



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental

Facultad de Filosofía y Letras

División de Estudios de Posgrado

Posgrado en Geografía

*Calidad del agua y contexto social como base para la
planeación y gestión en cuencas periurbanas. El caso
del río Chiquito, Morelia, Michoacán.*

T E S I S

Que para obtener el grado académico de

MAESTRO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

HÉCTOR ULISES SÁNCHEZ SEPÚLVEDA

DIRECTORES DE TESIS

DR. MANUEL MENDOZA CANTÚ DR. ANTONIO VIEYRA MEDRANO

MORELIA, MICHOACÁN

DICIEMBRE, 2011

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE MAPAS	16
ABREVIATURAS	17
INTRODUCCIÓN	19
Planteamiento del problema y justificación	19
Objetivos	21
<i>Objetivo general</i>	21
<i>Objetivos particulares</i>	22
Estado del arte para el estudio de caso	22
MARCO CONCEPTUAL	24
La Geografía Ambiental como un enfoque para el estudio de la relación sociedad-naturaleza	24
<i>La pertinencia de la Geografía en el estudio del ambiente y en las Ciencias Ambientales</i>	24
<i>La Geografía Ambiental</i>	27
La cuenca hidrográfica y los recursos hídricos	29
<i>La cuenca hidrográfica</i>	29
<i>Entre los conceptos hidráulico, hídrico, hidrológico e hidrográfico</i>	30
<i>El agua como un recurso</i>	32
La calidad del agua	33
La gestión del agua y el manejo de cuencas	41
<i>Entre los conceptos de gestión del agua y manejo de cuencas</i>	43
<i>La gestión en cuencas</i>	45
<i>El manejo de cuencas como el componente pragmático y operativo de la gestión en cuencas</i>	47
La urbanización y las periferias urbanas	52
<i>Los procesos de urbanización hacia la periferia</i>	52
<i>La periferia urbana y el proceso de periurbanización</i>	53

<i>La periurbanización como un proceso que reproduce la segregación social</i>	55
<i>Periurbanización e impacto en el ambiente</i>	57
La gestión en cuencas periurbanas: una propuesta metodológica integradora para el estudio y el manejo ambiental	58
<i>La cuenca periurbana</i>	58
<i>Enfoques para la creación de un marco de gestión en cuencas periurbanas</i>	60
<i>El gobierno local como agente elemental para la gestión de una cuenca periurbana</i>	62
METODOLOGÍA GENERAL	65
AGUA Y URBANIZACIÓN: CONTEXTO DE LA CUENCA DEL RÍO CHIQUITO	66
El agua y su crisis mundial	66
El auge urbano en América Latina y el Caribe y sus consecuencias ambientales	69
Los procesos de urbanización en México	70
La gestión del agua en América Latina y el Caribe: el caso de México	72
Morelia y la cuenca del río Chiquito: contexto histórico, importancia y problemática	77
<i>La época prehispánica y la Conquista española</i>	77
<i>La fundación de Valladolid y el abasto de agua</i>	78
<i>Los conflictos por el aprovechamiento del agua a finales del siglo XIX y principios del XX</i>	79
<i>Las haciendas en la cuenca del río Chiquito</i>	81
<i>Condiciones ambientales de la cuenca del río Chiquito a principios del siglo XX</i>	82
<i>El agua en el siglo XX</i>	84
<i>Llega el siglo XXI</i>	86
ÁREA DE ESTUDIO	89
Ubicación	89
Caracterización biofísica	91
<i>Clima</i>	91
<i>Atributos hidrológicos</i>	92
<i>Formas del relieve</i>	94
<i>Composición litológica</i>	95
<i>Suelos</i>	96
<i>Cubierta vegetal</i>	97

Caracterización demográfica y socioeconómica	98
<i>Demografía y localidades</i>	98
<i>Ejidos</i>	100
<i>Atributos económicos</i>	101
<i>Salud</i>	103
<i>Educación y alfabetismo</i>	104
<i>Vivienda</i>	106
<i>Migración</i>	111
<i>Marginación</i>	112
DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN HIDROLÓGICA	114
Materiales y métodos	114
<i>Delimitación espacial (elección de puntos de muestreo)</i>	114
<i>Temporalidad (años hidrológico y campañas)</i>	117
<i>Parámetros evaluados de calidad del agua</i>	117
<i>Equipos y técnicas utilizadas</i>	118
<i>Índice de calidad del agua (ICA)</i>	129
<i>Análisis estadísticos</i>	134
Resultados y análisis	135
<i>Zona de cabecera de la cuenca</i>	135
<i>Zona de tránsito de la cuenca</i>	141
<i>Zona de emisión de la cuenca</i>	171
<i>Gasto</i>	186
<i>Análisis de componentes principales (ACP) y análisis de agrupamiento -o de clusters- (AC)</i>	188
Discusión y conclusiones	208
PERIURBANIZACIÓN Y AMBIENTE DESDE UNA PERSPECTIVA SOCIAL	213
Metodología	213
Resultados y análisis	215
<i>Información general</i>	215
<i>Contexto laboral y relaciones funcionales con la ciudad de Morelia</i>	218
<i>Migración y economía familiar</i>	225
<i>Agua</i>	229
<i>Ambiente</i>	233
<i>Periurbanización</i>	245

Discusión y conclusiones	255
DISCUSIÓN GENERAL	261
CONCLUSIÓN GENERAL	264
RECOMENDACIONES	266
FUENTES CONSULTADAS	282
Referencias bibliográficas	268
Documentos de archivo	281
Páginas web	281
Software utilizado	281
ANEXOS	282
Anexo I. Formato de encuesta aplicada en JM, SMM y SJT	282
Anexo II. Formato para el levantamiento en campo de datos hidrológicos	286

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Definición de calidad y contaminación del agua.....	34
Cuadro 2. Parámetros físicos de la calidad del agua que fueron evaluados en el presente estudio.....	36
Cuadro 3. Parámetros químicos de la calidad del agua que fueron evaluados en el presente estudio.....	37
Cuadro 4. Parámetros microbiológicos de la calidad del agua que fueron evaluados en el presente estudio.....	40
Cuadro 5. Diferentes vertientes y etapas que pueden tomar la gestión en cuencas de acuerdo a los objetivos deseados.....	46
Cuadro 6. Fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Morelia.....	86
Cuadro 7. Número de habitantes para las localidades de la cuenca del río chiquito.....	99
Cuadro 8. Sectores económicos de la población ocupada en la cuenca del río chiquito para el año 2000.....	101
Cuadro 9. Ingresos mensuales de la población ocupada en el año 2000.....	102
Cuadro 10. Población desocupada en la cuenca del río chiquito para el año 2010.....	103
Cuadro 11. Población sin derechohabencia a servicio de salud 2000, 2005 y 2010.....	104
Cuadro 12. Escuelas de educación pública en la cuenca del río chiquito.....	105
Cuadro 13. Educación y alfabetismo.....	106
Cuadro 14. Número de viviendas habitadas y de hogares en la cuenca del río chiquito para los años 2000, 2005 y 2010.....	107
Cuadro 15. Número de viviendas en la cuenca del río chiquito para el 2010.....	108
Cuadro 16. Características de las viviendas habitadas en la cuenca del río chiquito para el 2000, 2005 y 2010.....	110
Cuadro 17. Población de 5 años y más de la cuenca del río chiquito en octubre del año 2000.....	111
Cuadro 18. Datos generales sobre los puntos de muestreo.....	115
Cuadro 19. Parámetros de la calidad del agua evaluados.....	118
Cuadro 20. Intervalos de calidad del agua para la confección del ICA.....	133
Cuadro 21. Criterios generales de calidad del agua asociados a diversos usos.....	134
Cuadro 22. Resumen de los datos obtenidos para cada parámetro de calidad del agua en todos los puntos de muestreo.....	179
Cuadro 23. ICA _{FQ} e ICA _{E. coli} para todos los puntos de muestreo.....	181
Cuadro 24. ICAs para cada campaña de muestreo en cada punto (ICA _{c1} , ICA _{c2} , ICA _{c3} e ICA _{c4}).....	183
Cuadro 25. ICA _{c2-E. coli} e ICA _{c4-E. coli} para todos los puntos en las dos campañas en que se realizaron análisis microbiológicos.....	183
Cuadro 26. Compatibilidad de usos de acuerdo a los criterios generales de calidad del agua para cada punto de muestreo en la cuenca del río Chiquito.....	185
Cuadro 27. Gasto en l/s para todos los puntos en las cuatro campañas de muestreo.....	187
Cuadro 28. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para la primera campaña de muestreo.....	188
Cuadro 29. Eigenvalores para la primera campaña de muestreo.....	188
Cuadro 30. Eigenvectores para la primera campaña de muestreo.....	189
Cuadro 31. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para la segunda campaña de muestreo.....	191
Cuadro 32. Eigenvalores para la segunda campaña de muestreo.....	191
Cuadro 33. Eigenvectores para la segunda campaña de muestreo.....	192
Cuadro 34. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para la segunda campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	194
Cuadro 35. Eigenvalores para la segunda campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	194

Cuadro 36. Eigenvectores para la segunda campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	195
Cuadro 37. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para la tercera campaña de muestreo.....	197
Cuadro 38. Eigenvalores para la tercera campaña de muestreo.	197
Cuadro 39. Eigenvectores para la tercera campaña de muestreo.....	198
Cuadro 40. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para la cuarta campaña de muestreo.....	200
Cuadro 41. Eigenvalores para la cuarta campaña de muestreo.....	200
Cuadro 42. Eigenvectores para la cuarta campaña de muestreo.....	201
Cuadro 43. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para la cuarta campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).	203
Cuadro 44. Eigenvalores para la cuarta campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	203
Cuadro 45. Eigenvectores para la cuarta campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	204
Cuadro 46. Matriz de correlación de los parámetros de calidad del agua para los valores promedio de las cuatro campañas de muestreo (incluye parámetros microbiológicos)..	206
Cuadro 47. Eigenvalores para los valores promedio de las cuatro campañas de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).	206
Cuadro 48. Eigenvectores para los valores promedio de las cuatro campañas de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).	207
Cuadro 49. Edad de los encuestados (incluyendo los que son jefes de familia) para JM, SMM y SJT.	215
Cuadro 50. Edad de los jefes de familia para JM, SMM y SJT.	215
Cuadro 51. Material de construcción para la vivienda encuestada para JM, SMM y SJT..	216
Cuadro 52. Tipo de desarrollo urbano por vivienda encuestada para JM, SMM y SJT.	217
Cuadro 53. Empleo del jefe de familia para JM, SMM y SJT.	219
Cuadro 54. Lugar de trabajo del jefe de familia para JM, SMM, SJT.	220
Cuadro 55. Tipo de traslado al trabajo del jefe de familia para JM, SMM, SJT.....	222
Cuadro 56. Tiempo invertido en el traslado hacia el trabajo en Morelia o de vuelta a la localidad para JM, SMM y SJT.....	223
Cuadro 57. Tiempo total invertido al día en traslados para quien trabaja en Morelia para JM, SMM y SJT.....	224
Cuadro 58. Gasto en el traslado a la semana para quien trabaja en Morelia para JM, SMM y SJT.	225
Cuadro 59. Procedencia del jefe de familia para JM, SMM y SJT.	225
Cuadro 60. Jefes de familia que emigraron y regresaron para JM, SMM, SJT.	226
Cuadro 61. Lugar al que emigró y del cual regresó el jefe de familia para JM, SMM, SJT.	227
Cuadro 62. Familiares originarios de la localidad que hayan emigrado.	228
Cuadro 63. Agua residuales y su tratamiento en la cuenca del río Chiquito.	229
Cuadro 64. Toma de agua por vivienda encuestada para JM, SMM, SJT.	230
Cuadro 65. ¿Considera suficiente la cantidad de agua que recibe?	231
Cuadro 66. ¿Bebe el agua sin purificarla?	231
Cuadro 67. ¿Dejó de consumir el agua por haberse enfermado?	232
Cuadro 68. ¿Considera que el agua es de buena calidad para uso doméstico?.....	233
Cuadro 69. Problema ambiental considerado como el más grave en la localidad para JM, SMM y SJT.	235
Cuadro 70. Principales causas de los problemas ambientales expuestas por los encuestados de la localidad de JM.	236
Cuadro 71. Principales perjuicios de los problemas ambientales expuestos por los encuestados de la localidad de JM.	237
Cuadro 72. Principales causas de los problemas ambientales expuestas por los encuestados de la localidad de SMM.	238

Cuadro 73. Principales perjuicios de los problemas ambientales expuestos por los encuestados de la localidad de SMM.	239
Cuadro 74. Principales causas de los problemas ambientales expuestas por los encuestados de la localidad de SJT.	240
Cuadro 75. Principales perjuicios de los problemas ambientales expuestos por los encuestados de la localidad de SJT.	240
Cuadro 76. Problema ambiental considerado como el más antiguo para JM, SMM y SJT.	241
Cuadro 77. Problema ambiental considerado como el más reciente para JM, SMM y SJT.	242
Cuadro 78. Calificación otorgada al estado de la naturaleza cercana a la localidad para JM, SMM y SJT.	243
Cuadro 79. En cuanto a la lluvia, los encuestados de JM, SMM y SJT consideran que recientemente.....	243
Cuadro 80. Tiempo atrás en que se percataron del cambio en el régimen de lluvias.	244
Cuadro 81. Causas consideradas por los encuestados para el cambio en el régimen de lluvias.	245
Cuadro 82. Perjuicios por los nuevos fraccionamientos para JM, SMM, SJT.	247
Cuadro 83. Algunas respuestas de los encuestados para los perjuicios de los nuevos fraccionamientos.	247
Cuadro 84. Beneficios por los nuevos fraccionamientos para JM, SMM y SJT.	248
Cuadro 85. Algunas respuestas de los encuestados para los beneficios por los nuevos fraccionamientos.	249
Cuadro 86. Efectos perjudiciales de los nuevos fraccionamientos para JM, SMM, SJT.	249
Cuadro 87. Efectos benéficos de los nuevos fraccionamientos para JM, SMM, SJT.	250
Cuadro 88. Perjuicios de los nuevos centros comerciales para JM, SMM y SJT.	251
Cuadro 89. Algunas respuestas de los encuestados para los perjuicios por los nuevos centros comerciales.	252
Cuadro 90. Beneficios por los nuevos centros comerciales para JM, SMM y SJT.	253
Cuadro 91. Algunas respuestas de los encuestados para los beneficios por los nuevos centros comerciales.	253
Cuadro 92. Efectos perjudiciales de los nuevos centros comerciales para JM, SMM, SJT.	254
Cuadro 93. Efectos benéficos de los nuevos centros comerciales para JM, SMM, SJT.	254

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las bacterias que pueden encontrarse presentes en el agua, orientada al grupo de coliformes.	41
Figura 2. Ubicación del manejo de cuencas dentro de la tercera etapa o fase operativa de la gestión en cuencas.	47
Figura 3. Las tres etapas generales reconocidas dentro un proceso de gestión en cuencas. Cada una a su vez posee diversos procedimientos específicos.....	51
Figura 4. Metodología general.....	65
Figura 5. Porcentajes de agua salada y agua dulce existentes en la Tierra y cantidad de agua dulce accesible (realmente disponible para uso doméstico, agrícola e industrial).	67
Figura 6. Climograma para la estación de Jesús del Monte (1936-2003).	92
Figura 7. Toma de parámetros físicos y químicos en campo.....	119
Figura 8. Estimación del Q por el método de área-velocidad.....	121
Figura 9. Estimación del Q por el método de relación volumen-tiempo.	122
Figura 10. Determinación de los SST por medio de filtrado.	123
Figura 11. Medición de la Tb en un turbidímetro.....	124
Figura 12. Determinación de la DBO ₅	125
Figura 13. Determinación de la DT por el método de titulación con EDTA.	125
Figura 14. Determinación de la concentración de los nutrientes (NO ₃ ⁻ -N, NH ₃ -N y PO ₄ ³⁻) con un espectrofotómetro.....	126
Figura 15. Análisis microbiológicos.....	128
Figura 16. ICA por campaña de <i>La Rosa</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	136
Figura 17. Manantial <i>La Rosa</i>	136
Figura 18. ICA por campaña de <i>La Pitahaya</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	138
Figura 19. Manantial <i>La Pitahaya</i>	138
Figura 20. ICA por campaña de <i>Torrecillas</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$)....	139
Figura 21. ICA por campaña de <i>Agua Zarca</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$)..	141
Figura 22. Corriente tributaria perenne <i>Agua Zarca</i>	141
Figura 23. ICA por campaña de <i>Agua Escondida</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	143
Figura 24. Corriente tributaria perenne <i>Agua Escondida</i>	143
Figura 25. ICA por campaña de <i>La Cruz</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	145
Figura 26. Corriente tributaria perenne <i>La Cruz</i>	146
Figura 27. ICA por campaña de <i>SJT</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	148
Figura 28. Corriente tributaria perenne <i>SJT</i>	148
Figura 29. ICA por campaña de <i>SMM</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	150
Figura 30. Corriente principal (perenne) <i>SMM</i>	150
Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la planta tratadora de San Miguel del Monte.....	151
Figura 32. ICA por campaña de <i>Planta de tratamiento SMM</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	152
Figura 33. <i>Planta de tratamiento SMM</i>	152
Figura 34. ICA por campaña de <i>JM</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	154
Figura 35. Corriente tributaria perenne <i>JM</i>	154
Figura 36. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la planta tratadora de la localidad de Jesús del Monte.	155
Figura 37. ICA por campaña de <i>Planta de tratamiento JM</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	156
Figura 38. <i>Planta de tratamiento JM</i>	157
Figura 39. ICA por campaña de <i>Manantial Río Bello</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	159
Figura 40. <i>Manantial Río Bello</i>	159

Figura 41. ICA por campaña de <i>RB</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	161
Figura 42. Corriente tributaria perenne <i>RB</i>	161
Figura 43. ICA por campaña de <i>Carretera JM</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	163
Figura 44. Corriente principal (perenne) <i>Carretera JM</i>	164
Figura 45. Corriente principal (perenne) <i>Unión: Carretera JM-RB</i>	165
Figura 46. ICA por campaña de <i>Los filtros RB</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	167
Figura 47. Corriente principal (perenne) <i>Los filtros RB</i>	168
Figura 48. ICA por campaña de <i>Los filtros SJT</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	169
Figura 49. Corriente tributaria intermitente <i>Los filtros SJT</i>	170
Figura 50. Corriente principal (perenne) <i>Unión: RB-SJT</i>	171
Figura 51. ICA por campaña de <i>Club Campestre</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	173
Figura 52. Corriente principal (perenne) <i>Club Campestre</i>	174
Figura 53. ICA por campaña de <i>García Obeso</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	176
Figura 54. Corriente principal (perenne) <i>Club Campestre</i>	176
Figura 55. ICA por campaña de <i>Av. Michoacán</i> con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).	178
Figura 56. Corriente principal (perenne) <i>Av. Michoacán</i>	178
Figura 57. ICA _{FQ} e ICA _{E. coli} para todos los puntos de muestreo con un intervalo de error de 5% ($\pm 2.5\%$).....	181
Figura 58. ICA _{FQ} y del ICA _{E. coli} para la corriente principal del río Chiquito.	182
Figura 59. ICA _{ci} para las cuatro campañas en la corriente principal del río Chiquito.	182
Figura 60. Estimación de los gastos para la cuenca del río Chiquito.	187
Figura 61. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para la primera campaña de muestreo.	189
Figura 62. Dendograma del AC para la primera campaña de muestreo.....	190
Figura 63. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para la segunda campaña de muestreo.....	192
Figura 64. Dendograma del AC para la segunda campaña de muestreo.	193
Figura 65. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para la segunda campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	195
Figura 66. Dendograma del AC para la segunda campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).	196
Figura 67. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para la tercera campaña de muestreo.	198
Figura 68. Dendograma del AC para la tercera campaña de muestreo.....	199
Figura 69. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para la cuarta campaña de muestreo.....	201
Figura 70. Dendograma del AC para la cuarta campaña de muestreo.	202
Figura 71. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para la cuarta campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	204
Figura 72. Dendograma del AC para la cuarta campaña de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).....	205
Figura 73. Gráfico derivado del ACP donde se muestra del primer y segundo componente (eje x y eje y respectivamente) para los valores promedio de las cuatro campañas de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).	207
Figura 74. Dendograma del AC para los valores promedio de las cuatro campañas de muestreo (incluye parámetros microbiológicos).	208

Figura 75. Localidades de la cuenca del río Chiquito en las que se levantaron encuestas (JM, SMM y SJT).....	213
Figura 76. Edad de los encuestados (incluyendo los que son jefes de familia) para JM, SMM y SJT.....	215
Figura 77. Edad de los jefes de familia para JM, SMM y SJT.....	216
Figura 78. Material de construcción para la vivienda encuestada para JM, SMM y SJT....	216
Figura 79. Tipo de desarrollo urbano por vivienda encuestada para JM, SMM y SJT.....	217
Figura 80. Fraccionamientos privados de reciente construcción en la localidad de JM...	218
Figura 81. Empleo del jefe de familia para JM, SMM y SJT.....	219
Figura 82. Lugar de trabajo del jefe de familia para JM, SMM y SJT.....	220
Figura 83. Tipo de traslado al trabajo del jefe de familia para JM, SMM y SJT.....	222
Figura 84. Tiempo invertido por el jefe de familia en el traslado hacia el trabajo en Morelia o de vuelta a la localidad para JM, SMM y SJT.....	223
Figura 85. Tiempo total invertido por el jefe de familia al día en traslados para quien trabaja en Morelia para JM, SMM y SJT.....	224
Figura 86. Gasto en el traslado a la semana para quien trabaja en Morelia para JM, SMM y SJT.....	225
Figura 87. Procedencia del jefe de familia para JM, SMM y SJT.....	226
Figura 88. Jefes de familia que emigraron y regresaron para JM, SMM y SJT.....	226
Figura 89. Lugar al que emigró y del cual regresó el jefe de familia para JM, SMM y SJT.....	227
Figura 90. Familiares originarios de la localidad que emigraron de JM, SMM y SJT.....	228
Figura 91. Lugar al que emigraron los familiares originarios de la localidad para JM, SMM y SJT.....	228
Figura 92. Toma de agua por vivienda encuestada para JM, SMM y SJT.....	230
Figura 93. ¿Considera suficiente la cantidad de agua que recibe?.....	231
Figura 94. ¿Bebe el agua sin purificarla?.....	232
Figura 95. ¿Dejó de consumir el agua por haberse enfermado?.....	232
Figura 96. ¿Considera que el agua es de buena calidad para uso doméstico?.....	233
Figura 97. Problema ambiental considerado como el más grave en la localidad para JM, SMM y SJT.....	235
Figura 98. Problema ambiental considerado como el más antiguo para JM, SMM y SJT.....	241
Figura 99. Problema ambiental considerado como el más reciente para JM, SMM y SJT.....	242
Figura 100. Calificación otorgada al estado de la naturaleza cercana a la localidad para JM, SMM y SJT.....	243
Figura 101. En cuanto a la lluvia, los encuestados de JM, SMM y SJT consideran que recientemente.....	244
Figura 102. Tiempo atrás en que se percataron del cambio en el régimen de lluvias para JM, SMM y SJT.....	244
Figura 103. Causas consideradas por los encuestados para el cambio de régimen de lluvias en JM, SMM y SJT.....	245
Figura 104. Perjuicios por los nuevos fraccionamientos para JM, SMM y SJT.....	247
Figura 105. Beneficios por los nuevos fraccionamientos para JM, SMM y SJT.....	249
Figura 106. Efectos perjudiciales de los nuevos fraccionamientos para JM, SMM y SJT.....	250
Figura 107. Efectos benéficos de los nuevos fraccionamientos para JM, SMM y SJT.....	250
Figura 108. Perjuicios de los nuevos centros comerciales para JM, SMM y SJT.....	251
Figura 109. Beneficios por los nuevos centros comerciales para JM, SMM y SJT.....	253
Figura 110. Efectos perjudiciales de los nuevos centros comerciales para JM, SMM y SJT.....	254
Figura 111. Efectos benéficos de los nuevos centros comerciales para JM, SMM y SJT.....	254

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Área de estudio.....	90
Mapa 2. La cuenca del río Chiquito en el municipio de Morelia	91
Mapa 3. Red hidrográfica de la cuenca del río Chiquito	93
Mapa 4. Zonas funcionales de la cuenca del río Chiquito.	94
Mapa 5. Formas del relieve de la cuenca del río Chiquito	94
Mapa 6. Mapa hipsométrico de la cuenca del río Chiquito	95
Mapa 7. Composición litológica de la cuenca del río Chiquito	96
Mapa 8. Suelos de la cuenca del río Chiquito	97
Mapa 9. Cubierta del suelo para el año 2003 en la cuenca del río Chiquito	98
Mapa 10. Localidades y principales vías de comunicación en la cuenca del río Chiquito	100
Mapa 11. Grado de marginación para el año 2005 en las principales localidades del municipio de Morelia y de la cuenca del río Chiquito	113
Mapa 12. Puntos de muestreo en la cuenca del río Chiquito	116
Mapa 13. ICA en cada punto para las cuatro campañas de muestreo (2010-2011).....	184

ABREVIATURAS

AC	Análisis de <i>clusters</i>
ACP	Análisis de componentes principales
ALC	América Latina y Caribe
ARANDM	Archivo del Registro Agrario Nacional, Delegación Michoacán
ATSDR	Agency For Toxic Substances And Disease Registry
AWW	<i>Alabama Water Watch</i>
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CEAC	Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas del Estado de Michoacán
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CHC	Complejos habitacionales privados
CIDEM	Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán
CIEco	Centro de Investigaciones en Ecosistemas
CIGA	Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental
CNI	Comisión Nacional de Irrigación
COLMICH	El Colegio de Michoacán A. C.
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CT	Coliformes totales
DBO₅	Demanda bioquímica que oxígeno a los cinco días
DT	Dureza total
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EUA	Estados Unidos de América
FCE	Fondo de Cultura Económica
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
GWP	<i>Global Water Partnership</i>
ICA	Índice de calidad del agua
ICA_{ci}	ICA _{FQ} para cada una de las cuatro campañas de muestreo (ICA _{c1} , ICA _{c2} , ICA _{c3} e ICA _{c4})
ICA_{E. coli}	ICA evaluado con parámetros físicos, químicos y microbiológicos
ICA_{FQ}	ICA evaluado con parámetros físicos y químicos
IG	Instituto de Geografía
IIEc	Instituto de Investigaciones Económicas
IIH	Instituto de Investigaciones Históricas
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ITC	International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation
JM	Jesús del Monte
K	Conductividad eléctrica
NH₃-N	Nitrógeno amoniacal
NO₃⁻-N	Nitratos
OD	Oxígeno disuelto
ODO	<i>Oxford Dictionaries Online</i>
OMS/WHO	Organización Mundial de la Salud/ <i>World Health Organization</i>
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OOAPAS	Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia
pH	Potencial hidrógeno

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA/UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/ <i>United Nations Environment Programme</i>
PO₄³⁻	Ortofosfatos
Q	Gasto
RAE	Real Academia Española
RAFA	Reactor anaerobio
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
SDT	Sólidos disueltos totales
SECUM	Secretaría de Cultura del Gobierno del Estado de Michoacán
SEDAGRO	Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Michoacán
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEP	Secretaría de Educación Pública
SJT	San José de las Torres
SMM	San Miguel del Monte
SPP	Secretaría de Programación y Presupuesto
SRH	Secretaría de Recursos Hidráulicos
SSA	Secretaría de Salud
SST	Sólidos suspendidos totales
SUMA	Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán
T	Temperatura
Tb	Turbidez
TVA	<i>Tennessee Valley Authority</i>
UASLP	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
UdG	Universidad de Guadalajara
UFC	Unidades formadoras de colonias
UMSNH	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
UNFPA	<i>United Nations Population Fund</i>
UNT	Unidades nefelométricas de turbidez
WWF	<i>World Wide Fund</i>

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema y justificación

La ciudad de Morelia es la capital del estado de Michoacán y actualmente es el asentamiento más grande en éste. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011), realizado del 31 de mayo al 25 de junio de ese año, el municipio de Morelia contaba con una población de 729,279 habitantes, de los cuales 597,511 se concentraban en la ciudad del mismo nombre.

La ciudad experimentó un rápido crecimiento poblacional a partir de la segunda mitad del siglo XX, además de la natalidad, éste se fundamentó en tres tipos de inmigración: estudiantil de nivel superior, campesinos en busca de trabajo y personas que llegan de ciudades más grandes del país como la Ciudad de México¹, de las cuales al menos las primeras dos siguen siendo las más importantes. Esto conllevó a un incremento en las actividades productivas del sector terciario y que la sede político-administrativa del estado se afanzara como centro comercial, empresarial, estudiantil y proveedor de servicios (salud, profesionales, inmobiliarios y turísticos), generando un decremento en las actividades de los sectores productivos primarios y secundarios. Éste último ha sido siempre incipiente en comparación con otras ciudades de México con características similares a Morelia (López, 1999; López *et al.*, 2001; Ávila, 2007; Vargas, 2008).

La cuenca del río Chiquito abarca una superficie de casi 6,500 hectáreas y se encuentra ubicada en la periferia suroriente de la ciudad de Morelia, en el municipio del mismo nombre. Es considerada como uno de los sitios de más alta biodiversidad en el municipio (López y Fuentes, 2007) y uno prioritario para su conservación, toda vez que la ciudad de Morelia se abasteció sólo de las aguas de este río desde su fundación, hasta la mitad del siglo XX (Ávila, 2007). Actualmente, provee el 2.59% del abasto de agua a la ciudad (OOAPAS, 2010a).

Una muy pequeña parte de la cuenca (al noroeste) se encuentra en la actualidad en proceso de urbanización, por un lado con el crecimiento del pueblo de Jesús del Monte, y por el otro –aproximadamente desde el año 2000-, por la creación de desarrollos inmobiliarios dirigidos, principalmente, a población de altos ingresos económicos del estado –e incluso gente adinerada del país y potencialmente del extranjero- (por ejemplo: *Altozano*). Lo último ha traído consigo una serie de inversiones tanto gubernamentales como privadas, que han permitido la construcción de grandes plazas comerciales, centros financieros y de oficinas de diversas índoles, así como la creación de lugares de esparcimiento, centros educativos privados,

¹ Con Ciudad de México se hará referencia a lo largo del presente estudio a la ciudad integrada por el Distrito Federal y todas sus zonas conurbadas.

infraestructura de servicios, mejoras viales, etc. Con ello, es inevitable la presión sobre el medio rural que circunda esta zona de la ciudad, traduciéndose en deforestación, disminución de actividades productivas del sector primario y fenómenos como la segregación residencial en aquellos sitios que ya han sido urbanizados, entre otros efectos.

Dicho lo anterior, resulta importante analizar el estado ambiental actual de la cuenca del río Chiquito, toda vez que su importancia para la ciudad es indudable, no sólo por los servicios ambientales que brinda (agua, regulación microclimática, sitios de recreación, entre otros), también por las personas que en ella habitan y que todavía encuentran parte de su sustento económico en las actividades productivas primarias. Cabe mencionar que en Morelia no existe una ley de planeación urbana que haga especial énfasis en el valor de la zona, y peor aún, que se respete. Por ello, vale la pena realizar un estudio que permita conocer (caracterizar y diagnosticar) los problemas ambientales que se presentan en el lugar, tanto ecológicos, como sociales. Desde algunos que son muy evidentes, como la pobreza, la deforestación y la consecuente pérdida de suelos (erosión); hasta otros que no lo son tanto, como la calidad del agua del río Chiquito, la degradación de sus bosques y el posible mal manejo de los recursos naturales por parte de sus habitantes o dueños de las tierras. Asimismo, resulta interesante conocer las condiciones de la población que habita dentro de la cuenca como: la precariedad, el tipo de actividades productivas, la migración, la percepción acerca del entorno ambiental, el acceso al agua y las dinámicas funcionales con la ciudad de Morelia como una fuente de empleos y servicios (de salud, educativos, de venta de productos básicos, entre otros).

Una de las principales amenazas para la degradación futura de la cuenca –a corto y mediano plazo- no lo es sólo el – posible mal- manejo por parte de los campesinos, sino la fuerte presión que ejerce la ciudad de Morelia por su proximidad y su inevitable necesidad de expansión territorial. Por una parte, existen fuertes intereses empresariales sobre la zona para la construcción de fraccionamientos privados, centros comerciales, educativos y de recreación, así como de infraestructura vial “moderna” y rutas de acceso, ya que son escasas (Sánchez, 2009); y por el otro un importante mercado de terrenos (ejidales y pequeñas propiedades) para la construcción de “casas de campo” o de “descanso” de los habitantes de la ciudad.

La presente investigación tiene por objeto evaluar la calidad y la dinámica de flujo (cantidad) de las aguas superficiales de la cuenca del río Chiquito, así como establecer su contexto social (precariedad, tipo de actividades productivas, migración, el acceso y uso del agua, relación con la ciudad de Morelia y percepción ambiental). Se considera que desde el enfoque de la Geografía Ambiental donde confluyen diversas disciplinas, es posible abordar la problemática del ambiente de una forma menos parcial. Se parte de la premisa de que los conflictos ambientales y los cambios en el paisaje tienen un origen social, por lo que no deben ser estudiados únicamente por separado –como regularmente se hace-, pues pueden perderse

de vista diversos procesos relevantes. Es importante mencionar que en ningún momento se pretende alcanzar aquí la tan pregonada “integralidad”, ni mucho menos lograr un planteamiento metodológico equilibrado entre diversos campos disciplinarios. Pero el uso de herramientas metodológicas de diferentes áreas de las ciencias biofísicas o naturales y de las ciencias sociales, puede ser de gran ayuda para analizar una realidad que es inherentemente multifactorial y dinámica en el tiempo y el espacio. En este caso interesa evaluar el grado de deterioro o degradación ambiental de la cuenca, en específico y de manera directa, de la erosión y los contaminantes en el agua -y el suelo-, e indirectamente, de la pérdida de cubierta vegetal, el mal manejo agropecuario, el uso inadecuado del suelo, etc. Posteriormente, se realiza una caracterización del contexto social de la población que habita en la cuenca, enfatizando las condiciones económicas de ésta y sus vínculos con el uso del agua; además se estudian algunos procesos periurbanos, en especial cómo es que ocurren diversos tipos de relaciones funcionales entre la cuenca y la ciudad de Morelia -que expande de poco en poco sus fronteras hacia la primera-. En la última parte, se hace una discusión de los resultados en donde se integra la evaluación hidrológica y la caracterización social para determinar los vínculos y procesos espaciales que ocurren en la cuenca desde ambas perspectivas y que tienen efectos en el ambiente, tanto positivos, como negativos.

Por último, este trabajo sienta las bases para realizar procesos de planeación y gestión en esta cuenca de carácter periurbano. Representa una herramienta para tomar decisiones en torno al manejo del agua, pues ubica las fuentes principales de contaminación y los procesos que la ocasionan. Asimismo, brinda información acerca de la población que vive en ella, que puede ser un insumo para diseñar e implementar políticas de administración y gestión del recurso hídrico, así como para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la cuenca en cuestión. En otro sentido, los resultados de esta investigación permiten desarrollar esfuerzos para la planeación urbana de la ciudad de Morelia y en específico sobre su expansión en la cuenca del río Chiquito.

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar, diagnosticar y evaluar el estado actual del ambiente en la cuenca del río Chiquito a partir de un enfoque geográfico ambiental, privilegiando el análisis de las condiciones de sus recursos hídricos y del contexto social en la misma, con el fin de establecer las bases para la planeación dentro del marco de cuencas periurbanas.

Objetivos particulares

1. Caracterizar tanto las condiciones biofísicas (climáticas, hidrológicas, geológicas, geomorfológicas, edafológicas y de la vegetación) de la cuenca, como las circunstancias sociales (demográficas y socioeconómicas) de su población mediante una revisión documental.
2. Diagnosticar y evaluar la calidad general del agua superficial en la cuenca mediante la utilización de un índice de calidad del agua (ICA) que incluya parámetros físicos, químicos y microbiológicos y que sintetice los resultados.
3. Identificar los usos a los que puede destinarse del agua de cada punto de muestreo de la cuenca de acuerdo a los resultados del ICA.
4. Estimar la cantidad de agua superficial en la cuenca determinando los gastos de los diversos puntos de muestreo.
5. Identificar y describir el contexto socioeconómico de la cuenca, mediante los ejes de precariedad (tipos de vivienda y acceso a bienes y servicios), actividades y sectores productivos en que se desempeña la población y migración (tanto emigración, como inmigración), por medio de la consulta a los habitantes de sus tres localidades más pobladas.
6. Identificar y describir la percepción de los habitantes de la cuenca sobre las condiciones ambientales en la misma, priorizando a los recursos hídricos y a los procesos de urbanización –en este caso, propiamente de periurbanización-, mediante la consulta a los residentes de sus tres localidades más pobladas.
7. Identificar y describir las relaciones espaciales-funcionales que ocurren dentro de la cuenca y entre ésta y la ciudad de Morelia, tales como los desplazamientos de la población, los flujos laborales, la migración y el intercambio de recursos naturales (en específico del agua).

Estado del arte para el estudio de caso

En la revisión bibliográfica realizada para la presente investigación, no se encontraron publicaciones que asocien la calidad del agua y el contexto social con una perspectiva geográfica ambiental en una cuenca periurbana como se lleva cabo es este análisis. No obstante, sobre el estudio de caso, es decir la cuenca del río Chiquito se accedió a dos investigaciones de calidad del agua. La primera se trata de una tesis de licenciatura en Biología denominada *Las diatomeas como indicadores de las condiciones trófica del Río Chiquito, Mpio. de Morelia, Michoacán*. En ella Gajón (2005) utiliza la presencia y diversidad de diatomeas como indicadores del calidad del

agua en nueve puntos de muestreo de corrientes superficiales de la cuenca y seis en el cauce – del río Chiquito- que atraviesa la ciudad. La segunda es una tesis de maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental de Molina (2011) titulada *Evaluación de la calidad del agua de la red hidráulica superficial de la parte sur-sureste del municipio de Morelia, Michoacán: hacia un modelo de gestión* que además de evaluar la geomorfología de cauces y la calidad ambiental visual de nueve sitios en corrientes superficiales de la cuenca del río Chiquito, calcula un ICA para diversos parámetros de calidad del agua.

Acercas de investigaciones en la cuenca del río Chiquito con objetos de investigación distintos al de la presente, pero vinculados se revisaron las siguientes: Gómez y Angón (2004) publican un trabajo acerca del manejo de recursos forestales no maderables en la cuenca, en específico para las localidades de Jesús del Monte y San Miguel del Monte. Por otro lado, Guevara (2009) hace un análisis de los cambios en las cubiertas y el uso del suelo para la cuencas del río Chiquito y del río Paredones (ubicada de forma contigua al sur de la primera). Por último, Sánchez (2009) realiza un estudio de corte histórico-ambiental para el ejido de Jesús del Monte - que se ubica casi completamente dentro de la cuenca- enfocándose en los efectos del crecimiento de la ciudad de Morelia hacia éste.

Finalmente, López et al. (2001) realiza un estudio del crecimiento de la ciudad de Morelia de 1975 a 1997. Destacando que la mayor expansión ocurre hacia el sureste de la ciudad –rumbo a la cuenca del río Chiquito, más no dentro de ella, pues hasta cierto punto el crecimiento de la mancha urbana se contuvo en parte del parteaguas de la cuenca, es decir, con la ladera de la loma de Santa María-. Por otro lado, Ávila (2007) lleva a cabo un análisis de la urbanización y los conflictos sociales por el agua en la ciudad de Morelia con un enfoque histórico y sociológico. En él se destaca la importancia del agua proveniente de la cuenca del río Chiquito para dicha urbe desde su fundación. Mientras que Vargas (2008) realiza una investigación histórico-geográfica sobre la urbanización y la configuración territorial de la ciudad de Morelia desde su fundación hasta finales del siglo XX. Ahí incluye datos e información poblacional y biofísica de los alrededores de la misma, considerando a varios poblados y ejidos de la cuenca del río Chiquito, así como la trascendencia del agua y demás recursos naturales de la misma.