahermosa (DGE)" la cual se encuentra en este momento operando. Sin embargo la estación no cuenta con datos completos, como se puede observar en la Tabla 3.5.1 Datos climatológicos estación Centro. De los 37 años solo algunos cuentan con datos diarios completos, por lo que fue necesario complementarlos con datos de estaciones aledañas que contaran con datos en las fechas necesarias.

Tabla 3.5.1 Datos climatológicos estación Centro

Año	Número de datos diarios						
1948	92	1966	365	1984	365	2002	363
1949	365	1967	365	1985	365	2003	362
1950	365	1968	366	1986	365	2004	326
1951	365	1969	334	1987	365	2005	353
1952	365	1970	365	1988	365	2006	361
1953	365	1971	364	1989	365	2007	304
1954	365	1972	365	1990	365	2008	366
1955	365	1973	365	1991	365	2009	365
1956	366	1974	365	1992	366	2010	365
1957	365	1975	365	1993	365	2011	365
1958	365	1976	334	1994	365	2012	335
1959	365	1977	365	1995	365		
1960	366	1978	365	1996	365		
1961	365	1979	335	1997	365		
1962	365	1980	365	1998	243		
1963	364	1981	365	1999			
1964	365	1982	304	2000	364		
1965	365	1983	365	2001	335		



Para poder hacer un análisis de frecuencias es recomendable tener al menos 30 años de datos completos consecutivos por lo que para complementar los datos se utilizaron estaciones cercanas a no más de 30 km a la redonda de la estación a complementar¹³ (en casos donde no existan registros en fechas específicas se extraerá información de la estación más cercana que no necesariamente se encuentra a menos de 30 km). En la figura 3.5.1 se observa la estación central “Centro” y el área aceptable para la obtención de datos complementarios (las estaciones marcadas en rojo se encuentran suspendidas, por lo que no serán usadas en el análisis).

Se analizaron todas las estaciones dentro del área de influencia de “Centro”, sin embargo, no todas eran necesarias para complementar la estación ya que solo es necesario las más representativas, estas son las que cuentan con datos en los años que la estación central no cuenta con un registro completo y, para que representen el fenómeno de la precipitación en la región, tienen que encontrarse lo más cerca a lo estación central. En la tabla 3.5.2 se observa todas las estaciones dentro del área de influencia que se utilizaron para complementar los datos (estaciones con marcador amarillo de la figura 3.5.1).

¹³ (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

