



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



**Centro Interdisciplinario De Investigación Para El Desarrollo Integral
Regional**

**Análisis De Los Factores Naturales Y Antropogénicos Que Inciden En La
Disponibilidad De Agua En La Cuenca De La Laguna De Santiaguillo**

TESIS

Que Para Obtener El Grado De Maestro En Ciencias En Gestión Ambiental

Presenta:

MARTÍN OMAR GUTIERREZ MONTENEGRO

Directores:

DR. EDUARDO SÁNCHEZ ORTIZ

DR. ARMANDO CORTÉS ORTIZ

Victoria de Durango, Dgo; México. Noviembre 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14-BIS

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 10:00 horas del día 24 del mes de Noviembre del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Análisis de los factores naturales y antropogénicos que inciden en la disponibilidad de agua en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo

Presentada por el alumno:

<u>Gutiérrez</u>	<u>Montenegro</u>	<u>Martín Omar</u>							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro: <table border="1"><tr><td>B</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	B	1	2	0	6	1	1
B	1	2	0	6	1	1			

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

Dr. Armando Cortés Ortiz

Dr. Isaias Chairez Hernández

Dr. Marco Antonio Márquez Linares

M. C. Gerardo Daniel de León Mata

Dr. Jesús Herrera Corral

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. José Antonio Avila Reyes



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-13-BIS

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 18 de Noviembre del 2014

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Durango en su sesión ordinaria No. 9 celebrada el día 4 del mes de noviembre conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

GUTIÉRREZ

MONTENEGRO

MARTÍN OMAR

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Con registro:

B	1	2	0	6	1	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Análisis de los factores naturales y antropogénicos que inciden en la disponibilidad de agua en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dr. Eduardo Sánchez Ortiz y Dr. Armando Cortés Ortiz3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

Aspirante

Ing. Martín Omar Gutiérrez Montenegro

Dr. Armando Cortés Ortiz

Presidente del Colegio

Dr. José Antonio Ávila Reyes
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día **25** del mes de **Noviembre** del año **2014**, el que suscribe **Martín Omar Gutiérrez Montenegro** alumno del Programa de **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental**, con número de registro **B120611**, adscrito al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesto que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Eduardo Sánchez Ortiz** y **Dr. Armando Cortés Ortiz** y cede los derechos del trabajo titulado **“Análisis de los factores naturales y antropogénicos que inciden en la disponibilidad de agua en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones martinomgutierrez@gmail.com, eduardo.sanchezortiz@gmail.com y c_armando25@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


MARTÍN OMAR GUTIÉRREZ MONTENEGRO

ÍNDICE

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Introducción.....	iii
I. Antecedentes.....	1
1.1. Ciclo hidrológico.....	1
1.2. Cuenca Hidrográfica.....	2
1.3. Agua subterránea.....	2
1.3.1. Acuíferos.....	4
1.4. Factores que afectan la recarga de acuíferos.....	5
1.4.1. Factores Naturales.....	5
1.4.2. Factores Antropogénicos.....	7
1.5. Balance hidrológico.....	8
1.6. Gestión del recurso agua.....	9
1.7. Sistemas de Información geográfica.....	11
II. Justificación.....	12
III. Objetivo.....	13
3.1. Objetivos específicos.....	13
IV. Hipótesis.....	14
V. Metodología.....	15
5.1 Materiales.....	15
5.2 Metodología.....	15
5.2.1. Área de estudio.....	15
5.2.2. Análisis espacial.....	16
5.2.3. Delimitación y parámetros geomorfológicos de las microcuencas....	17
5.2.4. Parámetros geomorfológicos.....	18
5.2.5. Balance hidrológico integral.....	20
5.2.6. Precipitación normal en las microcuencas.....	21
5.2.7. Coeficiente de escurrimiento.....	22
5.2.8. Coeficiente de infiltración.....	23
5.2.8. Evapotranspiración.....	24
5.2.9. Descripción sociodemográfica.....	24

5.2.10.	Análisis de escenarios de políticas locales.....	25
5.2.11.	Descripción general del área de estudio.	27
	Orografía.....	27
	Perfil Topográfico de la cuenca	28
	Litología superficial	29
	Clima.....	31
	Hidrografía	32
	Suelos.....	33
	Cobertura del suelo	35
	Uso de suelo.....	37
	Población de la cuenca.....	39
VI.	Resultados.....	41
	Volumen precipitado medio anual.....	41
	Volumen escurrido medio anual	41
	Volumen infiltrado medio anual.....	43
6.3.	Microcuencas.....	44
	Nomenclatura	44
	Geomorfología	46
	Demografía	47
	Volumen de agua superficial concesionada.....	49
	Disponibilidad de agua superficial	50
	Volumen de agua subterránea concesionada.....	52
6.4	Resultados de la microcuenca Las Jarillas	56
6.5.	Resultados de la microcuenca Ojo de Lobo.....	62
6.6	Resultados de la microcuenca Guatimapé.....	66
6.7	Resultados de la microcuenca La Tinaja.....	70
6.8	Resultados de la microcuenca El Candado.....	74
6.9	Resultados de la microcuenca El Trébol.....	81
6.10	Resultados de la microcuenca El Gato	85
6.11	Resultados de la microcuenca Los Monos.....	89
6.12	Resultados de la microcuenca Tejamén	92
6.13	Resultados de la microcuenca Tinajuelas.....	99
6.14	Resultados de la microcuenca El Colorado.....	104

6.15	Resultados de la microcuenca Torunos	108
6.16	Resultados de la Microcuenca Viborillas.....	112
6.17.	Análisis de escenarios	117
6.17.1.	Escenario cero	117
6.17.2.	Escenario ideal.....	119
6.17.3.	Escenario status quo	121
6.17.4.	Escenario bajo.....	123
6.17.5.	Escenario medio.....	125
VI.	Discusión	129
	Demanda de política pública.....	130
	Estrategias.....	132
	Metas	135
VII.	Conclusión y Recomendaciones	136
VIII.	Bibliografía.....	137
IX.	Anexos	141
	Anexo 1 cartografía de las microcuencas.	141

Relación de figuras

Figura 1. Ubicación de área de estudio.....	16
Figura 2. Intersección de los tipos de suelo y el uso de suelo.....	23
Figura 3. Intersección de geología con suelos y unidad hidrogeológica	24
Figura 4. Mapa del sistema de topoformas	28
Figura 5. Mapa de altitud.....	29
Figura 6. Perfil topográfico de la cuenca.....	29
Figura 7. Mapa de litología superficial	30
Figura 8. Mapa de climas	32
Figura 9. Mapa de hidrología superficial	33
Figura 10. Mapa de tipo de suelos	35
Figura 11. Cobertura vegetal.....	37
Figura 12. Mapa de uso de suelo	38
Figura 13. Mapa de agricultura.....	38
Figura 14. Tendencia poblacional de la cuenca	39
Figura 15. Población femenina y masculina.....	39
Figura 16. Pirámide poblacional de la cuenca de la Laguna de Santiaguillo.....	40
Figura 17. Índices de marginación	40
Figura 18 Mapa de lluvia anual	41
Figura 19. Mapa de coeficientes de escurrimiento	42
Figura 20. Escurrimiento medio anual.....	42
Figura 21. Porcentaje de infiltración a partir de la lluvia	43
Figura 22. Volumen infiltrado al acuífero	44
Figura 23. Comité de cuenca de la Laguna de Santiaguillo	45
Figura 24. Mapa de microcuencas	45
Figura 25. Mapa de distribución de la población	48
Figura 26. Mapa de densidad poblacional.....	49
Figura 27. Mapa de distribución de concesión superficial anual	50
Figura 28. Porcentaje de uso de agua superficial	50
Figura 29. Mapa de disponibilidad superficial.....	51
Figura 30. Distribución de los pozos	53
Figura 31. Porcentaje de uso de agua subterránea	53
Figura 32. Mapa de volumen subterráneo anual concesionado	54
Figura 33. Mapa de porcentaje de explotación del acuífero.....	55
Figura 34. Ubicación de la microcuenca Las Jarillas.....	56
Figura 35. Tendencia poblacional de la microcuenca Las Jarillas.....	58
Figura 36. Cortina de la presa Dr. Castillo del Valle.....	60
Figura 37. Ubicación de la microcuenca Ojo de Lobo	62
Figura 38. Población histórica de la microcuenca Ojo de Lobo.....	64
Figura 39. Ubicación de la microcuenca Guatimapé	66
Figura 40. Tendencia poblacional de la microcuenca Guatimapé.....	68
Figura 41. Ubicación de la microcuenca La Tinaja.....	70
Figura 42. Tendencia poblacional de la microcuenca La Tinaja.....	72

Figura 43. Ubicación de la microcuenca El Candado.....	75
Figura 44. Tendencia poblacional de la microcuenca El Candado.....	77
Figura 45. Cortina de la presa La Redonda.....	79
Figura 46. Ubicación de la microcuenca El Trébol	81
Figura 47. Tendencia poblacional de la microcuenca El Trébol	83
Figura 48. Ubicación de la microcuenca El Gato.....	85
Figura 49. Tendencia poblacional de la microcuenca El Gato	87
Figura 50. Ubicación de la microcuenca Los Monos	89
Figura 51. Tendencia poblacional de la microcuenca Los Monos	91
Figura 52. Ubicación de la microcuenca Tejamen.....	93
Figura 53 Tendencia poblacional de la microcuenca Tejamen.....	95
Figura 54. Cortina de la presa Tejamen	97
Figura 55. Ubicación de la microcuenca Tinajuelas	99
Figura 56. Tendencia poblacional de la microcuenca Tinajuelas	102
Figura 57. Ubicación de la microcuenca El Colorado.....	104
Figura 58. Tendencia poblacional de la microcuenca El Colorado.....	106
Figura 59. Ubicación de la microcuenca Torunos	108
Figura 60. Tendencia poblacional de la microcuenca Torunos	110
Figura 61. Ubicación de la microcuenca Viborillas	112
Figura 62. Tendencia poblacional de la microcuenca Viborillas.....	114
Figura 63. Propuesta de gestión y respuesta del acuífero	128
Figura 64. Mapa de áreas de prioridad de conservación de cobertura vegetal ..	134
Figura 65. Mapa de calificación de la infiltración de la cuenca.....	135

Relación de cuadros

Cuadro 1. Valores de K en función del tipo y uso de suelo	22
Cuadro 2. Superficie por los tipos de roca que se encuentran en la cuenca.....	30
Cuadro 3. Tipos de clima y su extensión en la cuenca	31
Cuadro 4. Tipo de suelos de la cuenca	34
Cuadro 5. Superficie del suelo por textura de la cuenca	35
Cuadro 6. Tipo de cobertura vegetal y superficie de la cuenca.....	36
Cuadro 7. Superficie por tipo de agricultura	39
Cuadro 8. Áreas de las microcuencas de la Laguna de Santiaguillo.....	46
Cuadro 9. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas.	46
Cuadro 10. Disponibilidad superficial per cápita de las microcuencas de la Laguna de Santiaguillo.....	52
Cuadro 11. Usos de agua subterránea	52
Cuadro 12. Cobertura vegetal en la microcuenca Las Jarillas	56
Cuadro 13 Suelos de la microcuenca Las Jarillas.....	57
Cuadro 14. Geología superficial de la microcuenca Las Jarillas	57
Cuadro 15. Datos de vivienda de la microcuenca Las Jarillas	58
Cuadro 16. Datos técnicos de la presa Las Jarillas.....	59
Cuadro 17. Balance superficial de la microcuenca Las Jarillas.....	61
Cuadro 18. Balance subterráneo de la microcuenca Las Jarillas.....	61
Cuadro 19. Cobertura vegetal en la microcuenca Ojo de Lobo.....	62
Cuadro 20. Suelos de la microcuenca Ojo de Lobo	63
Cuadro 21. Geología superficial de la microcuenca Ojo de Lobo.....	63
Cuadro 22. Balance hidrológico superficial Ojo de Lobo	65
Cuadro 23. Balance hidrológico subterráneo Ojo de Lobo.....	65
Cuadro 24. Cobertura vegetal de la microcuenca Guatimapé.....	66
Cuadro 25. Tipos de clima de la microcuenca Guatimapé	67
Cuadro 26. Suelo de la microcuenca Guatimapé	67
Cuadro 27. Geología superficial en la microcuenca Guatimapé.....	67
Cuadro 28. Localidades de la microcuenca Guatimapé	68
Cuadro 29. Vivienda de la microcuenca Guatimapé	68
Cuadro 30. Balance superficial de la microcuenca Guatimapé	69
Cuadro 31. Balance subterráneo de la microcuenca Guatimapé	70
Cuadro 32. Cobertura vegetal de la microcuenca La Tinaja	71
Cuadro 33. Suelos de la microcuenca La Tinaja	71
Cuadro 34. Geología superficial de la microcuenca La Tinaja	71
Cuadro 35. Localidades de la microcuenca La Tinaja.....	72
Cuadro 36. Vivienda en la microcuenca La Tinaja	72
Cuadro 37. Balance superficial de la microcuenca La Tinaja	73
Cuadro 38. Balance subterráneo de la microcuenca La Tinaja.....	74
Cuadro 39. Cobertura vegetal de la microcuenca El Candado	75
Cuadro 40. Tipos de clima de la microcuenca El Candado.....	75
Cuadro 41. Suelos de la microcuenca El Candado	76

Cuadro 42. Geología superficial de la microcuenca El Candado	76
Cuadro 43. Localidades de la microcuenca El Candado	76
Cuadro 44. Vivienda de la microcuenca El Candado	77
Cuadro 45. Datos técnicos de la presa La Redonda (Fuente: CONAGUA)	77
Cuadro 46. Balance superficial de la microcuenca El Candado	80
Cuadro 47. Balance subterráneo de la microcuenca El Candado	80
Cuadro 48. Cobertura vegetal de la microcuenca El Trébol.....	82
Cuadro 49. Suelos de la microcuenca El Trébol	82
Cuadro 50. Geología superficial de la microcuenca El Trébol.....	82
Cuadro 51. Vivienda de la microcuenca El Trébol.....	83
Cuadro 52. Balance hidrológico superficial El Trébol	84
Cuadro 53. Balance subterráneo de la microcuenca El Trébol	84
Cuadro 54. Cobertura vegetal en la microcuenca El Gato	85
Cuadro 55. Tipos de suelo de la microcuenca El Gato	86
Cuadro 56. Suelo de la microcuenca El Gato.....	86
Cuadro 57. Geología superficial de la microcuenca El Gato	86
Cuadro 58. Localidades de la microcuenca El Gato.....	87
Cuadro 59. Vivienda de la microcuenca El Gato	87
Cuadro 60. Balance superficial de la microcuenca El Gato.....	88
Cuadro 61. Balance subterráneo microcuenca El Gato	89
Cuadro 62. Cobertura vegetal en la microcuenca Piedra Encimada.....	90
Cuadro 63. Suelos de la microcuenca Los Monos	90
Cuadro 64. Geología superficial de la microcuenca Los Monos.....	91
Cuadro 65. Vivienda de la microcuenca Los Monos	91
Cuadro 66. Balance superficial de la microcuenca Los Monos	92
Cuadro 67. Balance subterráneo microcuenca Los Monos.....	92
Cuadro 68. Cobertura vegetal en la microcuenca Tejamen	93
Cuadro 69. Tipos de clima de la microcuenca Tejamen.....	94
Cuadro 70. Suelos de la microcuenca Tejamen.....	94
Cuadro 71. Geología superficial de la microcuenca Tejamen	94
Cuadro 72. Localidades de la microcuenca Tejamen.....	95
Cuadro 73. Vivienda de la microcuenca Tejamen	95
Cuadro 74. Ficha de almacenamiento de la presa Tejamen	96
Cuadro 75. Balance superficial de la microcuenca Tejamen.....	98
Cuadro 76. Balance subterráneo microcuenca Tejamen	99
Cuadro 77. Cobertura vegetal en la microcuenca Tinajuelas.....	100
Cuadro 78. Tipos de clima de la microcuenca Tinajuelas	100
Cuadro 79. Suelos de la microcuenca Tinajuelas	100
Cuadro 80. Geología superficial de la microcuenca Tinajuelas.....	101
Cuadro 81. Localidades de la microcuenca Tinajuelas	101
Cuadro 82. Condiciones de vivienda de la microcuenca Tinajuelas.....	102
Cuadro 83. Balance superficial de la microcuenca Tinajuelas	103
Cuadro 84. Balance subterráneo microcuenca Tinajuelas	104

Cuadro 85. Cobertura vegetal microcuenca El Colorado	105
Cuadro 86. Suelos de la microcuenca El Colorado	105
Cuadro 87. Geología superficial de la microcuenca El Colorado	106
Cuadro 88. Localidades de la microcuenca El Colorado	106
Cuadro 89. Vivienda de la microcuenca El Colorado	107
Cuadro 90. Balance superficial de la microcuenca El Colorado	107
Cuadro 91. Balance subterráneo microcuenca El Colorado.....	108
Cuadro 92. Cobertura vegetal en la microcuenca Torunos	109
Cuadro 93. Suelos de la microcuenca Torunos.....	109
Cuadro 94. Geología superficial de la microcuenca Torunos.....	109
Cuadro 95. Localidades de la microcuenca Torunos	110
Cuadro 96. Vivienda de la microcuenca Torunos.....	110
Cuadro 97. Balance superficial de la microcuenca Torunos	111
Cuadro 98. Balance subterráneo microcuenca Torunos	112
Cuadro 99. Cobertura vegetal en la microcuenca Viborillas.....	113
Cuadro 100. Suelos de la microcuenca Viborillas	113
Cuadro 101. Geología superficial de la microcuenca Viborillas.....	113
Cuadro 102. Localidades de la microcuenca Viborillas	114
Cuadro 103. Vivienda de la microcuenca Viborillas	114
Cuadro 104. Balance superficial de la microcuenca Viborillas	115
Cuadro 105. Balance subterráneo microcuenca Viborillas.....	116
Cuadro 106. Escenario cero.....	117
Cuadro 107. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario cero.....	118
Cuadro 108. Escenario ideal	119
Cuadro 109. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario ideal	120
Cuadro 110. Escenario estatus quo	121
Cuadro 111. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario status quo	122
Cuadro 112. Escenario bajo.....	123
Tabla 113. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario bajo.....	124
Cuadro 114. Escenario medio	125
Tabla 115. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario medio.....	126
Cuadro 116. Problematicación por microcuenca.....	130
Cuadro 117. Clasificación en el consumo de agua por habitante.....	132

LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE DESARROLLO EN EL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UNIDAD DURANGO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DOCTOR EDUARDO SÁNCHEZ ORTIZ

DEDICADO A

LA BASE DE MI VIDA Y EDUCACIÓN, MIS PADRES

MARÍA ALTAGRACIA MONTENEGRO SOTO (†) Y MARTÍN GUTIÉRREZ
ORTIZ

LA FORTALEZA QUE ME BRINDAN HERMANOS

RUTH EUGENIA, RICARDO CÉSAR (+3) Y SANDRA MARCELA (+2)

LA MEMORIA DE UNA GRAN AMIGA

NOELIA RIVERA QUINTERO

AGRADECIMIENTOS

A Dios y mi familia; mi madre por esmerarse en mi educación y formación personal, mi padre guía y estímulo continuo. A mis hermanos Eugenia, Ricardo (+3) y Marcela (+2), quienes siempre me han brindado apoyo incondicional, soportando y haciendo hasta lo imposible por cuidarme y permitirme alcanzar todas mis metas, estas cinco personas son, y serán, mis modelos a seguir y las personas que más admiro.

Agradezco a mi comité tutorial por compartir sus conocimientos y enriquecer este proyecto. Al Dr. Eduardo Sánchez por la accesibilidad y disponibilidad de su persona, al Dr. Armando Cortés por su apoyo y motivación; a los doctores Isaías Chairez, Daniel de León, Marco Márquez y Jesús Herrera, cuyas observaciones a lo largo de éste proceso cambiaron mi visión y mejoraron el producto final. A todos ellos agradezco el crecimiento personal en estos 2 años y medio.

A los habitantes de la cuenca de la Laguna de Santiaguillo quienes me permitieron reencontrarme con mis orígenes, por su hospitalidad y amabilidad. Por mencionar algunos, y sin restar méritos al resto de ellos, al Ingeniero Jesús Salas, Armando Martínez, Rafael Huerta, quienes brindaron una gran disposición y amistad, a ellos y sus familias se agradecen las atenciones recibidas en el tiempo que se realizó este proyecto.

Al CONACyT por el apoyo recibido en estos dos años y al CIIDIR-IPN Unidad Durango por permitirme alcanzar una meta personal.

A los organismos e instituciones que compartieron información necesaria: Comisión Nacional del Agua, CADER Canatlán, Unión Ganadera de Durango, INEGI, Servicio Geológico Mexicano,

A María Contreras por su compañía, apoyo y paciencia a lo largo de estos años.

Mencionar a la Maestra Noelia Rivera Quintero, quién en su partida dejó un gran vacío, pero la grata satisfacción de conocer a un gran ser humano que será recordada con alegría.

Por último y no menos importante a mis amigos: Miguel Soto, Alejandro Orona, Laura Paez, Ali Villanueva, Victor Ortega, David Delgado, Rafael Irigoyen, con quienes compartí experiencias y disgustos que crearon una buena amistad.

A todos ellos por su compañía y amistad, infinita gratitud.

Resumen

La cuenca hidrográfica contiene componentes abióticos, biológicos y antropogénicos, los cuales están interrelacionados en una dinámica tendiente al equilibrio entre sí. Contiene recursos naturales renovables que pueden ser remplazados de manera natural o por la intervención del ser humano, sin embargo, no se pueden considerar renovables cuando no se les puede remplazar en un periodo de tiempo significativo, de acuerdo a la presión que estén siendo sometidos por las distintas actividades humanas. El objetivo de este trabajo fue evaluar los factores naturales y antropogénicos a nivel microcuenca que influyen en la disponibilidad de agua para proponer alternativas de uso sustentable en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo. Con el uso del modelo digital de elevación (INEGI) se delimitaron 13 microcuencas: Las Jarillas, Ojo de Lobo, Guatimapé, La Tinaja, El Candado, El Trébol, El Gato, Los Monos, Tinajuelas, El Colorado, Tejamen, Torunos, Viborillas. A las cuales se les realizó un balance hidrológico integral con base a la NOM-011-CONAGUA-2000 para conocer la disponibilidad a nivel microcuenca. El análisis del balance hidrológico permitió conocer la demanda de política pública que existe en la cuenca observando una sobreexplotación del acuífero, con niveles de explotación del orden de 237% hasta 721% de la capacidad de recarga en algunas microcuencas. A demás de dar a conocer condición de una lámina alta de riego en la microcuenca Las Jarillas con un valor de 155.26 cm, lo cual manifiesta que las prácticas agrícolas son poco eficientes, y obteniendo en algunas zonas altas dotaciones en el uso público urbano.

Palabras clave: Cuenca hidrológica, balance hidrológico, cuenca de la Laguna de Santiaguillo, disponibilidad de agua.

Abstract

Watershed contains abiotic, biologic and anthropogenic components interrelated in a dynamic that tends to balance. It contains renewable natural resources which could be replaced by natural way or with intervention of the human being, however, they can't be considered renewable when human activities subject them to a pressure that hinders their recovery. The objective of this work was to evaluate natural and anthropogenic factors in microwatershed scale that influences water availability to propose alternatives of sustainable use of water in Laguna de Santiaguillo watershed. Using the elevation digital model (INEGI) were delimited 13 microwatersheds: Las Jarillas, Ojo de Lobo, Guatimapé, La Tinaja, El Candado, El Trébol, El Gato, Los Monos, Tinajuelas, El Colorado, Tejaman, Torunos, Viborillas; the hydrologic balance was calculated using the NOM-011-CONAGUA-2000 to estimate water availability in these microwatersheds. The analysis of hydrologic balance allowed to identify the demand of public policy that exists in the whole watershed. Results reveal over exploitation from 237% till 721% of the recharge capacity, conditions of high irrigation sheet in Las Jarillas with 155.26 cm, this information exposes inefficient agricultural practices, and some of them were estimated high endowments in urban public use.

Keywords: watershed, hydrologic balance, watershed Laguna de Santiaguillo, water availability.

Introducción

Uno de los temas de gran relevancia es la relación entre las actividades del ser humano y el agua, ya que es uno de los recursos de vital importancia, porque sin duda dependemos de tal recurso tanto para nuestra sobrevivencia como para nuestra prosperidad y crecimiento. Goettsch et al. (2010), citando a Phillips (2002) menciona que desafortunadamente la disponibilidad de este elemento se encuentra bajo una gran amenaza, puesto que se han perdido más de la mitad de los humedales del planeta.

Todos los seres vivos guardan una estrecha relación con el agua, el ser humano ha logrado aprovechar este recurso al máximo haciendo un manejo de éste, desarrollando la capacidad de obtenerlo mediante infraestructura y equipo para realizar extracciones del subsuelo, a medida que la población aumenta genera una mayor demanda, en consecuencia mayor presión sobre el recurso para satisfacer sus necesidades (Ruelas y Chávez, 2006).

Una cuenca hidrográfica contiene componentes abióticos (agua, suelo), biológicos (flora y fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales, institucionales), los cuales están interrelacionados en una dinámica tendiente al equilibrio entre sí, contiene también recursos naturales renovables, que pueden ser remplazados de manera natural o por la intervención del ser humano, sin embargo, no se pueden considerar renovables cuando no se les puede remplazar en un periodo de tiempo significativo, de acuerdo a la presión que estén siendo sometidos por las distintas actividades humanas (Ramakrishna, 1997).

Este trabajo se enfocó en realizar el estudio de aquellos factores naturales y antropogénicos que inciden en la disponibilidad de agua en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo.

La cuenca de la Laguna de Santiaguillo es del tipo endorreico perteneciente a la región hidrológica número 11 del Río San Pedro Mezquital, de gran importancia económica-ambiental. Con una población de 33,485 habitantes distribuidos en 135 localidades. Donde las principales actividades económicas de la zona son: la agricultura, la ganadería, el comercio y la fruticultura (INEGI, 2010).

La problemática del recurso agua no solo compete a las cuestiones naturales (al balance y ciclo hidrológico) como evento ajeno a la condición humana, sino como un problema en el que interactúan variables sociales, económicas y políticas que influyen en el ambiente, y es por ello necesario entenderlo como un conjunto, para identificar no solo la problemática relacionada con esta zona, sino también hacer propuestas para la gestión socio ambiental del agua (Rivera, 2008).

De lo anterior surge la pertinencia de realizar un estudio de los factores que están perturbando la disponibilidad del recurso agua tales como: precipitación, escorrentía superficial, permeabilidad del suelo, características del suelo y patrón de drenaje (Matus et al., 2009)., y poder determinar con bases técnicas y científicas (técnicas de análisis espacial con sistemas de información geográficos (SIG) y balances hidrológicos) cuáles de ellos pueden ser controlados mediante procesos de gestión integrada a fin de no comprometer la disponibilidad del recurso agua, asegurar la sustentabilidad y el desarrollo de la zona disminuyendo los impactos ambientales.

I. Antecedentes

1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es una cadena de eventos que involucra a todo el sistema atmosférico y superficial de la tierra: la litósfera, parte sólida conformada por el suelo y las rocas; la hidrósfera, constituida por los cuerpos de agua y la atmósfera, capa gaseosa que envuelve a la tierra. Todos estos forman parte vital en la producción, transporte y regreso del agua a su fuente original (Walton, 1970).

Por efecto de la energía solar el agua de los mares y de los cuerpos de agua en tierra, se evapora; una vez convertida en vapor asciende a la atmósfera donde tiende a enfriarse provocando su condensación y la formación de nubes, las cuales son transportadas por los vientos, hacia las masas continentales, cuando éstas alcanzan determinada altura se provoca el fenómeno de la condensación y por efecto de la gravedad se provoca la precipitación en forma de lluvia, granizo o nieve (Campos, 1998).

El escurrimiento es la parte de la precipitación que una vez en la superficie terrestre y por efecto de la gravedad forma corrientes que siguen el contorno topográfico, las corrientes se forman de dos maneras; los escurrimientos superficiales originados por la precipitación que fluyen sobre la superficie hacia las partes más bajas formando arroyos y ríos, la segunda por escurrimiento producto del afloramiento natural en manantiales de aguas que habiéndose infiltrado provienen del subsuelo. El agua se desplaza por la superficie de la tierra, en arroyos o ríos hasta llegar de nueva cuenta al mar, o bien, desembocar en alguna formación natural receptora como puede ser un lago o una laguna, así mismo, una tercera parte del agua precipitada se infiltra hasta alcanzar las formaciones en el subsuelo, rellenando los poros y fisuras del medio rocoso (Campos, 1998).

Gran parte del agua que se precipita se evapora nuevamente de las corrientes y cuerpos de agua, de igual manera la evapotranspiración, que es el medio por el cual se pierde agua de acuíferos someros y a través de los poros de los tejidos de las plantas, contribuye a este fenómeno. De esta manera se forman pequeños

ciclos dentro de un sistema más amplio al precipitarse parte del vapor de agua enviado al aire (Longwell y Flint, 1981).

1.2. Cuenca Hidrográfica

Ramakrishna (1997) define a la cuenca hidrográfica como el área natural delimitada por el parteaguas, la línea que une los puntos de mayor elevación en la zona encerrando una porción de territorio, en la cual la precipitación forma una serie de cauces que convergen en uno principal. Es la unidad fisiográfica integrada por sistemas de drenaje de agua definida por el relieve de la zona.

La cuenca contiene en su territorio componentes abióticos (agua, suelo, roca, clima, relieve), biológicos (flora y fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales, institucionales), los cuales están interrelacionados y en una dinámica tendiente al equilibrio entre sí. La cuenca contiene también recursos naturales renovables, que pueden ser remplazados de manera natural o por la intervención del ser humano, sin embargo, no se pueden considerar renovables cuando no se les puede remplazar en un periodo de tiempo significativo, de acuerdo a la presión que estén siendo sometidos por las distintas actividades humanas (Ramakrishna, 1997).

La capacidad de carga de la cuenca es una relación que nos explica cuáles son los límites de extracción de agua que puede soportar y que no comprometen la satisfacción de las necesidades sociales, económicas y ambientales (Vargas, 1998).

1.3. Agua subterránea.

El agua subterránea se define como aquella que se encuentra bajo la superficie de la tierra, debido a que el ambiente sub-superficial no es completamente sólido ya que consta de una incontable cantidad de poros diminutos entre los granos del suelo y de sedimentos, así como de fracturas en el lecho rocoso, y considerando su gran volumen, es posible la reunión y el desplazamiento de las aguas dentro poros y fracturas naturales (Longwell y Flint, 1981). De acuerdo a Tarbuck y Lutgens (2006) el proceso de acumulamiento de agua subterránea es lento, su tasa de intercambio es de 280 años, esto representa el tiempo necesario para que el agua presente actualmente en el subsuelo sea remplazada de manera natural.

La distribución de agua dulce en la hidrosfera es la siguiente: los casquetes polares y glaciares representan un 84.945%, las aguas subterráneas un 14.158%, los lagos y embalses el 0.549%, la humedad en el suelo 0.294%, el vapor de agua el 0.049% y el agua de los ríos un 0.004%, de acuerdo a Tarbuck y Lutgens, (2006), bajo éste criterio se asume que la mayor fuente de agua dulce y de fácil acceso para el ser humano es el agua subterránea.

Cuando llueve parte del agua que se precipita escurre por la superficie terrestre, una parte se evapora y otra se infiltra en el terreno, ésta última es la fuente primaria de prácticamente todas las aguas subterráneas (Tarbuck y Lutgens, 2006), la infiltración atraviesa por varias capas en el suelo, la primera es el cinturón de humedad del suelo, está conformado por las raíces, huecos de madrigueras y de raíces desintegradas, así mismo, por los túneles de las lombrices, que permiten una mayor infiltración de agua de lluvia. El agua que no es retenida en el suelo percola, atravesando la zona de aireación, es el lugar donde los espacios de la regolita o roca firme están llenos principalmente de aire, hasta llegar a la zona de saturación que es aquella en la cual todas sus aberturas están completamente llenas de agua. El límite superior de la zona de saturación se le denomina nivel freático o nivel piezométrico. Más arriba del nivel freático se encuentra la zona capilar, donde el agua subterránea es contenida por la tensión superficial en diminutos conductos comprendidos entre los granos de suelo o el sedimento (Longwell y Flint, 1981; Tarbuck y Lutgens, 2006)

De acuerdo a Tarbuck & Lutgens (2006), la naturaleza de los materiales que constituyen la subsuperficie marcan la pauta en la velocidad del movimiento y la cantidad de agua que pueda ser almacenada, dos de ellos son la porosidad que es la cantidad de agua que puede contener una roca, es decir la proporción de espacios abiertos o poros con respecto al volumen total, rocas ígneas presentan una porosidad menor del uno por ciento a comparación de las gravas y las arenas que van desde el 25 hasta el 45 por ciento y la permeabilidad es otro factor que influye, y se define como la capacidad de transmisión de fluidos, la atracción molecular entre la superficie de la roca y las partículas de agua es causa de la permeabilidad, es ésta atracción la que hace que una pequeña capa de agua se adhiera a la superficie de la roca a pesar de la gravedad (Longwell y Flint, 1981).

1.3.1. Acuíferos

A las formaciones receptoras de agua en el subsuelo se les denomina acuífero, son una formación geológica permeable que almacena una gran cantidad de agua proveniente de alguna fuente, como puede ser la infiltración a partir de las lluvias o del deshielo de agua en las partes altas de la montaña (Walton, 1970).

Walton (1970) menciona una clasificación de acuíferos de la siguiente manera:

Acuitardo.- es una formación geológica que proporciona cantidades de agua subterránea a los pozos, drenajes y manantiales de manera lenta a comparación de un acuífero.

Acuicludo.- son estratos impermeables que obstaculizan o impiden el libre movimiento del agua.

Acuifugo.- es una formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella.

Una característica del nivel freático es que éste varía según las estaciones y de un año a otro, ya que la entrada de agua está relacionada con el régimen de precipitación, la cantidad y la distribución. Debido a que el agua subterránea tiende a desplazarse de manera lenta y con variación en las velocidades de acuerdo a las condiciones, es por ello que el agua tiende a apilarse debajo de las áreas altas entre valles de corrientes fluviales (Tarbuck y Lutgens, 2006).

Se puede definir a la recarga como la entrada de agua hasta la zona de saturación, esta entrada puede darse de manera vertical cuando el agua percola hasta alcanzar la zona saturada, a este tipo de recarga se la llama recarga directa, la fuerza de gravedad es la energía que propicia este tipo de movimientos, debido a que el agua tiende a moverse y llenar espacios, es decir, de lugares donde el nivel freático sea mayor hasta uno que presente un nivel más bajo, influyendo de igual manera las condiciones hidráulicas que presente el perfil del suelo, a esta última se le puede llamar recarga indirecta (Tarbuck y Lutgens, 2006 y Lerner, et al.,1990).

Tarbuck y Lutgens, (2006) mencionan que existen tres tipos de interacciones entre las corrientes superficiales y las subterráneas:

1. La pérdida desde la superficie de volúmenes de agua que se infiltran al subsuelo durante el escurrimiento superficial se denominan corrientes influentes, para que este fenómeno ocurra el nivel freático tiene que ser inferior a la superficie de la corriente
2. Las corrientes superficiales que reciben aportaciones por parte de aguas subterráneas, para que esto suceda el nivel freático tiene que ser mayor al de la superficie de la corriente
3. La tercera posibilidad es una mezcla entre estas dos, se puede recibir agua subterránea en determinadas zonas e infiltrarse en aquellas donde se cumpla esta condición

Los tipos de recarga pueden presentarse de una manera natural, cuando existen precipitaciones, por la presencia de humedales, ríos o lagos que aportan agua hacia la zona saturada, a su vez puede darse la transferencia de un acuífero a otro; sin embargo también pueden ocurrir de manera artificial causada por las actividades humanas como puede ser el riego, fugas de sistemas de abastecimiento o por las infiltraciones por embalses (Velez et al., 2004).

1.4. Factores que afectan la recarga de acuíferos

La recarga hídrica depende del régimen de precipitación, la escorrentía superficial, permeabilidad del suelo, humedad, la duración e intensidad de la lluvia, de las características del suelo y de su patrón de drenaje (Matus et al., 2009).

1.4.1. Factores Naturales

Lerner (1990) presenta una lista elaborada por Rushton en 1988, donde presenta los factores que afectan a la recarga:

De la superficie terrestre: Topografía, escorrentía, acumulación de agua, patrones de cultivo y evapotranspiración actual.

Precipitación su magnitud, intensidad, duración y distribución espacial.

Irrigación: horario en que se realiza el riego, pérdidas en los canales o en los cursos de agua que irrigan las áreas de cultivo, preparación de la tierra.

Ríos: flujo de ríos hacia el área de estudio, flujo de ríos hacia el exterior del área de estudio, ríos que ganan o pierden agua del agua subterránea.

Suelo: naturaleza del suelo, profundidad, variabilidad de las propiedades hidráulicas, variaciones de las características del suelo con respecto a la extensión lateral y la profundidad de la zona de las raíces, capacidad que tiene el suelo para agrietarse al secarse o de expandirse cuando se humedece.

Zona no saturada entre el suelo y el acuífero: mecanismos de flujo a través de la zona insaturada, zonas con diferente conductividad hidráulica.

Acuífero: capacidad del acuífero para permitir la entrada de agua, la variación de las condiciones del acuífero a través del tiempo (Lerner et al., 1990).

El clima es un componente importante para la recarga y se considera la cantidad de lluvia que se precipita en la zona y la evapotranspiración en el área debida a la temperatura (Matus et al., 2009).

Los suelos que permiten una mayor recarga no se encuentran compactados y son permeables. La textura, densidad aparente, el grado de saturación y la capacidad de infiltración son características que se consideran para determinar si existe una mayor o menor infiltración de agua. (Matus et al., 2009). El suelo influye en la composición química del agua, está determinada por los solutos marinos y por los gases de la atmósfera, pero una vez en él se comienza una interacción agua-suelo, durante el proceso de infiltración y la circulación del agua en el subsuelo. Los procesos que interfieren son: la disolución de CO_2 en el agua durante el paso por la zona edáfica; la precipitación y disolución de minerales; adsorción de sustancias disueltas en el agua sobre arcillas, materia orgánica y óxidos de hierro (Manzano y Custodio, 2005).

La composición de las rocas en los distintos estratos puede afectar o permitir una mayor o menor recarga. La cobertura vegetal incide en un mayor contacto del agua con el suelo, disminuye la escorrentía y facilita la infiltración. La escorrentía es la cantidad de agua proveniente de la lluvia o el deshielo que escurre por la superficie del terrestre y que excede la capacidad de infiltración del suelo (Matus et al., 2009). La infiltración es el fenómeno por el cual el agua tiende a pasar de

manera vertical, desde la superficie hacia el interior de los cuerpos receptores por efecto de la gravedad (Matus et al., 2009).

La topografía influye en el tiempo de contacto entre la superficie terrestre y el agua, al existir una mayor pendiente el tiempo de contacto se reduce, por ende, la posibilidad de infiltración también (Matus et al., 2009).

La interceptación de la lluvia está constituida por variables como son: precipitación total; densidad vegetal en la cobertura vegetal, ésta determina el área ocupada por la copa de los árboles; estratificación de la cobertura; el fenómeno de epifitismo, el cual aumenta el contacto entre la lluvia y la superficie cubierta por la vegetación; el manejo de los bosques, convirtiéndose en factores que determinan la cantidad de agua que llega al suelo y en última instancia es quien alimenta los acuíferos y drenajes superficiales (Villegas, 2004)

1.4.2. Factores Antropogénicos

Todos los seres vivos guardan una estrecha relación con el agua, el ser humano ha logrado aprovechar este recurso al máximo haciendo un manejo de éste, ha tenido la capacidad de obtenerlo desarrollando infraestructura para poder realizar extracciones del subsuelo, a medida que la población aumenta genera una mayor presión sobre el recurso, en consecuencia una mayor demanda para satisfacer sus necesidades. Anteriormente el objetivo del manejo del agua consistía en asegurar la disponibilidad del recurso agua en cantidad, calidad y confiabilidad, si ocurría algún problema se resolvía incrementando su oferta, con una mayor extracción (Ruelas y Chávez, 2006).

La Ley de Aguas Nacionales (1992) define al uso como “la aplicación del agua a una actividad que implique el consumo, parcial o total de ese recurso. Así mismo contempla los distintos usos a los cuales está destinada y dentro de los cuales destacan:

Uso agrícola: En riego destinado a la producción agrícola y la preparación de esta para la primera enajenación.

Uso industrial: En fábricas o empresas que realicen extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, así como el agua que se utiliza en

parques industriales, calderas, dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

Uso pecuario: Para la cría y engorda de ganado, aves de corral y otros animales, y su preparación para la primera enajenación; no incluye el riego de pastizales.

Uso público urbano: aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos.

1.5. Balance hidrológico

Los hidrólogos modernos conceptualizan el ciclo hidrológico como un gran sistema, basados en esto se puede dar un enfoque más cuantitativo y racional del recurso, y así conocer la cantidad de agua que se involucra en cada fase de éste (Campos, 1998).

Campos, (1998) define a los sistemas hidrológicos como “un conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de alguna forma de interdependencia, que actúa sobre un grupo de variables de entrada para convertirlas en salida”. Cada uno de los elementos o procesos que lo conforman son el resultado de una serie de complejas interrelaciones de varios factores con alta variabilidad espacio-temporal y difícil de ser cuantificables. Sin embargo existen modelos de simulación que permiten realizar una evaluación de parámetros estadísticos, como los modelos de simulación estocásticos que generan una serie de datos hidrológicos.

Para poder realizar un análisis o estudio del ciclo hidrológico, es necesario identificar y aislar los componentes del sistema por donde pasa el agua y el proceso dinámico por el cual el movimiento ocurre para poder realizar las simulaciones del sistema. Basados en el principio de un sistema entradas-interacción-salida, y en función del principio de la conservación de la masa y energía surge la ecuación de balance hidrológico, donde se puede llevar a cabo una relación entre las cantidades de agua que circulan por el ciclo:

Entradas – Salidas = Cambio de Almacenamiento (Campos, 1998).

La Norma Oficial Mexicana 011 de la CONAGUA (NOM-011-CONAGUA, 2000) establece la metodología para determinar la disponibilidad media anual de las aguas superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento, utilizando un balance hidrológico. La misma norma define a la disponibilidad media anual como el “volumen medio anual que se puede extraer para diversos usos, adicionalmente a los volúmenes concesionados en el año y la descarga anual comprometida, considerando evitar poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas”.

1.6. Gestión del recurso agua

De las definiciones de ambiente establecidas por las diferentes disciplinas destacan las que incluyen las circunstancias sociales, culturales y económicas de los seres humanos y no se limitan en definirlo como los factores físicos y biológicos que interactúan en un espacio determinado. Bajo este criterio se puede integrar a la sociedad y caracterizar sus relaciones y la influencia que tiene sobre el medio natural (Vargas, 1998).

Si se desea mantener una disponibilidad en el recurso, es necesario que la sociedad sea la que realice una planeación de manera regional, considerando la satisfacción de las necesidades humanas, ecológicas actuales y futuras, a partir de esto que sean ellos mismos quienes determinen las prioridades que se puedan satisfacer (Ruelas y Chávez, 2006). Para alcanzar esto, una medida de regulación es implementar un mecanismo económico, en donde se contemple al agua dentro de éste. Para que esto sea factible se tienen que contemplar al menos tres requisitos de vital importancia que son: 1) la demanda debe ser mayor que la oferta, 2) que el recurso se provea cuando se necesite y 3) que la movilidad del recurso sea viable (Ruelas y Chávez, 2006).

Es necesario llevar a cabo un manejo integrado que considere aspectos tanto sociales como ambientales, este manejo considera el uso de agua superficial como las aguas subterráneas considerando aspectos de calidad y cantidad. El manejo integral busca agregar a la planeación el aspecto ambiental, el que no era considerado con anterioridad, las necesidades del ambiente se veían relegadas

por las necesidades sociales. Una planeación colaborativa debe aplicarse para un buen manejo del recurso agua, enfocado hacia cumplir su objetivo principal que es considerar e integrar todas las visiones que caracterizan los problemas asociados con el manejo de los recursos naturales (Ruelas y Chávez, 2006).

La sobreexplotación de las aguas subterráneas presenta diferentes respuestas del acuífero, dentro de ellas está la modificación del medio natural, como la reducción de agua disponible para la vegetación y para los drenajes de agua dulce que sostienen la fauna herbívora, también se pueden ver modificados los patrones de inundación en los humedales, transformándolos de humedales permanentes a temporales, de estacionales a interanuales y en últimas consecuencia su desaparición (Manzano y Custodio, 2005).

Una de las principales actividades humanas que repercuten en la disponibilidad de agua en los acuíferos es el riego de zonas agrícolas, algunos acuíferos dependen únicamente de las lluvias estacionales. Los excedentes de riego no generan una recarga, puesto que el agua extraída proviene del mismo acuífero modificando la calidad del agua (Manzano y Custodio, 2005).

El desarrollo sostenible se basa o tiene su fundamento en el concepto de gestión, esto es, generar políticas que promuevan el desarrollo general, donde se contemplan los aspectos económicos, sociales y ambientales de una manera integral. Para llevar a cabo lo anterior se deben impulsar procesos de concertación y transacción entre los que utilizan los recursos, sociedad e instituciones, así como el aprovechamiento que realicen de él (Vargas, 1998).

El estudio de la hidrología para poder determinar el rendimiento de un acuífero presenta nuevos retos, como establecer una producción que refleje las variaciones naturales de los sistemas de aguas subterráneas en el tiempo, considerar también las Características climáticas, la respuesta del ecosistema y el continuo avance de la tecnología. Bajo este criterio no se pudo proponer un correcto manejo, ni implementar políticas si se somete a análisis únicamente una sola de éstas variables (Pierce et al., 2012).

La disponibilidad de agua está definida por un subconjunto de rendimientos, basados en la definición de grados de extracción como son: rendimiento seguro,

rendimiento sostenido, rendimiento permisivo sostenible y rendimiento sostenible. Generalmente estos rendimientos dependen de la interpretación hidrogeológica que son evaluados con datos biofísicos y modelos de aproximación (Pierce et al., 2012).

Un conocimiento profundo de las interacciones cobertura vegetal-suelo con la disponibilidad de agua, sería el principio fundamental para realizar un ordenamiento y un manejo de cuencas hidrológicas. Partiendo de la cuenca como la unidad base del ordenamiento territorial y el desarrollo ambiental, haciendo uso de ese conocimiento se pueden aportar criterios con justificación científica y técnica para realizar actividades de uso de la vegetación, tanto en materia de conservación como de extracción (Villegas, 2004).

La Comisión Nacional del Agua es un órgano administrativo descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con funciones de Derecho Público y en México es la encargada de realizar la gestión del recurso agua considerada dentro de la ley como un bien nacional. Dicha comisión está facultada de igual manera para otorgar la concesión del recurso, dicha concesión se define de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales como el “título que otorga el ejecutivo federal, a través de la Comisión o del organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes, a las personas físicas o morales de carácter público y privado” (Ley de Aguas Nacionales, 1992)

I.7. Sistemas de Información geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es una tecnología que nos permite, procesar, manejar, analizar y representar cartográficamente datos de las diferentes variables que intervienen en la dinámica hidrogeológica. Además nos facilitan la presentación de la información georreferenciada por medio de diferentes mapas temáticos para cada uno de los atributos con los cuales se desea trabajar, un SIG realiza el análisis y el procesamiento de datos que sean de nuestro interés de entrada y salida de los modelos matemáticos de simulación. (Esteller et al., 2002)

II. Justificación.

La cuenca del valle de Santiaguillo es una zona de gran importancia económica-ambiental. En la cual de acuerdo a estudios por la SEMARNAT, (2008) el agua superficial se determina en un escurrimiento anual de 129 millones de metros cúbicos al año (hm^3), de los cuales el uso de agua superficial es de 8.38 hm^3 , con una evaporación de 84.3 hm^3 , donde más de la mitad del recurso se pierde de una manera natural. Con una infiltración de 36.99 hm^3 , recurso con el cual se atiende la demanda de los usuarios.

Se realiza un aprovechamiento subterráneo del recurso agua a través de 1228 pozos, que extraen un volumen de 29.76 hm^3 (SEMARNAT, 2008) empleándose ya sea en uso doméstico, agrícola, ganadería e industria. Los mayores consumos del recurso es en el sector agrícola con un 86% del volumen total extraído, seguido por el uso público urbano 12% (CONAGUA, 2009), estos dos últimos requieren atención inmediata en cuanto al consumo eficiente del recurso, con la finalidad de reducir los dispendios que podrían estar limitando el desarrollo de la cuenca, poniendo en riesgo su sustentabilidad.

Denotando lo anterior el principal uso de agua en la zona se destina a la actividad agrícola. Actualmente el acuífero presenta un déficit de 15.47 hm^3 (CONAGUA, 2009), dicho déficit es tal que podría poner en riesgo la sustentabilidad de las actividades que dependen de ella.

Es por ello que surge la necesidad de realizar un estudio de los factores que están perturbando la disponibilidad del recurso, y determinar con bases técnicas y científicas cuáles de ellos pueden ser controlados mediante procesos de gestión integrada a fin de no comprometer el recurso agua, y asegurar la sustentabilidad y el desarrollo de la zona disminuyendo los impactos ambientales.

III. Objetivo.

Evaluar los factores naturales y antropogénicos a nivel microcuenca que influyen en la disponibilidad de agua para proponer alternativas de uso sustentable en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo.

3.1. Objetivos específicos.

1. Analizar la cuenca mediante el uso de sistemas de información geográfica para elaborar una descripción de la zona de estudio.
2. Elaborar el balance hídrico integral para identificar la condición de la cuenca y los factores que afectan la disponibilidad de agua a nivel microcuenca.
3. Proponer líneas de políticas locales para identificar oportunidades de gestión con una visión de sustentabilidad.

IV. Hipótesis

Las condiciones hidrológicas naturales del valle de Santiaguillo han sufrido alteraciones significativas, provocadas por cambios en el uso de suelo en grandes extensiones de terrenos naturales, adicionalmente se extrae agua subterránea de forma inmoderada para la satisfacción de los diferentes usos humanos, lo que ha traído como consecuencia un estrés hídrico de la cuenca.

Mediante una adecuada gestión fundada en el conocimiento de los factores naturales y antropogénicos que afectan la disponibilidad de agua, es factible restablecer las condiciones de uso sustentable del agua en el acuífero del valle de Santiaguillo.

V. Metodología.

5.1 Materiales.

Los conjuntos de datos geográficos en formato vectorial y la Información demográfica fueron obtenidos del INEGI, así como los principales ríos en la zona mediante el uso del simulador de flujos de aguas de cuencas hidrográficas (SIATL).

Se obtuvo información de la CONAGUA en materia de infraestructura hidráulica, el registro público derechos de agua (REPDA) y las perforaciones de pozos en el registro de aprovechamientos en zonas de libre alumbramiento (Folio 8), información meteorológica de los registros del Servicio Meteorológico Nacional.

El análisis espacial se realizó mediante el uso del paquete informático Arcgis 9.3.

Se utilizó un GPS marca Garmin Oregon 550, para realizar la verificación en campo.

5.2 Metodología.

5.2.1. Área de estudio.

Ubicación

La cuenca del Valle de Santiaguillo es una cuenca endorreica perteneciente a la región hidrológica número 11 del Río San Pedro Mezquital (Figura 1), administrativamente la consideran una subcuenca, sin embargo para ésta investigación se trabajó bajo el concepto de cuenca. Sus coordenadas extremas son: N 2'786,460, S 2'720,378, E 541,874, O 467,170 (proyección cartográfica UTM y datum WGS 84). Cubre una superficie de 2,542.16 km² distribuidos en seis municipios del estado de Durango, los que presentan una mayor extensión territorial dentro de ella son: Nuevo Ideal 1,554.5 km², Canatlán 474.6 km² y Santiago Papasquiaro 457.3 km² (INEGI, 2010).

De acuerdo con el último censo realizado por el INEGI en el año 2010 la población es de 33,485 habitantes distribuidos en 135 localidades. Las principales actividades económicas de la zona son: la agricultura, la ganadería, el comercio y la fruticultura.

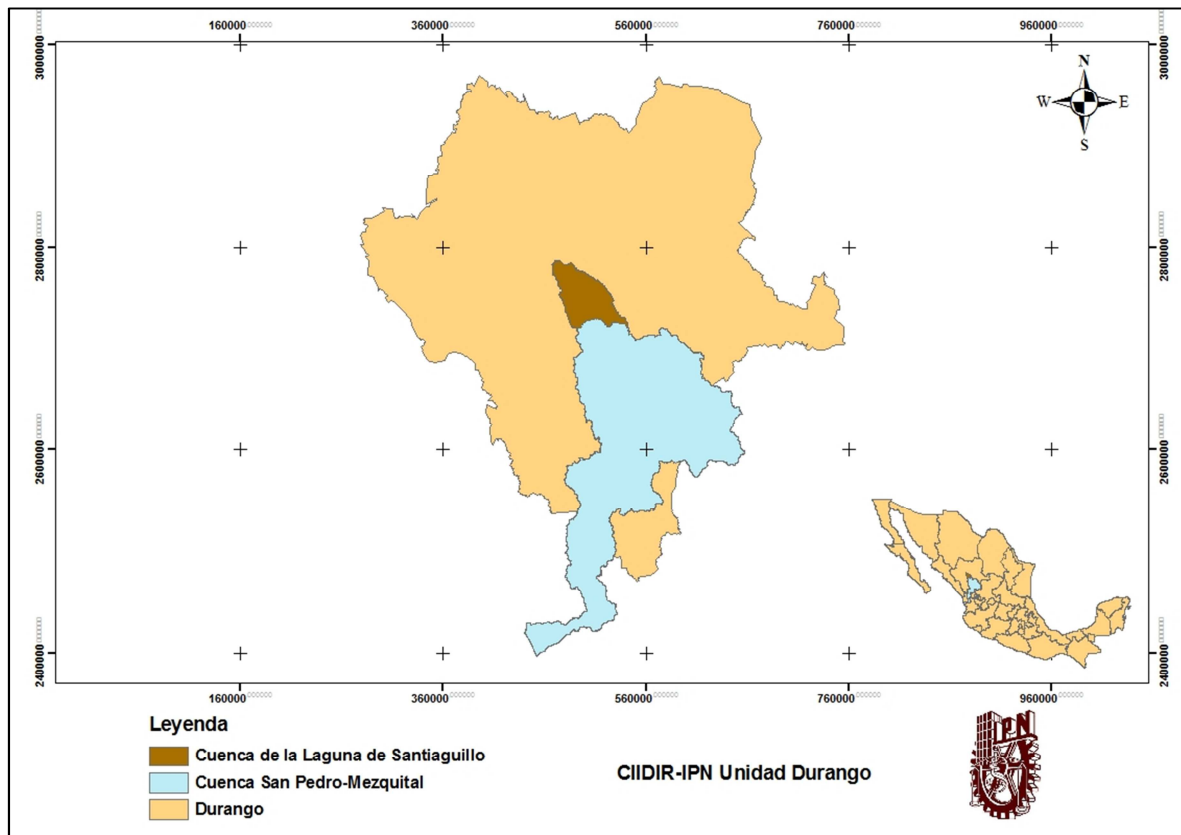


Figura 1. Ubicación de área de estudio

5.2.2 Análisis espacial.

Para realizar la descripción del área de estudio se elaboraron mapas a partir del polígono de la cuenca de la Laguna de Santiaguillo bajo el siguiente guion:

1. Pendiente
2. Geología
3. Fisiografía
4. Subprovincias
5. Topoformas
6. Temperatura media anual
7. Precipitación media anual
8. Clima
9. Hidrografía e infraestructura hidráulica
10. Unidades hidrogeológicas
11. Suelos

12. Uso de suelo y vegetación

13. Agricultura

14. Municipios localidades red de caminos

5.2.3. Delimitación y parámetros geomorfológicos de las microcuencas

Se utilizó el modelo digital de elevación (MDE) del INEGI para delimitar microcuencas a escala 1:50,000 y un tamaño de pixel de 50 metros. Se ubicaron las zonas más altas que conforman el parteaguas de los escurrimientos principales de la carta hidrológica de aguas superficiales, escala 1:250,000, de igual manera, se utilizaron los datos vectoriales obtenidos del Simulador de Aguas escala 1:50,000 del simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL) para determinar las escorrentías secundarias que convergen en las principales establecidas por los datos vectoriales del INEGI, los polígonos se crearon mediante un análisis visual en el programa Arcgis (versión 9.3).

En campo se realizó la verificación del trazo de las microcuencas en las zonas planas mediante un recorrido sobre la carretera Canatlán-Santiago Papasquiaro que intersecta los parteaguas correspondientes a las vertientes oeste dentro de los límites de la cuenca, se establecieron los parteaguas con un GPS Garmin Oregon 550 bajo un sistema de coordenadas UTM con Datum WGS84 Zona 13.

Una vez delimitadas las microcuencas se analizaron bajo el siguiente guion para conocer sus condiciones naturales y antropogénicas:

1. Geología
2. Hidrografía e infraestructura hidráulica
3. Unidades hidrogeológicas
4. Suelos
5. Agricultura
6. Bosques, pastizales y matorrales
7. Municipios localidades red de caminos
8. Registro Público de Derechos de Agua Superficial
9. Registro Público de Derechos de Agua Subterránea
10. Localidades

Cada microcuenca se sobrepuso por capas de los conjuntos vectoriales de los datos naturales que influyen en la disponibilidad de agua, de igual manera las capas vectoriales de infraestructura hidráulica, carreteras, localidades, zonas agrícolas facilitaron el análisis espacial de los factores antrópicos y la influencia que tienen en la zona con respecto la disponibilidad de agua. Esto permitió tener un panorama de la dinámica natural y social del ciclo del agua dentro de la zona.

5.2.4. Parámetros geomorfológicos.

Se calculó el área y la longitud del cauce utilizando el programa mencionado en párrafos anteriores.

La pendiente refleja la inclinación del terreno expresado en grados. Se estimó la pendiente media utilizando la ecuación 1:

$$Pm = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

Pm: pendiente media

H_{max}: cota máxima

H_{min}: cota mínima

L: longitud del cauce

Factor de forma Horton (Hf) muestra la relación que guarda el área de la cuenca con el cuadrado de la longitud axial. Se calculó mediante la ecuación 2.

$$Hf = \frac{A}{La^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Hf: factor de Horton

A: área

La: longitud axial

Razón circular de Miller (R_c) se define como la razón del área de la cuenca al área de un círculo que cuenta con el mismo perímetro de la cuenca. Fue determinada mediante la ecuación 3.

$$R_c = \frac{A}{A_c} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

R_c : factor razón circular

A : área de la cuenca

A_c : área de un círculo

Coeficiente de compacidad de Gravellius (K_c) se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo, el cual presenta la misma área de la cuenca. Se estimó este parámetro bajo el uso de la ecuación 4.

$$K_c = \frac{P}{P_c} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

K_c : coeficiente de compacidad

P : perímetro de la cuenca

P_c : perímetro del círculo

El índice de alargamiento (I_a) relaciona la longitud máxima de la cuenca con su ancho máximo medido perpendicularmente a la dimensión anterior (ecuación 5).

$$I_a = \frac{L_a}{a} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

I_a : índice de alargamiento

L_a : longitud axial

a : ancho máximo de la cuenca

Tiempo de concentración (Tc) es el tiempo, que en teoría, tardan en desembocar los escurrimientos desde la parte más alta de la cuenca ecuación 6

$$T_c = \frac{0.870 * L^3}{H_{maz} - H_{min}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Tc: tiempo de concentración

L: longitud del cauce

Hmax: Altitud máxima

Hmin: Altitud mínima

5.2.5. Balance hidrológico integral.

La evaluación del balance se realizó a nivel microcuenca utilizando la metodología señalada por la NOM-011-CONAGUA-2000.

La fórmula general aplicada para aguas superficiales fue:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Disponibilidad media} & & \text{Volumen medio anual de} & & \text{Volumen anual} \\ \text{anual de agua} & = & \text{escurrimiento de la cuenca} & - & \text{actual comprometido} \\ \text{superficial} & & \text{hacia aguas abajo} & & \text{aguas abajo} \end{array}$$

La presencia de infraestructura hidráulica destinada para la agricultura de riego a partir de agua rodada dentro de las microcuencas Las Jarillas, El Candado y Tejamen, obligó a delimitar la cuenca aguas arriba y la cuenca aguas abajo las cuales se dividen por las cortinas de las obras, esto permitió calcular las entradas anuales a los embalses y evaluar la condición en los volúmenes concesionados anuales con las entradas anuales.

El modelo matemático es:

$$ppma \times A \times C.E. = \text{Esgurrimiento propio}$$

$$\text{Esgurrimiento propio} + R - C.U. = \text{Volumen escurrido real}$$

ppma= precipitación media anual

A= área de la cuenca

C.E.= coeficiente de escurrimiento

R= volumen de los retornos

U.C.= Uso consuntivo

Se determinaron los retornos, que surgen del exceso de agua extraída para riegos, proveniente del volumen de agua subterránea concesionado del registro público de derechos de agua (REPDA).

Se estimó la disponibilidad de agua superficial a partir de la fórmula:

$$\text{Disponibilidad superficial} = \text{Volumen medio anual escurrido hacia la cuenca aguas abajo} - \text{Volumen medio anual comprometido aguas abajo}$$

El balance hidrológico subterráneo se basó en el siguiente modelo matemático para obtener la recarga media anual (RMA).

$$\text{Volumen precipitado} \times \text{Coeficiente de infiltración} = \text{Volumen infiltrado}$$

$$\text{Retornos} + \text{Volumen infiltrado} - \text{Evapotranspiración} - \text{Extracción} = \text{RMA}$$

La fórmula para obtener la disponibilidad anual subterránea:

$$\text{Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica} = \text{Recarga total media anual} - \text{Descarga natural comprometida} - \text{Volumen concesionado de agua subterránea}$$

5.2.6. Precipitación normal en las microcuencas

La precipitación (PP) se calculó a partir de los datos anualizados normales de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional de Guatimapé (10137), Tejamen (10083), El Pino (10022), Chinacates (10016) y Coneto de Comonfort (10129), con las cuales se construyeron los polígonos de Thiessen y determinar el área de validez de los datos de cada estación. Para las microcuencas que presentan más de un polígono se multiplicaron cada área por la precipitación media anual de su estación y se sumaron para obtener el volumen precipitado anual (ecuación 7).

$$Pp = \Sigma(A_1 * ppmaest_1 + A_2 * ppmaest_2 + \dots + A_n * Ppmaest_n) \text{ Ecuación 7}$$

Pp= precipitación

A= área en metros cuadrados

Ppmaest= precipitación media anual por estación

5.2.7. Coeficiente de escurrimiento

Se estimó el coeficiente de escurrimiento como lo señala la NOM-011-CONAGUA-2000 de acuerdo a las características del suelo y su uso (parámetro K) de cada microcuenca, se realizó un geoproceso de intersección con las cartas de suelos, uso de suelo y vegetación (Figura 2), al archivo vectorial obtenido se le añadió una columna en la tabla de atributos, donde a cada polígono creado se le asignaron sus valores correspondientes de acuerdo al Cuadro 1. Se obtuvo una K ponderada considerando el porcentaje de área que ocupa con respecto al valor especificado dentro de la norma la cual contempla los tipos de suelo: A Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos; B Suelos medianamente permeables; arenas de mediana porosidad loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A y terrenos migajosos y C Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable

Cuadro 1. Valores de K en función del tipo y uso de suelo

Uso de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos	0.24	0.27	0.30
Pastizales porcentaje de suelo cubierto o pastoreo:			
Más de 75% -Poco-	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75% -Regular-	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% -Excesivo-	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.30	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30

Fuente NOM-011-CONAGUA-2000

Para obtener el coeficiente de escurrimiento para cada microcuenca se aplicó la ecuación 8.

$$Ce = K * \frac{(pp-250)}{2000} + \frac{K-0.15}{1.5} \quad \text{Ecuación 8}$$

Ce= Coeficiente de escurrimiento

K= parámetro de escurrimiento

pp= precipitación media anual

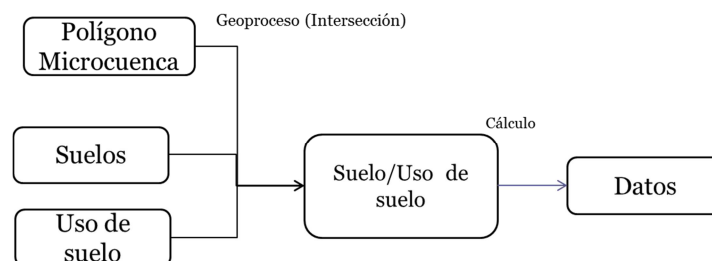


Figura 2. Intersección de los tipos de suelo y el uso de suelo

5.2.8. Coeficiente de infiltración

El porcentaje de infiltración se estimó a partir de la publicación del IMTA, (2006) “Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas”.

Se estimó de acuerdo a las características del suelo, la litología superficial y su respectivo porcentaje de infiltración de lluvia. Se realizó un geoproceso de intersección (Figura 3) con las cartas de suelos, litología superficial e hidrogeología, se calculó la precipitación sobre los tipos de suelo, a partir de ahí se estimaron los porcentajes de infiltración en el suelo y roca.

La ecuación 9 se utilizó para el cálculo de infiltración:

$$VI = \sum pp * A_p * PI_{ts} * PI_{tr} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

VI: volumen infiltrado

Ap: área del polígono

Pp: precipitación media anual de la estación

PI_{ts}: Porcentaje de infiltración por tipo de suelo

PI_{tr}: Porcentaje de infiltración por tipo de roca

Se determinaron los acuíferos para cada microcuenca tomando como referencia el material no consolidado de la carta hidrogeológica del INEGI escala 1:250,000, el volumen infiltrados sobre el material no consolidado se consideraron dentro del balance hidrológico integral como entradas verticales, sobre el material consolidado se contabilizaron como las entadas horizontales

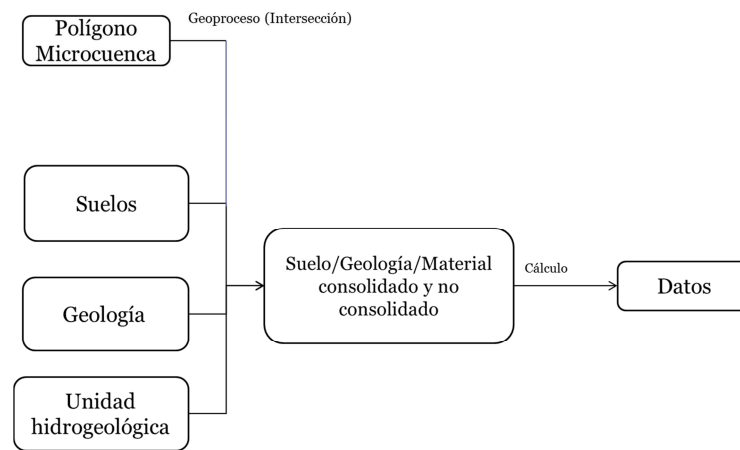


Figura 3. Intersección de geología con suelos y unidad hidrogeológica

5.2.8. Evapotranspiración.

Para calcular los volúmenes evapotranspirados del acuífero se realizó una ponderación de la superficie de acuífero por microcuenca y se multiplicó por la evapotranspiración calculada en el estudio técnico justificativo realizado por la SEMARNAT (2008).

5.2.9. Descripción sociodemográfica.

Se recopiló información de los años 1990 al 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para conocer por microcuenca el total de la población, los crecimientos en el número de habitantes; mediante gráficas y tasa de crecimiento poblacional.

La tasa de crecimiento poblacional se calculó mediante la ecuación 10.

$$TP = \frac{\frac{puc-ppc}{ppc}}{No\ de\ años} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde

TP: tasa poblacional

puc: población del último censo

ppc: población del primer censo

Se determinaron las localidades de las microcuencas con el uso de los principales resultados por localidad (ITER 2010, INEGI), se añadieron al programa creando un archivo vectorial de puntos, a los cuales se les aplicó el geoproceso de cortar y dejar las localidades pertenecientes a cada microcuenca.

Con la información de población total del ITER 2010 se calculó la densidad poblacional utilizando la ecuación 11.

$$DP = \frac{\Sigma ploc}{Am} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

DP: densidad poblacional

$\Sigma ploc$: sumatoria de la población por localidad

Am: área de la microcuenca

5.2.10. Análisis de escenarios de políticas locales.

Se problematizó a partir de indicadores de presión en el recurso agua: a) lámina de riego b) dotación de agua diaria para uso público urbano, c) dotación de agua diaria para uso pecuario, con esto se obtuvo la demanda de política pública en aquellos microcuencas donde los usos fueron sujetos a acciones de gestión.

Para establecer las condiciones de sustentabilidad del uso de agua la cuenca, se realizó un análisis con base en 4 escenarios establecidos dentro de un simulador para conocer la respuesta de la cuenca.

Los usos se consideraron bajo dos grupos, tanto para agua superficial como agua subterránea, el uso agrícola y uso no agrícola, el segundo abarca todas las concesiones que maneja la CONAGUA dentro de las microcuencas bajo los títulos de: público urbano, pecuario, industrial, doméstico, múltiples y diferentes usos, esto obedece a la necesidad de trabajar sobre aquella concesión que actualmente ejerce una mayor presión del recurso en la zona.

Dados los antecedentes de la cuenca se muestra una mayor presión al acuífero, por ello es que se trabajó en las concesiones subterráneas.

Los escenarios utilizados fueron:

Escenario cero, Balance hidrológico integral considerando solo las condiciones naturales y sin introducir ningún uso humano.

Escenario ideal, Balance hidrológico integral de la condición ideal de cero sobreexplotación del recurso agua, es decir volumen usado no sobrepasa los volúmenes generados naturalmente. Este escenario permite visualizar las condiciones que llevarían a la sustentabilidad para hacer la evaluación de su viabilidad.

Escenario estatus Quo, Balance hidrológico integral realizado con los datos del registro público de derechos de agua de la Comisión Nacional del Agua

Escenario bajo, Balance hidrológico integral con condiciones alcanzables mediante planeación, promoción del uso eficiente del agua, principalmente en el uso agrícola, bajo esquemas de regulación normativa e inversión regular en acciones de baja y media tecnificación de los usos, las cuales permitirían reducir en 20% la extracción de agua subterránea.

Escenario medio, Balance hidrológico integral con condiciones alcanzables con restricciones normativas e inversión significativa de media y alta tecnificación, con esto se establece una reducción del orden del 35% de las pérdidas y dispendios alcanzando niveles medios de uso eficiente del agua, en particular en actividades agrícolas relacionadas con la extracción subterránea.

5.2.11. Descripción general del área de estudio.

Orografía.

La zona pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, y las subprovincias que lo conforman son la gran meseta y cañadas duranguenses, la cual tiene su origen en la parte sur hasta el oeste del territorio, el resto se describe como sierras y llanuras de Durango.

Se localiza dentro de un graben, es decir una depresión limitada por ambos lados por fallas levantadas, donde el terreno de la parte interna se ha hundido a causa de fuerzas internas (Griem, 2005), el relieve caracteriza a la cuenca debido a que la zona norte y sur presentan levantamientos que la encierran, confinando las precipitaciones dentro del área, convirtiéndola en una cuenca endorreica.

Dentro de la cuenca se cuenta con un sistema de topoformas de acuerdo al INEGI conformado por un cuerpo de agua en la parte central, rodeado por llanuras, el contorno de las llanuras se extiende de noroeste a sureste y esta considerado como sierra, una porción sur cuenta con una serie de lomeríos que se unen a la gran meseta que abarca gran parte del área siguiendo hasta el noroeste culminando en una bajada (Figura 4).

Con base en el modelo digital de elevación del INEGI se encuentran alturas que van desde 3207 msnm en la zona más alta de la gran meseta (sierra del Epazote), descendiendo hasta los 1960 msnm en la zona más baja, con pendientes pronunciadas en la zona suroeste de la gran meseta (sierra del Epazote) y la sierra (sierra de Coneto) y oscilan entre los 29 y 56 grados, llegando a pendientes de 0 a 4 grados en la zona de las llanuras, todas las pendientes descienden a los cuerpos naturales de agua ubicados en el centro de la zona (Figura 5 y Figura 6).

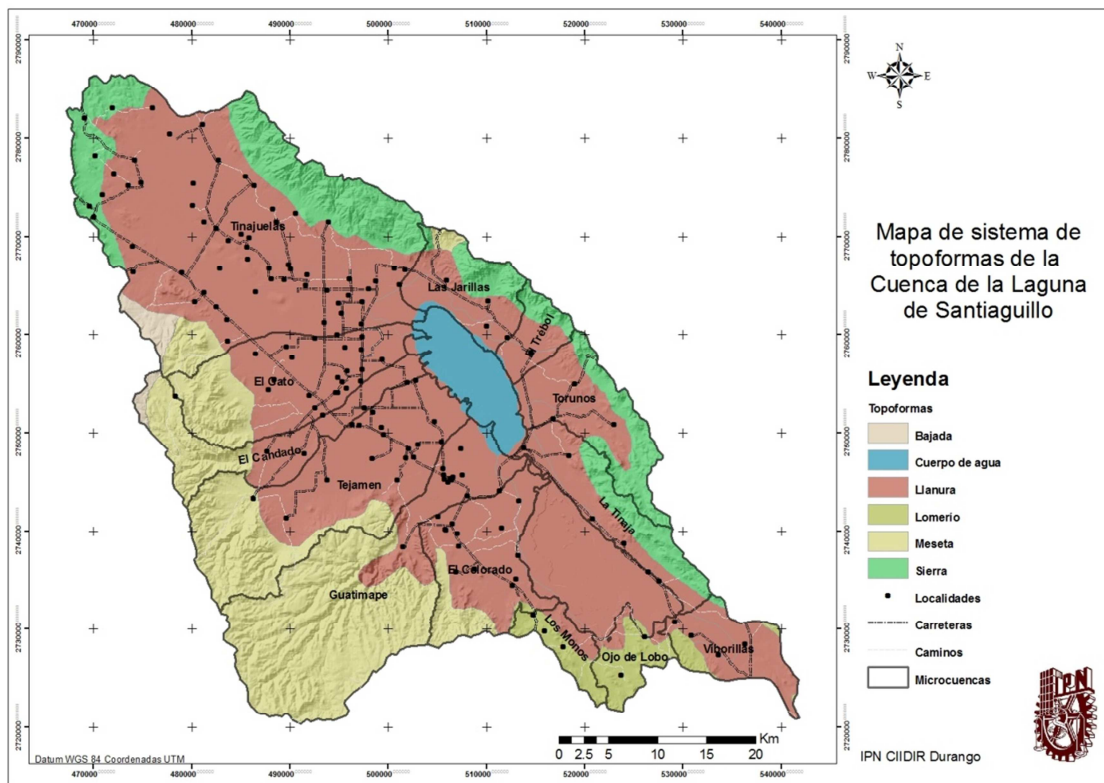


Figura 4. Mapa del sistema de topoformas

Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Perfil Topográfico de la cuenca

Cuenta con una altitud máxima de casi 3,200 msnm en la zona sureste, donde se caracteriza por contar con una topografía accidentada, con fuertes pendientes dentro de los primeros 15 km. Seguido de eso existe una extensión de 30 km donde la pendiente es suave, para después volver a presentar un incremento en la altitud cercano a los 2,000 msnm.

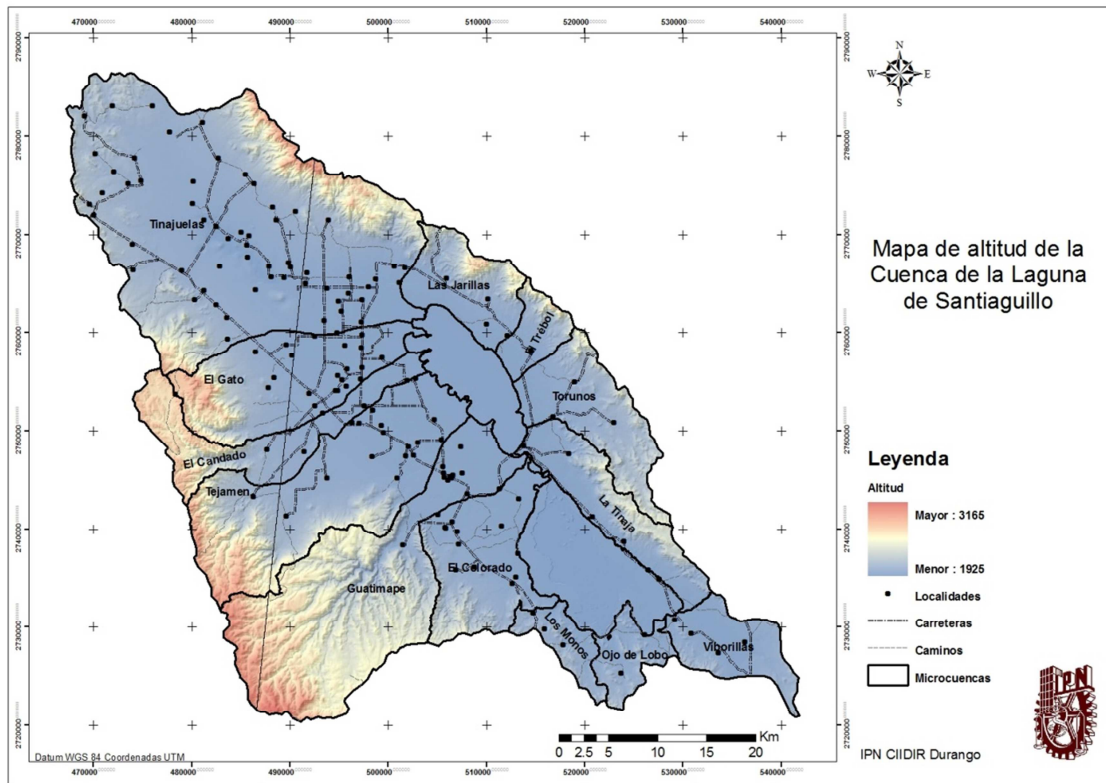


Figura 5. Mapa de altitud
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

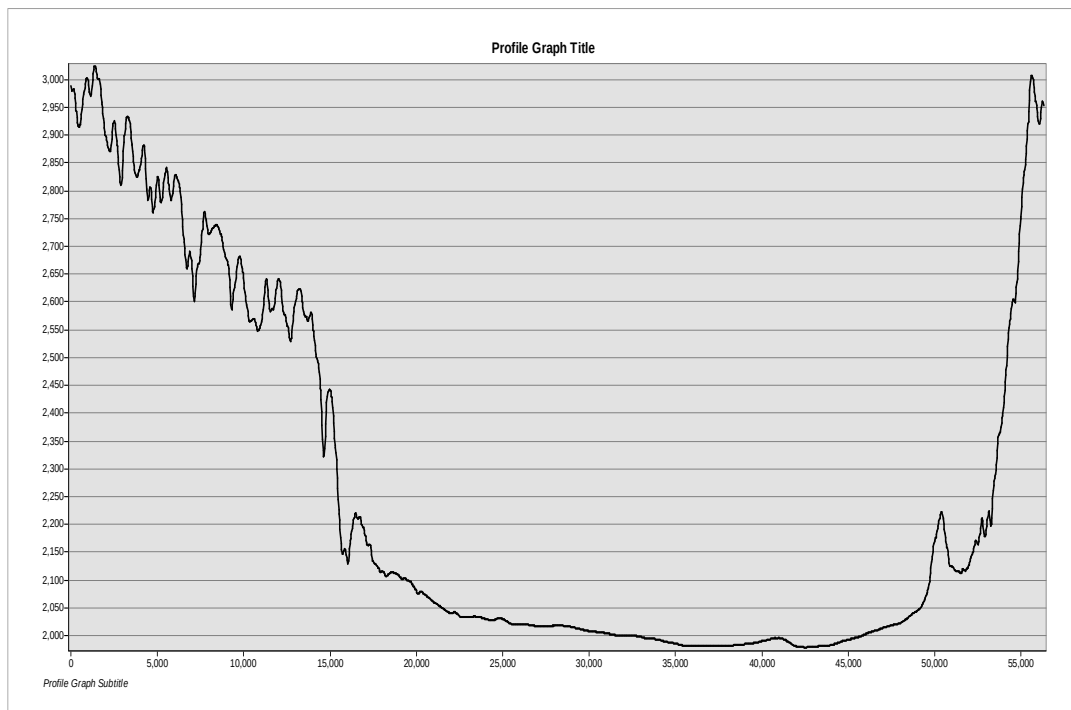


Figura 6. Perfil topográfico de la cuenca

Litología superficial

El área de estudio esta conformada por suelos aluviales, los cuales se encuentran en la zona de las llanuras y cubren el 40.95%, se les conoce como abanicos

aluviales, se encuentran al lado de cinturones montañosos y son materiales transportados por el agua, su tamaño varía desde la arcilla hasta gravas gruesas, cantos rodados y bloques (Figura 7 y Cuadro 2) (Molina Garza, 2013). Rocas de tipo riolita-toba ácida cubren 40.45% de la zona y se caracterizan por ser rocas volcánicas compuestas por cuarzo y feldespato alcalino. El 6.35% son medios sedimentarios lacustres los cuales permiten la presencia de sedimentos detríticos y biodetríticos, químicos, bioquímicos y orgánicos (Ayala, 2010).

Cuadro 2. Superficie por los tipos de roca que se encuentran en la cuenca

Tipo	Hectáreas	Porcentaje
Aluvial	104,106.72	40.95
Riolita-Toba Ácida	102,829.43	40.45
Lacustre	16,133.66	6.35
N/A Cuerpo de agua	12,064.05	4.75
Toba Ácida	7,952.36	3.13
Andesita	6,355.26	2.5
Conglomerado	3,474.02	1.37
Eólico	639.58	0.25
Basalto	365.68	0.14
Toba intermedia	163.88	0.06
Tonalita	131.58	0.05

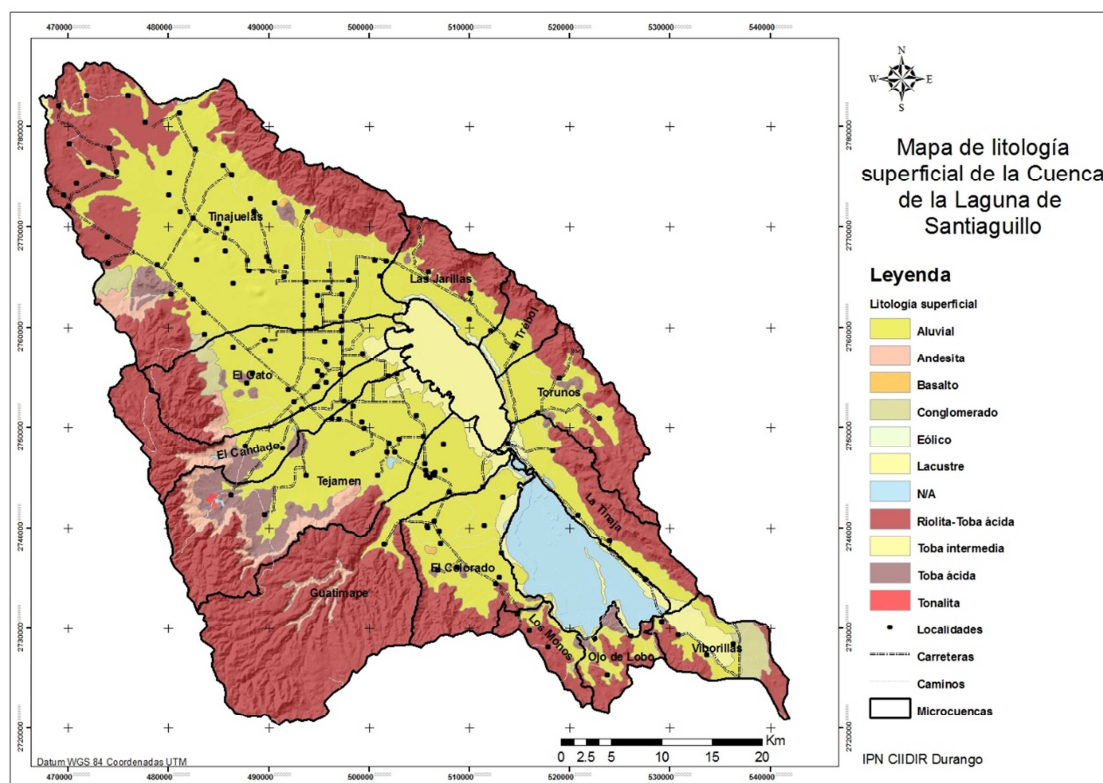


Figura 7. Mapa de litología superficial
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Clima

En la Figura 8 se muestra la distribución de los tipos de clima que se encuentran dentro de la cuenca Laguna de Santiaguillo y el Cuadro 3 presenta la extensión superficial de cada uno de ellos, de acuerdo al INEGI (2005) se clasifican:

- Semiseco templado cuya fórmula climatológica $BS_1 kw(w)$: Se presenta una temperatura media anual de 16°C , con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm, con lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido..
- Templado subhúmedo fórmula climatológica $C(w_0)$: temperatura media anual se encuentra entre 12°C y 18°C , temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C , precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5% al 10.2% anual.
- Templado subhúmedo fórmula climatológica $C(w_1)$: temperatura media anual entre 12°C y 18°C , la temperatura del mes más frío se encuentra entre -3°C y 18°C , temperatura del mes más caliente bajo 22°C , precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; porcentaje de lluvias de verano del 5 al 10.2 anual.
- Semifrío subhúmedo fórmula climatológica $C(E)(w_2)$ con lluvias en verano, su temperatura media anual se encuentra entre 5 y 12°C , temperatura del mes más frío entre menos 3° y 18° centígrados, la precipitación del mes seco es menor de 40 milímetros y con un porcentaje de precipitación invernal con respecto a la anual, entre 5 y 10.
- Semifrío subhúmedo formula climatologica $C(E)(w_1)$ con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 10°C , la precipitación media anual se encuentra entre los 600 y 700 mm, el porcentaje de lluvias invernales es mayor de 10.2.

Cuadro 3. Tipos de clima y su extensión en la cuenca

Clima	Hectáreas	Porcentaje
$BS_1kw(w)$	180,668.15	71.07
$C(E)(w_1)$	14,206.50	5.59
$C(E)(w_2)$	14,601.78	5.74
$C(w_0)$	26,044.58	10.25
$C(w_1)$	18,695.20	7.35

Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

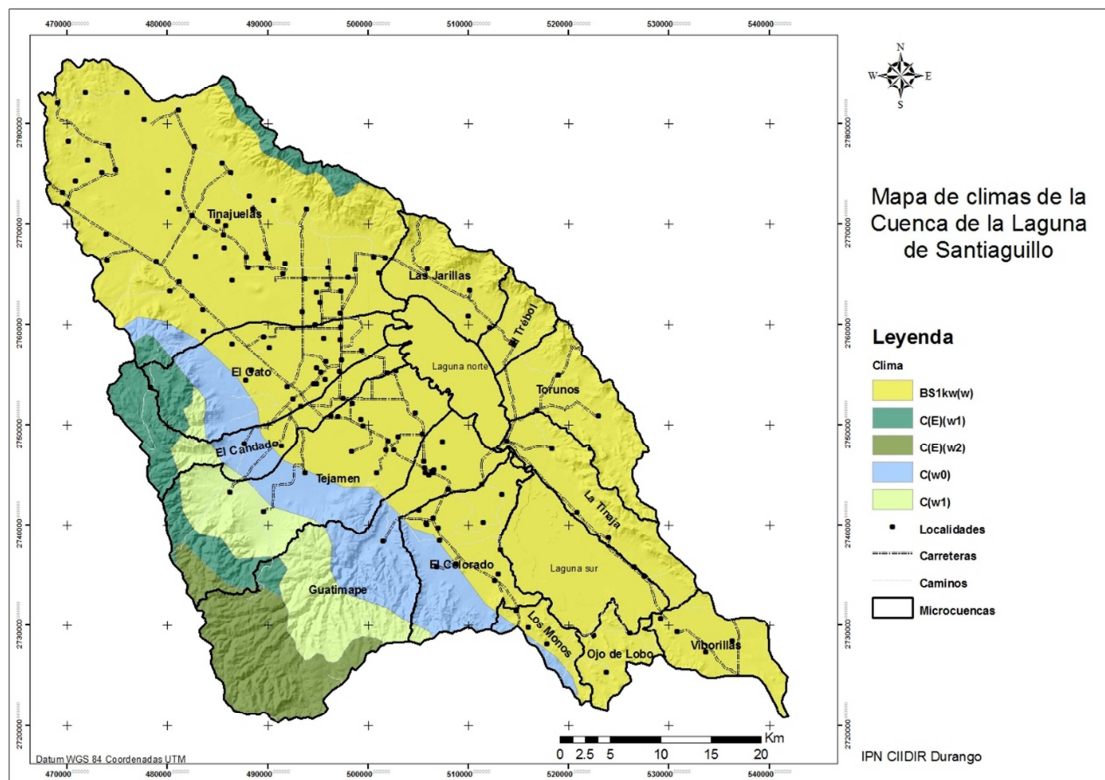


Figura 8. Mapa de climas
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Hidrografía

Los cuerpos de agua y escurrimientos superficiales de la zona se presentan en la Figura 9, el principal escurrimiento superficial de la cuenca en la zona norte es el arroyo Tinajuelas que tiene su origen en la sierra norte y desemboca en el cuerpo de agua norte de la Laguna de Santiaguillo, los arroyos San Antonio, Grande, Hondo, San Francisco y las Tinajitas nacen en la parte noreste y alimentan al arroyo Tinajuelas, en la zona noreste nacen los arroyos: los Alamos, Palos Colorados, Colorado y Salto de San Lucas quienes drenan de igual manera al arroyo Tinajuelas. El arroyo Zeta nace en la sierra noreste de la zona y desemboca en la laguna norte, el arroyo el Toboso tiene su origen en esta zona y es el principal aportador de agua al arroyo Zeta. Estos son los principales flujos de agua superficiales del municipio de Santiago Papasquiaro.

Del municipio de Nuevo Ideal en la zona oeste el arroyo El Gato tiene su origen en el cerro Santa Rosa pasa por un costado del municipio de Nuevo Ideal y desemboca en la laguna norte, el arroyo El Candado y el Río Guatimape o el Molino nacen en la Sierra del Epazote. Los arroyos Aliseos, Gigantes y Seco

desembocan en el arroyo Astilleros otra principal vertiente del área, de la zona este destacan los arroyos Hondo, Grande, Las Jarillas y Coyotillos. Todos los escurrimientos del municipio de Nuevo Ideal vierten sus aguas en la laguna norte.

Canatlán tiene los arroyos La Soledad, Los Ladrones, Calaveras y la Tinaja cuyas desembocaduras vierten sobre la Laguna Sur.

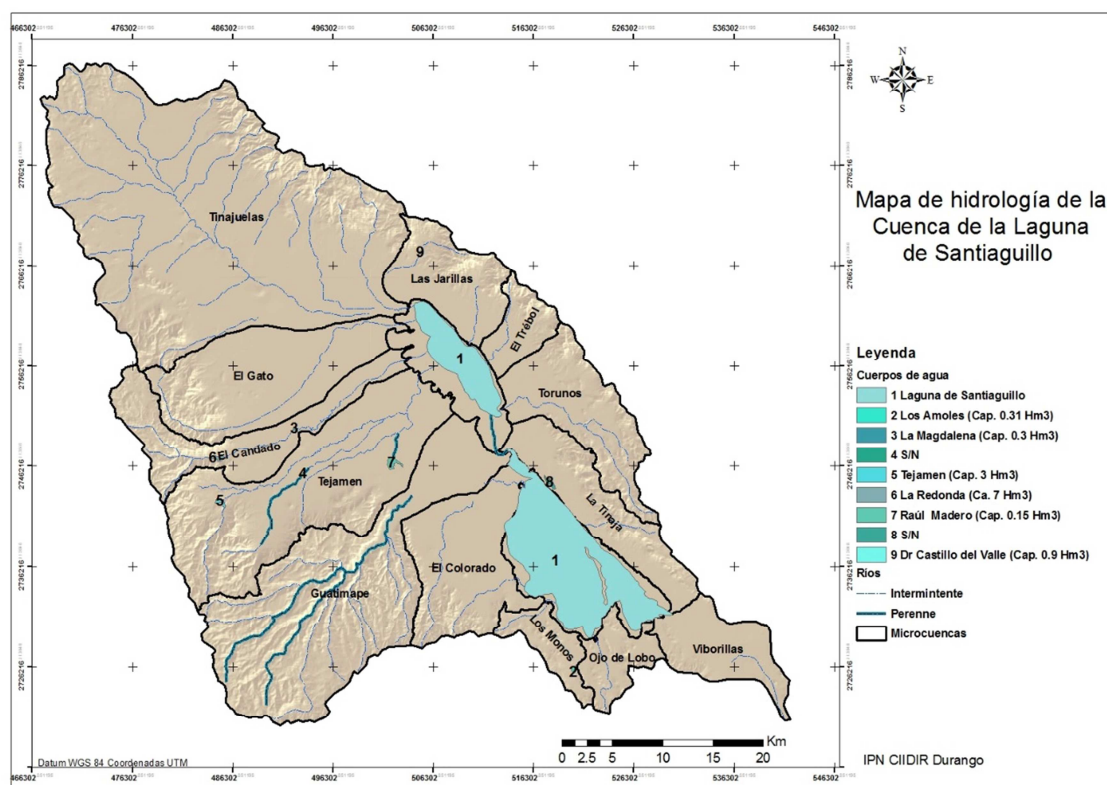


Figura 9. Mapa de hidrología superficial
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Suelos

La Figura 10 y Cuadro 4 presenta los suelos que se encuentran distribuidos en la cuenca son del tipo (INEGI, 2004. Silva, 1981):

- Vertisol se refiere a un tipo de suelo arcillosos, pesados y de textura fina, son impermeables, susceptible a inundaciones, son duros al secarse. Tiende a ser un suelo que se revuelve o voltea, son suelos de clima templados y cálidos, su vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales.
- El litosol con características de ser ácidos y con un espesor de 10 cm, descansa sobre de suelo tipo regosol y son suelos de poco desarrollo y

suelos como dunas, playas cenizas volcánicas no presentan horizontes y son suelos muy permeables.

- Solonchak es un tipo de suelo sálico contienen una gran cantidad de sales en alguna de sus capas, no son suelos agrícolas y requieren lavados intensos para destinarlos a pastizales de especies resistentes a la salinidad, se caracterizan por ser suelos muy permeables.
- Xerosoles que son suelos de zonas áridas, con un contenido moderado de materia orgánica, son suelos muy permeables, su vegetación natural es de matorral y pastizal, son de baja susceptibilidad a la erosión.
- Los fluvisoles son suelos aluviales caracterizados por estar compuestos de materiales acarreados su textura es gruesa, son arenosos y ligeros, son suelos muy permeables.
- Planosol son suelos desarrollados en relieves planos que en alguna parte del año se inundan, presentan una profundidad media entre 50 y 100 cm, su drenaje es deficiente y son susceptibles a erosionarse, son pobres en nutrientes, el horizonte B es tepetatoso y arcilloso caracterizándolos como suelos impermeables

Cuadro 4. Tipo de suelos de la cuenca

Tipo de suelo	Hectáreas	Porcentaje
Vertisol	65,673.76	25.83
Litosol	60,750.55	23.9
Regosol	49,138.42	19.33
Feozem	37,458.47	14.73
Solonchak	20,342.35	8.00
N/A Cuerpos agua	12,077.11	4.75
Xerosol	4,699.45	1.85
Fluvisol	3,173.10	1.25
Planosol	903.01	0.36

Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

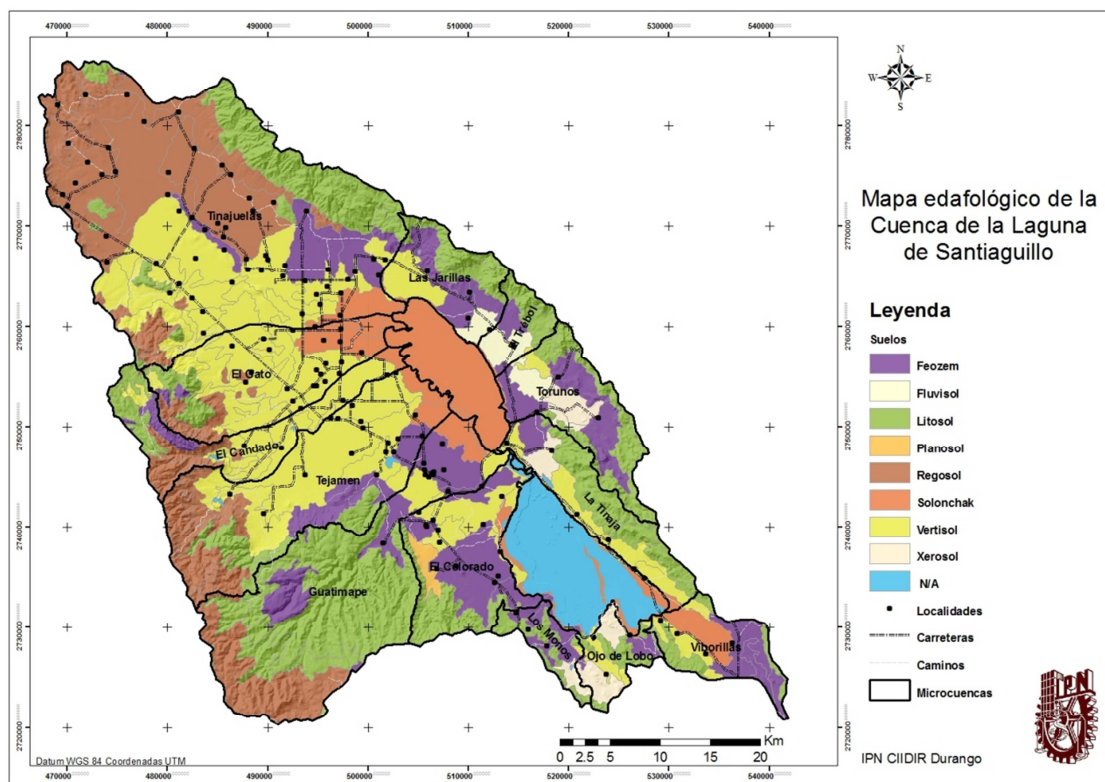


Figura 10. Mapa de tipo de suelos

Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

En cuanto a la textura del suelo la cuenca presenta una textura media en el 55.78% de su superficie, seguida de una textura fina con 30.46%, la textura gruesa ocupa el 9.01% del territorio, los 4.75% restantes pertenecen a la laguna sur y no se tienen datos en cuanto a su textura (Cuadro 5) .

Cuadro 5. Superficie del suelo por textura de la cuenca

Textura	Hectáreas	Porcentaje
Media	141,793.72	56
Fina	77,436.36	30
Gruesa	22,909.04	9
N/A Cuerpo de Agua	12,077.11	5

Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Cobertura del suelo

La distribución de las distintas coberturas del suelo se presentan en la Figura 11 y el Cuadro 6 muestra la superficie de las mismas

Se cuenta con presencia de bosques de pino, la mayor parte se ubica en la zona de la meseta que ocupa el 20.75% de la zona, los bosques de encino-pino ocupan el 3.50% principalmente se distribuye al este, el bosque de encino 2.43% se encuentra en determinadas zonas al norte, sureste y sur de la cuenca, el bosque

de pino encino que ocupa el 1.32% extendiéndose de la zona norte hasta el este de la sierra de coneto. Este tipo de bosques se desarrolla a altitudes entre los 1,000 y 3,000 msnm, donde el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperaturas entre los 16 y 20°C, con precipitaciones que varían entre 700 y 1,500 mm. Este tipo de bosque se puede encontrar sobre distintos tipos de roca: ígneas, metamórficas y sedimentarias; mientras que los suelos sobre los que se asienta son delgados y poco desarrollados, siendo litosol, regosol y cambisol los principales; pero también se encuentra sobre suelos originados por ceniza volcánica como el andosol. Los pinos y abetos son característicos del bosque de pino encino. En esta cobertura vegetal suele encontrarse gran diversidad de especies animales entre ellas podemos encontrar al venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), murciélagos, pumas (*Puma concolor*), gato montes (*Lynx rufus*), zorra norteña (*Vulpes macrotis*), águila real (*Aquila chrysaetos*), coyotes (*Canis latrans*) cotorras serranas del género *Rhynchopsitta*, y una gran diversidad de invertebrados como mariposas y abejorros (Guerrero, 2009 y Wikipedia, 2014).

El área de estudio cuenta con tres tipos de pastizales: 10.45% de la superficie de la cuenca presenta un pastizal natural, 3.47% un pastizal inducido y 2.58% es pastizal halófilo.

El 3.94% de la superficie es matorral crasicaule, dominan arbustos de tallos carnosos como los nopales; cactáceas del género *Opuntia* y otras.

Cuadro 6. Tipo de cobertura vegetal y superficie de la cuenca

Tipo de Vegetación	Hectáreas	Porcentaje
Matorral crasicaule	10,018.82	4
Bosque de encino	6,189.01	2
Bosque de encino-pino	8,896.92	4
Bosque de pino	52,760.43	21
Bosque de pino-encino	3,365.01	1
Pastizal halófilo	8,828.07	3
Pastizal inducido	6,563.35	3
Pastizal natural	26,561.50	10

Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

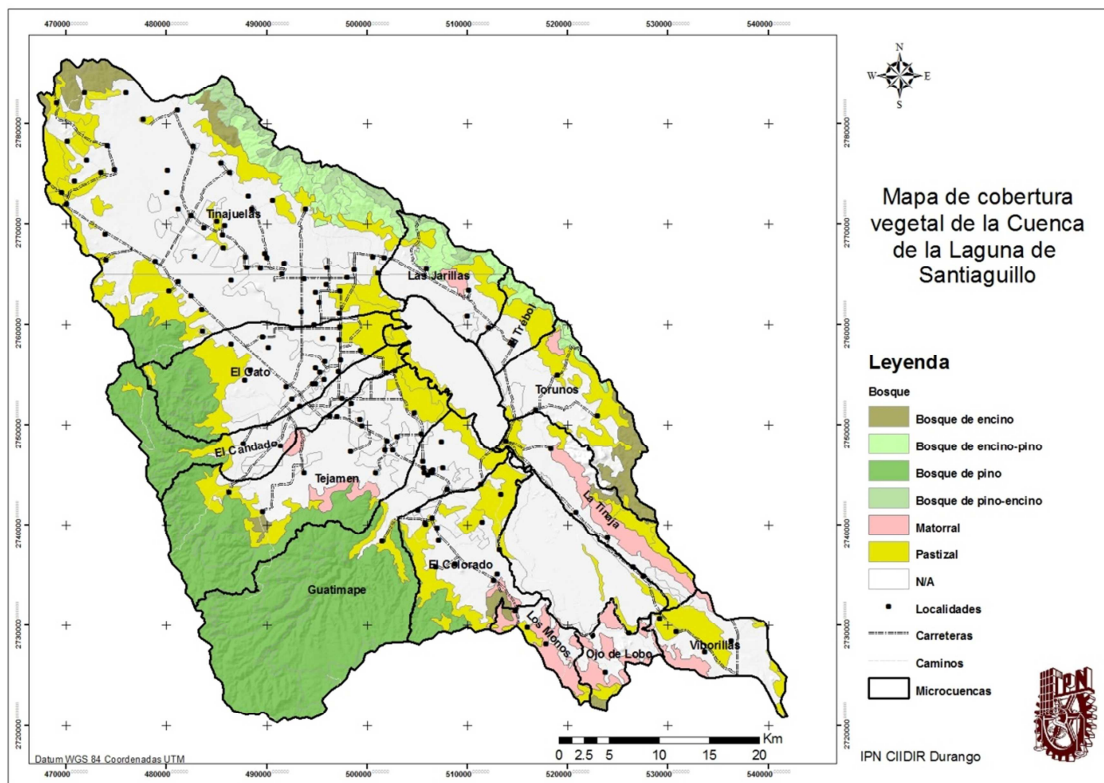


Figura 11. Cobertura vegetal
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Uso de suelo.

De acuerdo a los datos de uso y vegetación serie III del INEGI la cuenca presenta el siguiente uso de suelo (Figura 12) el 51.08% de la superficie tiene un uso forestal, pecuario o agrícola, no existe una delimitación de las zonas destinadas para uso forestal y pecuario, este tipo de clasificación nos arroja un polígono de agricultura únicamente (Figura 13), para lo cual se cuenta con información para un uso agrícola de riego, la zona norte se presenta la mayor extensión. En la zona oeste se cuenta con la presa de Tejaman donde nace una extensión de tierras de cultivo de riego que llega hasta la zona centro de la cuenca, cubriendo las necesidades ya sea por agua rodada o por la serie de pozos que se encuentran en la zona, de igual manera la presa de El Candado presenta una porción de tierras de cultivo de riego por agua rodada en combinación con pozos. La mayor extensión de superficie agrícola es del tipo temporal (Cuadro 7).

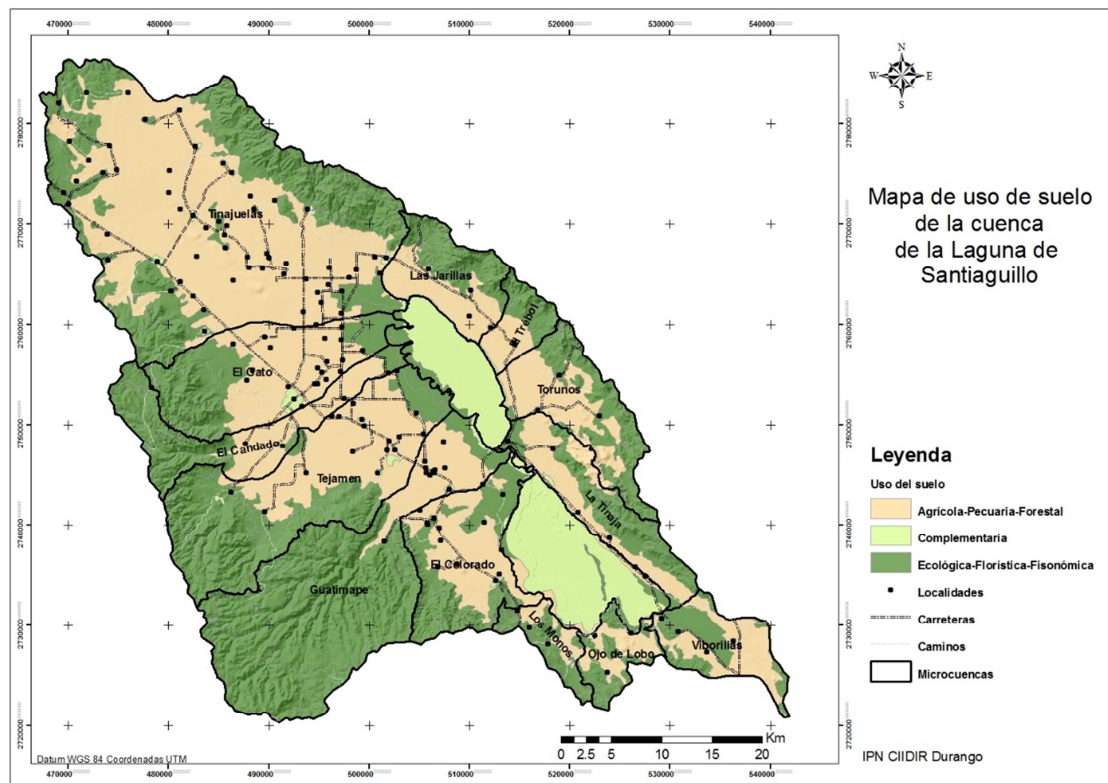


Figura 12. Mapa de uso de suelo
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

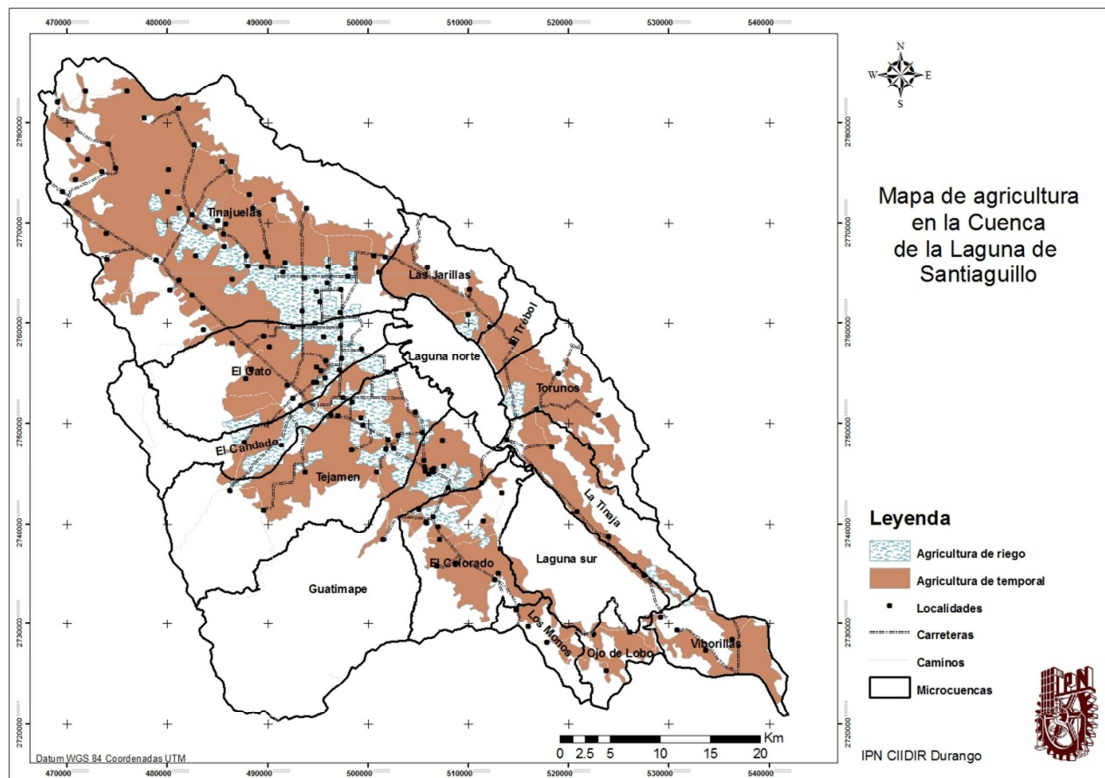


Figura 13. Mapa de agricultura
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

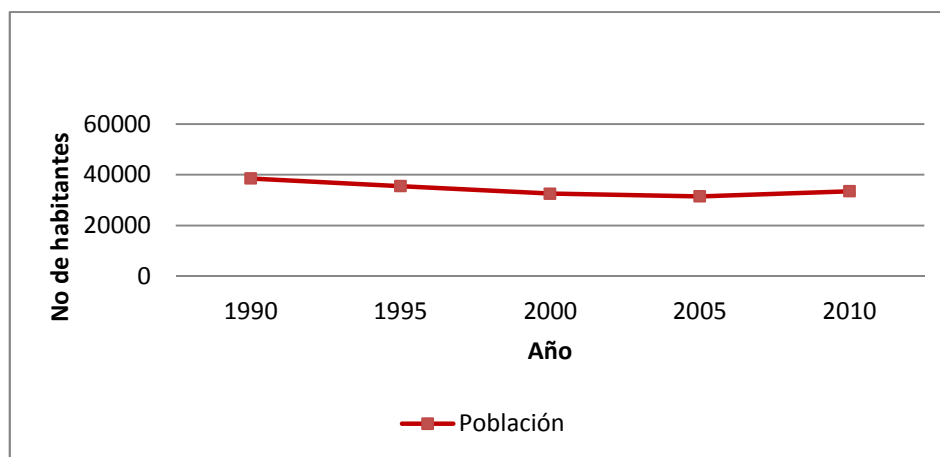
Cuadro 7. Superficie por tipo de agricultura

Agricultura	Hectáreas	Porcentaje
Riego	19,320.76	8
Temporal	90,819.87	36
No aplicable	144,075.58	57

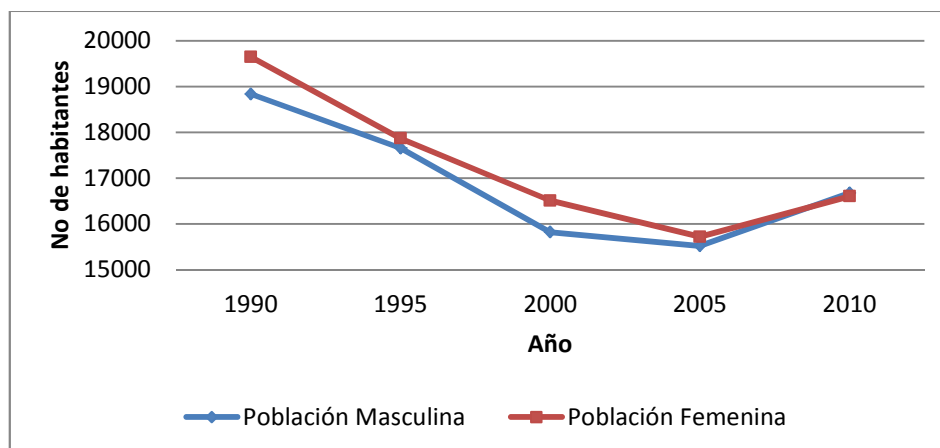
Fuente INEGI, 2010. Elaboración propia

Población de la cuenca

La zona presenta fluctuaciones en el número de habitantes de acuerdo a la información recaudada en los censos del INEGI 1990-2010 (Figura 14), observándose una disminución en la población de 1990 hasta el 2005, donde hay una recuperación en el número de pobladores para el año 2010, estimándose una tasa negativa poblacional de 0.66%.

**Figura 14.** Tendencia poblacional de la cuenca

La población femenina superaba al número de habitantes masculinos en la zona, sin embargo en el último censo realizado se observa un equilibrio entre ambas poblaciones (Figura 15).

**Figura 15.** Población femenina y masculina

Al realizar el análisis de edad de la población, se observó un mayor número de habitantes en rangos de edad de los 29-59 años, con lo cual se deduce que cuenca está entrando en fase de envejecimiento (Figura 16).

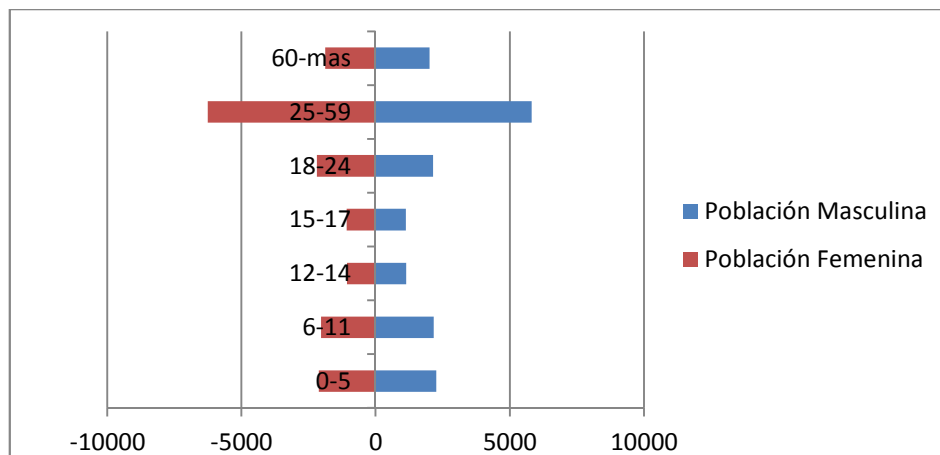


Figura 16. Pirámide poblacional de la cuenca de la Laguna de Santiagoullo

Información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) muestra los índices de marginación en las microcuencas El Gato y Tinajuelas presentaron mayor número de localidades con los índices de marginación más altos (Figura 17).

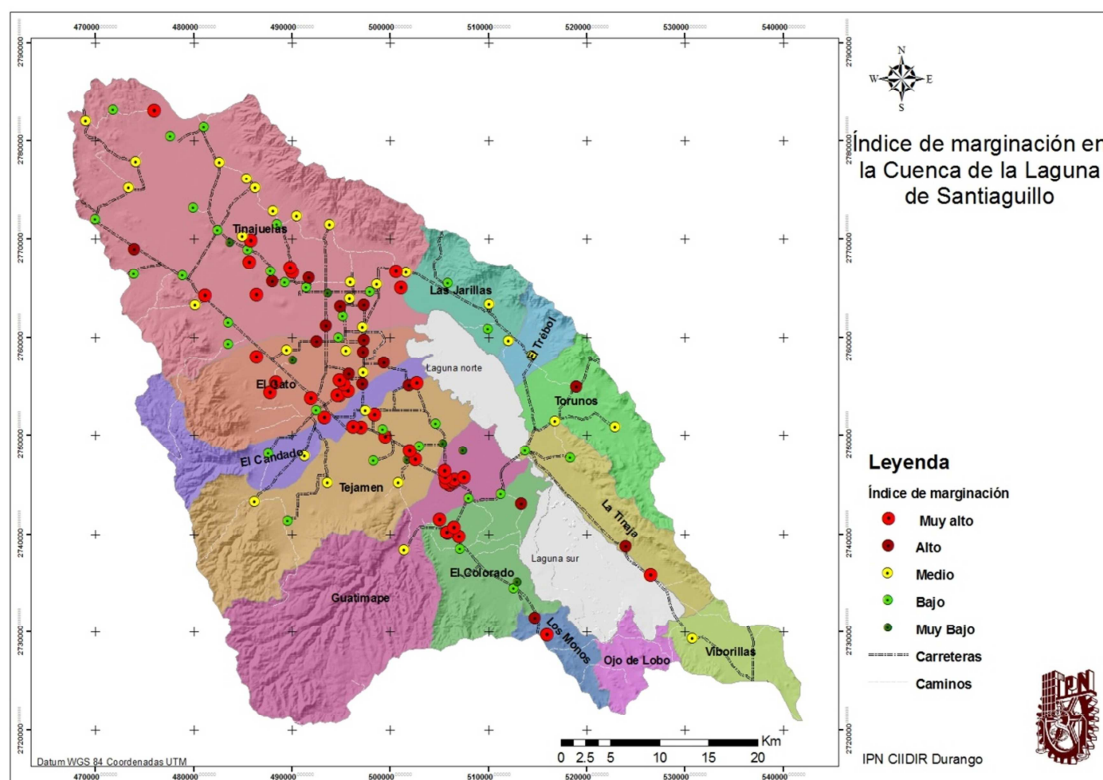


Figura 17. Índices de marginación
Fuente Elaboración propia

VI.Resultados

Volumen precipitado medio anual.

La heterogeneidad de la cuenca propicia diferencias en la cantidad de lluvia dentro de ella, de acuerdo a los cálculos realizados se estima un volumen precipitado anual de 1,416 millones de metros cúbicos. Las aportaciones por zona aparecen en la Figura 18.

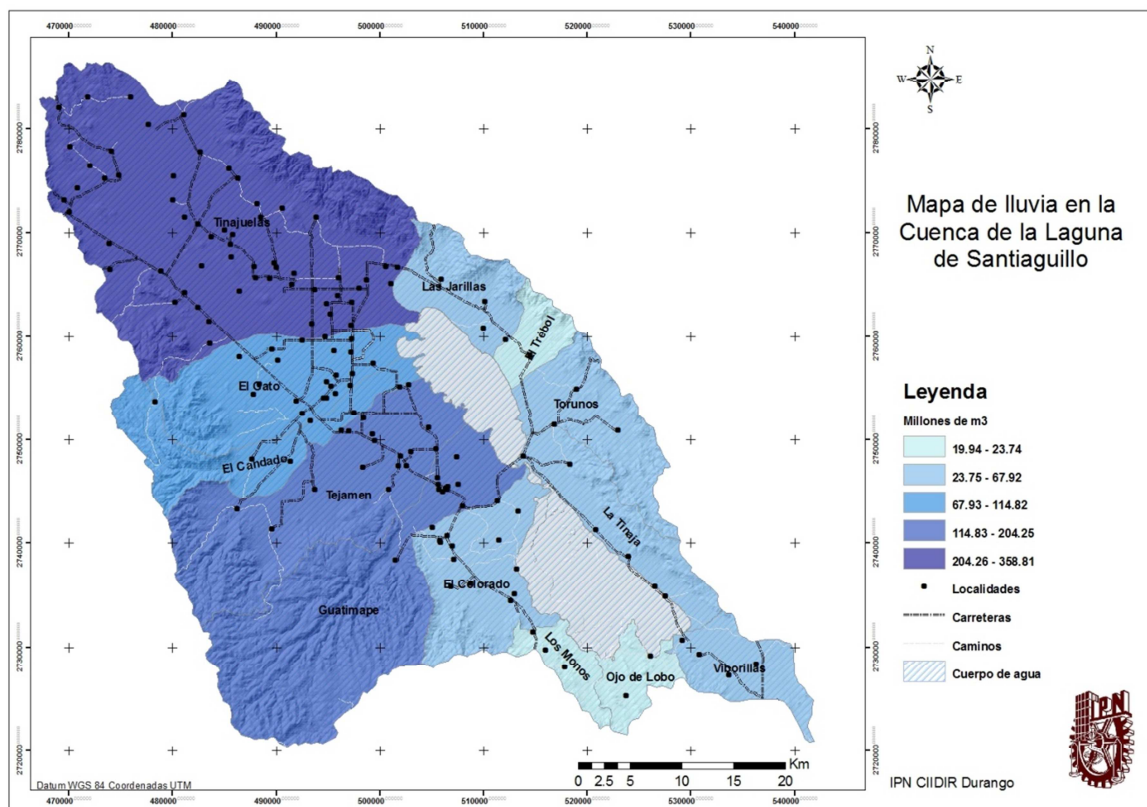


Figura 18 Mapa de lluvia anual

Fuente Elaboración propia

Volumen escurrido medio anual

La textura del suelo y la combinación con las diferencias en la cobertura vegetal de la zona, propician una variación en el volumen escurrido, el coeficiente de escurrimiento promedio que se determinó es de 10.45% (Figura 19). El volumen medio anual de escurrimiento se estimó en 341 millones de metros cúbicos (Figura 20). Las microcuencas el Gato, Tejamen, el Candado presentan coeficientes de escurrimiento mayores debido a las áreas que destinan a la actividad agrícola, de acuerdo a la NOM-011-CONAGUA aumentan el parámetro K.

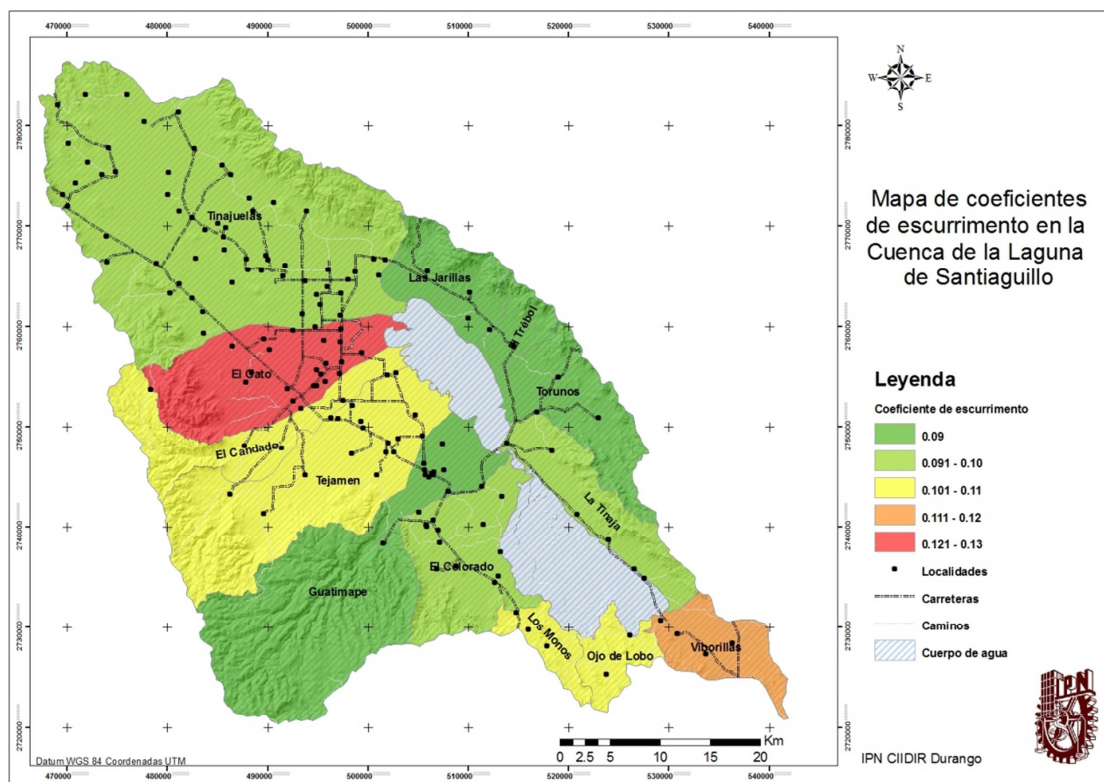


Figura 19. Mapa de coeficientes de escurrimiento
Fuente Elaboración propia

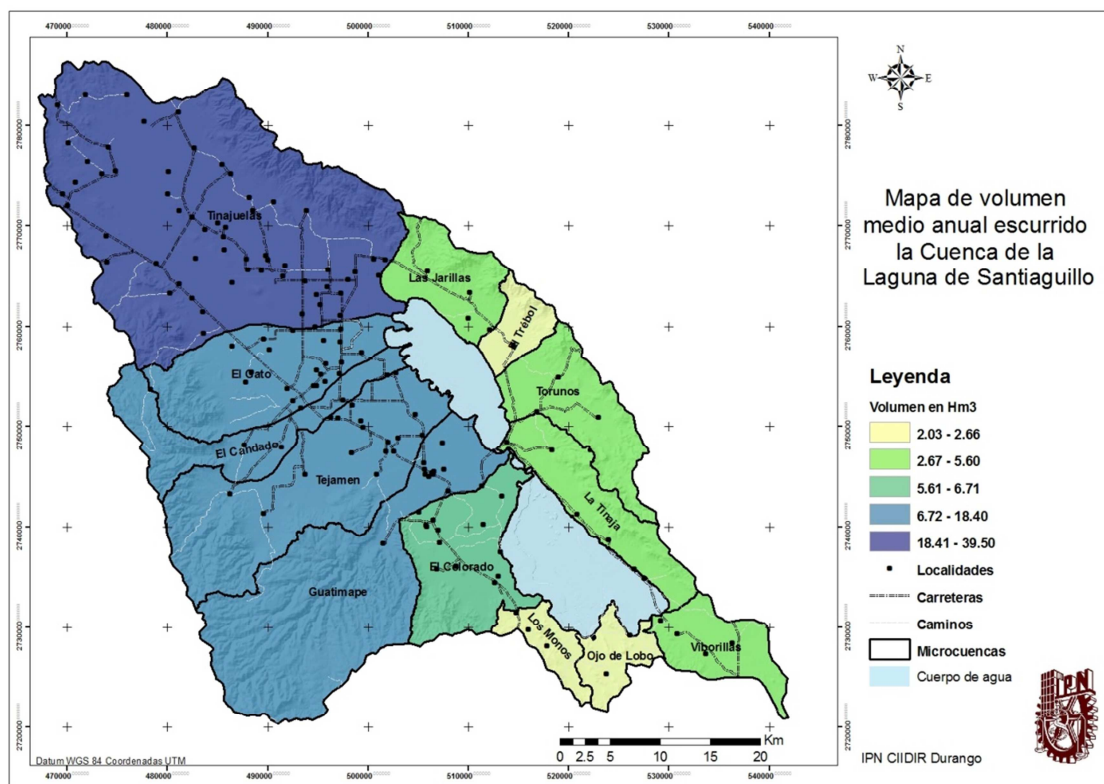


Figura 20. Escurrimiento medio anual
Fuente Elaboración propia

Volumen infiltrado medio anual

La litología superficial en combinación con los tipos de suelo y su textura provocan la infiltración de la lluvia al acuífero, la cuenca presenta un porcentaje de infiltración promedio de 1.84 de la precipitación total (Figura 21), el volumen total medio anual infiltrado al acuífero se calculó en 29.18 millones de m³ (Figura 22). La infiltración se atribuye a los tipos de suelo y roca presentes en la microcuenca observado que las áreas con menor infiltración presentan una combinación de suelos del tipo vertisol y solonchak, y rocas del tipo tobas (manual del IMTA).

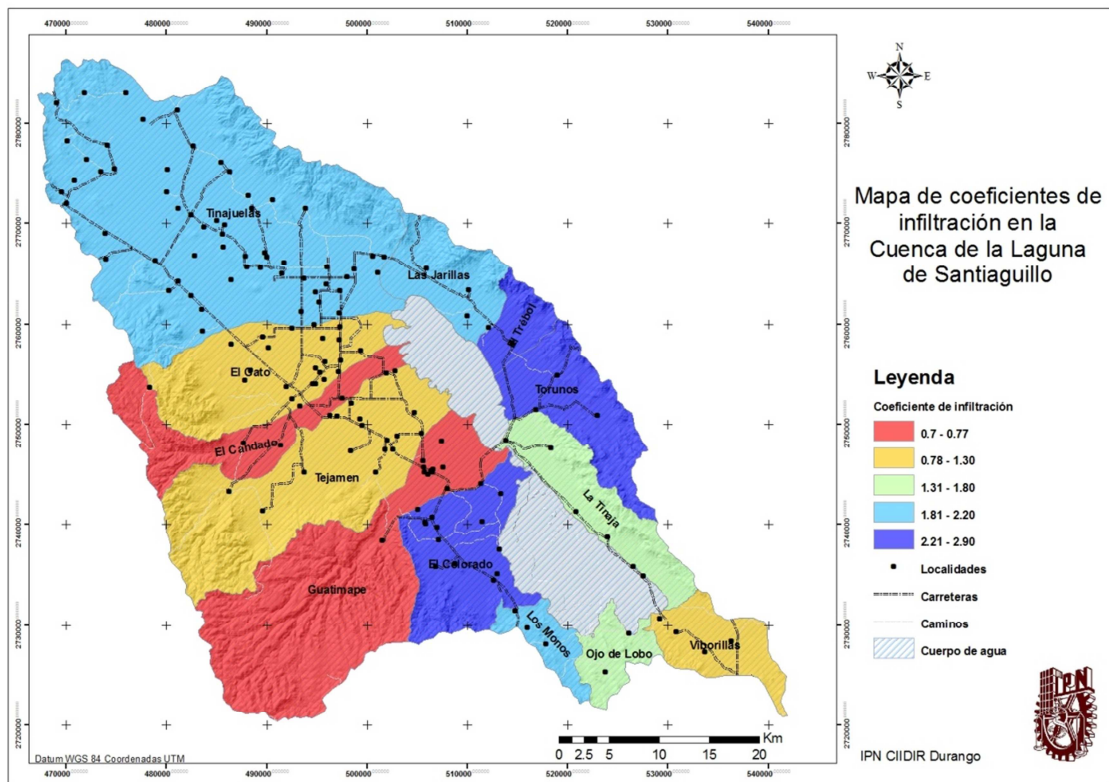


Figura 21. Porcentaje de infiltración a partir de la lluvia
Fuente Elaboración propia

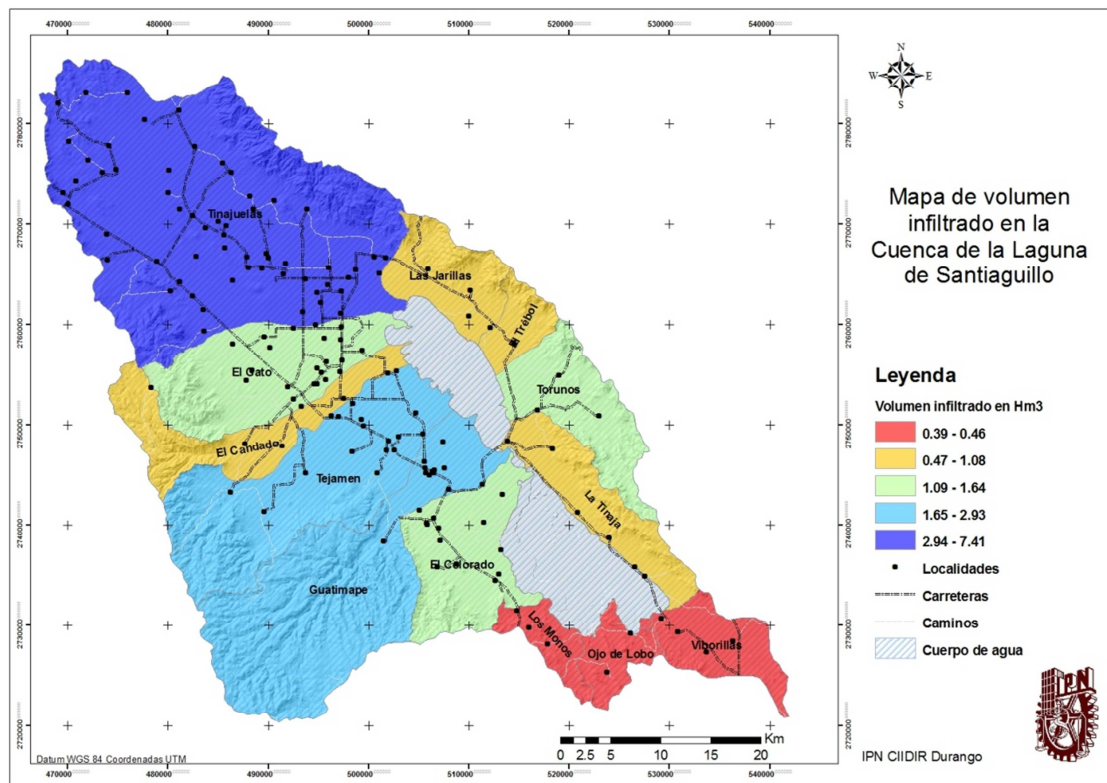


Figura 22. Volumen infiltrado al acuífero
Fuente Elaboración propia

6.3. Microcuencas.

Para los fines de esta investigación se dividió el área de la cuenca en 13 microcuencas delimitadas de acuerdo a la hidrografía de la zona y con base en las esorrentías mas importantes.

Nomenclatura

Los nombres fueron propuestos por parte de los integrantes del Comité Activo de la Cuenca de la Laguna de Santiaguillo (Figura 23), mismo que está conformado por habitantes de la zona y es resultado del proyecto multidisciplinario del CIIDIR IPN Unidad Durango “Formación de capacidades locales de autogestión para el uso sustentable del agua en la cuenca Laguna de Santiaguillo”, la Figura 24 y Cuadro 8 presentan los nombres y su extensión.



Figura 23. Comité de cuenca de la Laguna de Santiagoillo

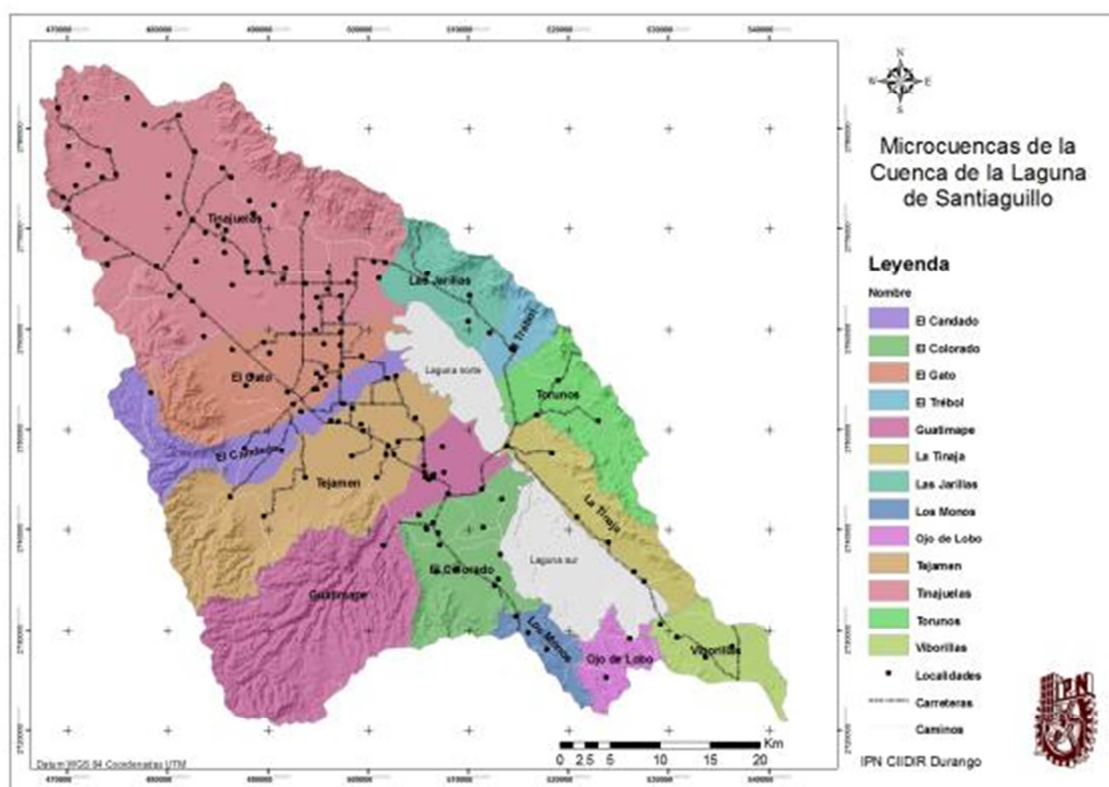


Figura 24. Mapa de microcuencas
Fuente Elaboración propia

Cuadro 8. Áreas de las microcuencas de la Laguna de Santiaguillo

Microcuenca	Área en km ²	Porcentaje
Las Jarillas	92.62	4%
Ojo de Lobo	46.28	2%
Guatimapé	353.82	14%
La Tinaja	109.39	4%
El Candado	120.38	5%
El Trébol	40.77	2%
El Gato	183.87	7%
Los Monos	38.87	2%
Tinajuelas	699.8	28%
El Colorado	147.04	6%
Tejamen	292.98	12%
Torunos	121.10	5%
Viborillas	77.43	3%
Laguna Norte	81.38	3%
Laguna Sur	136.21	5%

Geomorfología

Para cada una de las microcuencas se calcularon los parámetros geomorfológicos de acuerdo a su forma además de caracterizarlas como se observa en la Cuadro 9.

Cuadro 9. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas.

Nombre	Long cauce Km	Pendiente media %	Horton	Miller	Gravelius	Índice de alargamiento	Tiempo de concentración hrs
Las Jarillas	9.53	7.57	0.042	0.53	1.37	0.81	1.02
Ojo de Lobo	9.04	2.06	0.021	0.27	1.92	1.08	1.61
Guatimapé	40.69	2.47	0.026	0.32	1.76	2.59	4.78
La Tinaja	7.73	5.13	0.018	0.23	2.10	0.32	1.01
El Candado	36.40	2.18	0.013	0.16	2.47	7.51	4.61
El Trébol	9.43	5.69	0.043	0.54	1.36	1.41	1.13
El Gato	35.19	2.50	0.037	0.46	1.47	3.65	4.26
Los Monos	7.58	1.73	0.023	0.28	1.88	0.66	1.51
Tinajuelas	44.34	0.78	0.041	0.51	1.40	1.64	7.98
El Colorado	23.30	1.99	0.026	0.33	1.74	1.70	3.38
Tejamen	39.85	2.49	0.028	0.35	1.69	3.41	4.69
Torunos	23.06	1.90	0.027	0.34	1.70	3.40	3.42
Viborillas	9.59	1.39	0.035	0.44	1.51	1.23	1.96

Las microcuencas de Guatimapé, Tinajuelas y Tejamen presentaron los cauces más largos del valle y mayor tiempo de concentración, generado así ventajas para el aprovechamiento de los escurrimientos naturales.

Las microcuencas denominadas Las Jarillas, El Trébol y La Tinaja por el contrario mostraron pendientes medias más altas entre 5 y 8% de acuerdo a esto las

corrientes de agua en la zonas presentan grandes velocidades en el cauce reduciendo la infiltración y la capacidad en el aprovechamiento de los escurrimientos.

De acuerdo al factor de forma de Horton la mayoría de las microcuencas contaron con un valor bajo, lo que indica que no son propensas a contar con crecientes súbitas cuando se presenten lluvias intensas en la totalidad o en grandes extensiones de ellas.

La razón circular de Miller arrojó valores por debajo de uno, indicio de que las microcuencas que no presentaron una similitud geométrica con un círculo, determinando un comportamiento de bajo torrencial.

El coeficiente de Gravelius nos reveló que las microcuencas Las Jarillas y El Trébol tienen características torrenciales más altas, por lo tanto se encuentran en mayor riesgo de crecidas súbitas, en contraparte La Tinaja y El Candado presentan un coeficiente mayor y su comportamiento es de menor torrencial.

La mayoría de las microcuencas tienden a ser más bien de forma alargada con excepción de Las Jarillas, El Trébol y La Tinaja.

Demografía

La distribución de la población y su densidad en la zona están representadas en la Figura 25 y Figura 26, donde se observó una mayor presencia de habitantes dentro de las microcuencas el Gato. Tinajuelas y Tejamen.

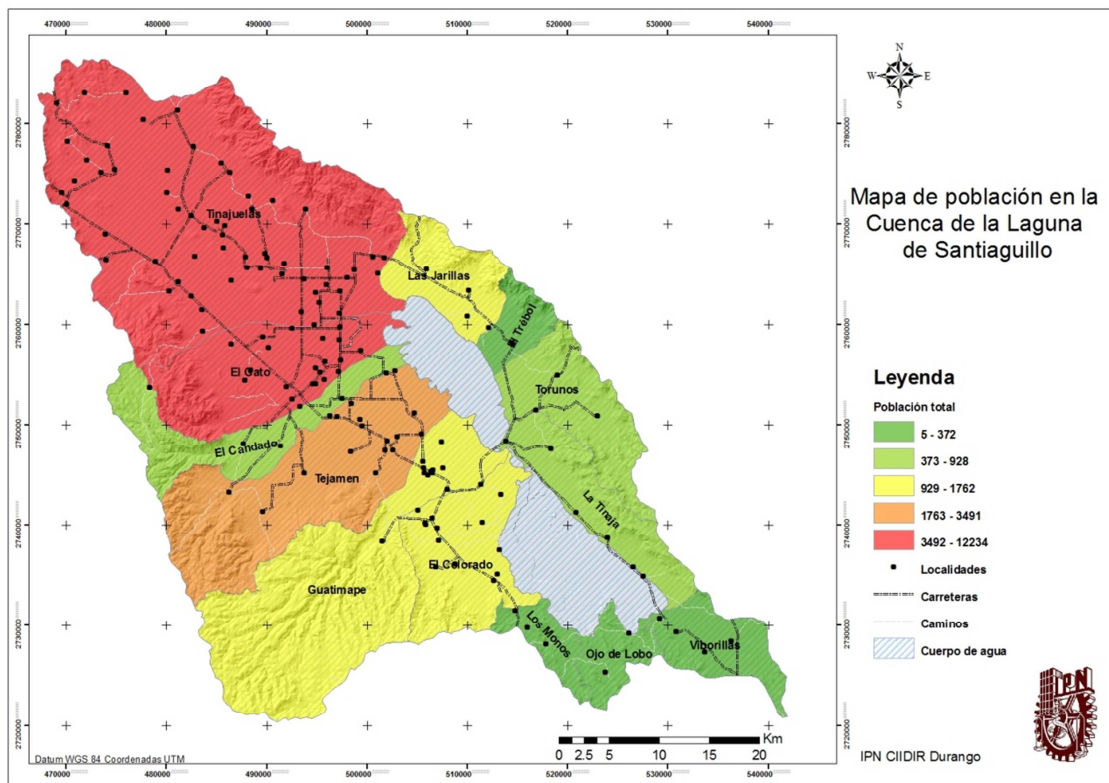


Figura 25. Mapa de distribución de la población

Fuente Elaboración propia

Su área y población indican un mayor número de habitantes por km^2 en las microcuencas El Gato y Las Jarillas (Figura 26), convirtiéndolas en las más densas de la zona.

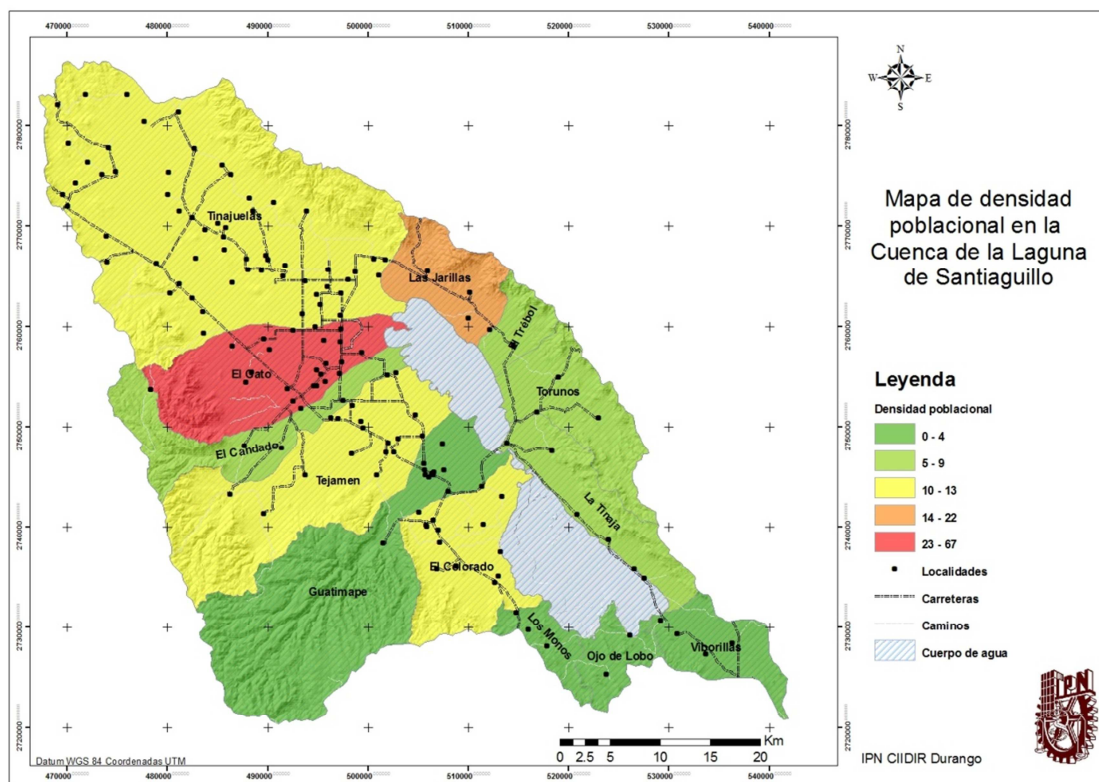


Figura 26. Mapa de densidad poblacional
Fuente Elaboración propia

Volumen de agua superficial concesionada

La zona de estudio presentó diferentes volúmenes de agua concesionada superficial, la Figura 27 muestra la distribución de las cantidades del recurso, destacando las microcuencas El Candado, Tejamen y Las Jarillas con las obras hidráulicas y concesiones superficiales más importantes de la zona. Los principales usos del agua superficial se destinan de acuerdo a la Figura 28.

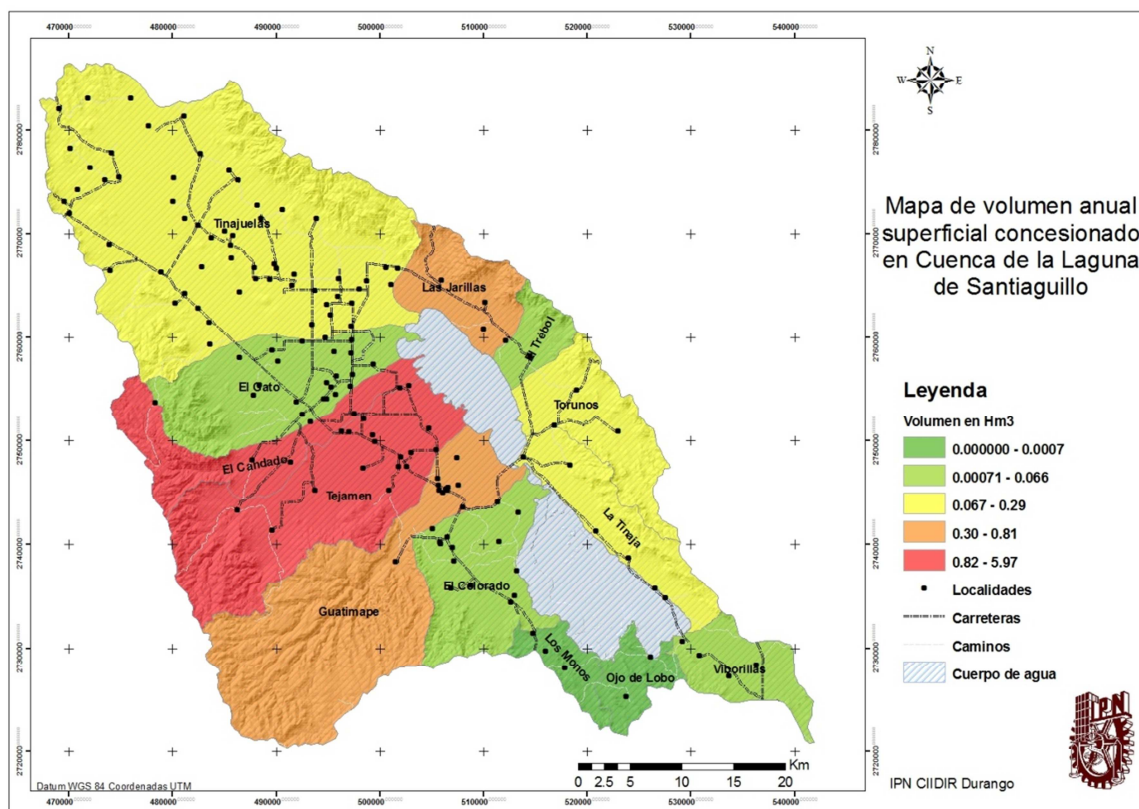


Figura 27. Mapa de distribución de concesión superficial anual
Fuente Elaboración propia

Uso de agua superficial

■ Agrícola ■ Público urbano ■ Pecuario

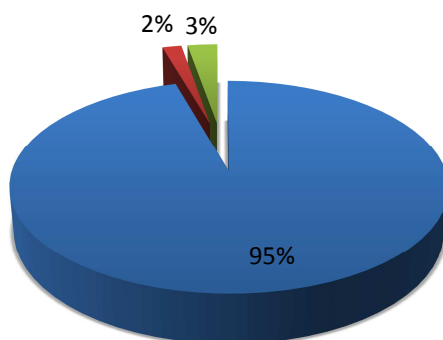


Figura 28. Porcentaje de uso de agua superficial
Fuente CONAGUA. Elaboración propia

Disponibilidad de agua superficial

Con base en los resultados del balance hidrológico integral, se observó que las microcuencas son capaces de captar precipitaciones pluviales suficientes para

agricultura y ganadería son El Candado, Guatimapé, Viborillas y Ojo de Lobo cuyos valores de agua escurrida excedente del volumen concesionado propicia esta condición (Cuadro 10).

Cuadro 10. Disponibilidad superficial per cápita de las microcuencas de la Laguna de Santiaguillo

Microcuenca	Disponibilidad natural superficial per cápita	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua (Shiklomanov, 2002)	Disponibilidad para el desarrollo	Clasificación
Guatimapé	13,460.85	Alto	7,428.39	Medio
Tejamen	6,075.61	Medio	2,990.30	Bajo
El Gato	1,210.52	Muy Bajo	929.38	Catastróficamente Bajo
Tinajuelas	4,021.41	Bajo	2,597.11	Bajo
Las Jarillas	3,014.57	Bajo	1,748.41	Muy Bajo
El Trébol	5,411.61	Medio	3,021.53	Bajo
Torunos	5,839.21	Medio	2,776.44	Bajo
El Candado	14,288.59	Alto	6,821.10	Medio
Ojo de Lobo	536,810.28	Muy Alto	205,340.18	Muy Alto
La Tinaja	6,063.64	Medio	1,105.08	Muy Bajo
Los Monos	41,663.46	Muy Alto	13,587.91	Alto
El Colorado	3,852.35	Bajo	871.35	Catastróficamente Bajo
Viborillas	41,149.90	Muy Alto	17,802.71	Alto

Volumen de agua subterránea concesionada

El número de puntos de extracciones subterráneas contabilizado para este estudio es de 1,966 pozos, distribuidos de acuerdo a la (Figura 30). Las concesiones se concentraron en el Cuadro 11, convirtiendo al uso agrícola como el principal consumidor de agua subterránea con 1,329 pozos y poco más de 5 millones de m³ anuales concesionados (Figura 31).

Cuadro 11. Usos de agua subterránea

Uso	No de pozos	Volumen concesionado miles de m ³
Agrícola	1329	5,233.70
Pecuario	464	360.36
Domestico	49	20.76
Público urbano	91	1,959.75
Múltiples	26	607.86
Diferentes usos	2	19.88
Industrial	5	6.87

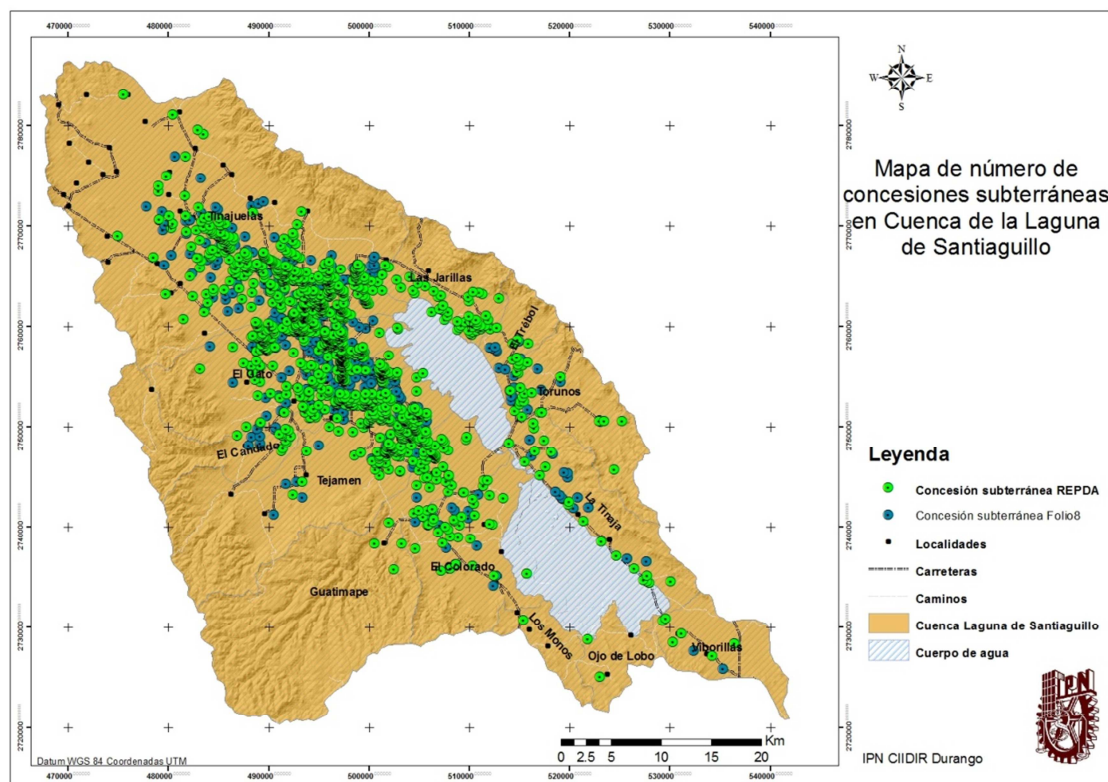


Figura 30. Distribución de los pozos
Fuente Conagua Elaboración propia

Uso de agua subterránea

■ Agrícola ■ Público Urbano ■ Pecuario ■ Doméstico
 ■ Múltiple ■ Diferentes usos ■ Industrial

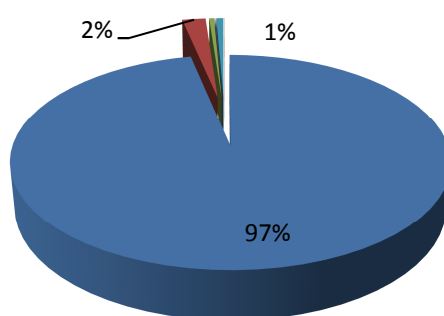


Figura 31. Porcentaje de uso de agua subterránea
Fuente CONAGUA. Elaboración propia

Con base en el número de concesiones con las que cuenta la cuenca, las zonas donde se produjo una mayor extracción de aguas subterránea se muestra en la Figura 32.

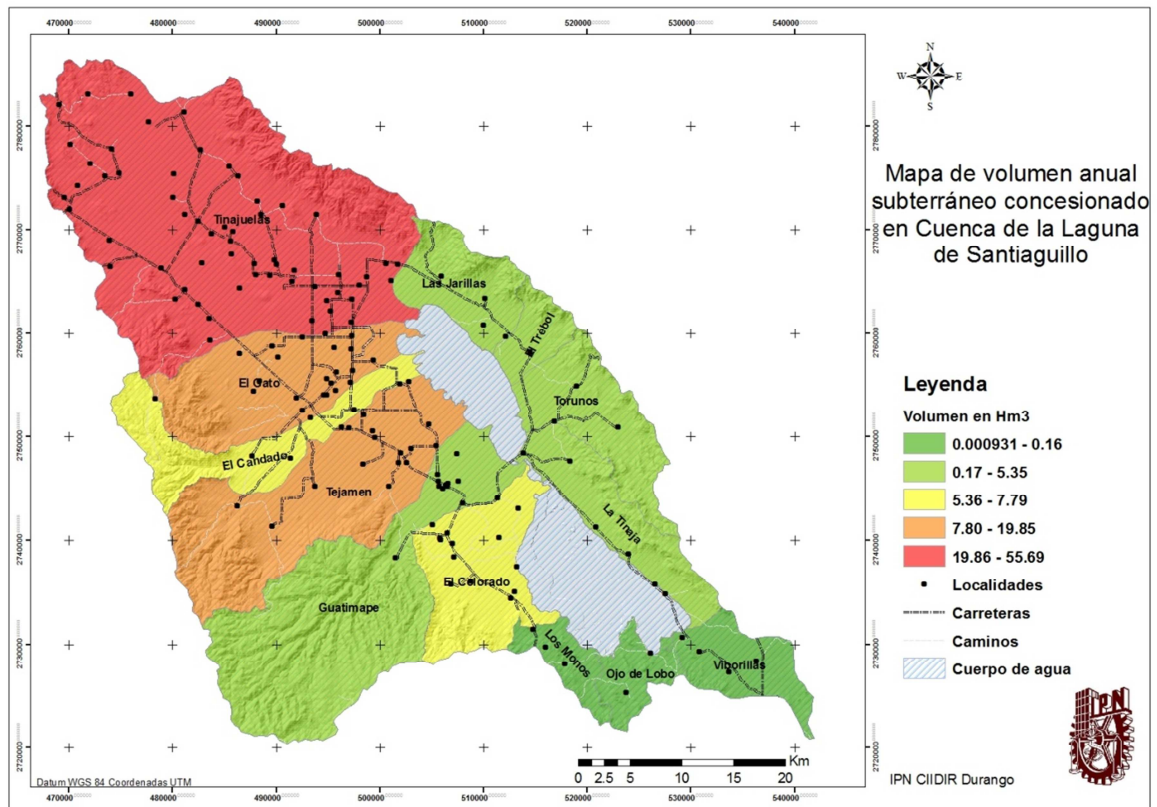


Figura 32. Mapa de volumen subterráneo anual concesionado
Fuente Elaboración propia

El análisis de la capacidad de infiltración de las microcuencas en comparación con la explotación del acuífero supone extracciones que superan su capacidad de recarga como lo muestra la Figura 33. Se observó un nivel de explotación mayor en las microcuencas ubicadas al oeste y norte superando más de cinco veces su capacidad de recarga.

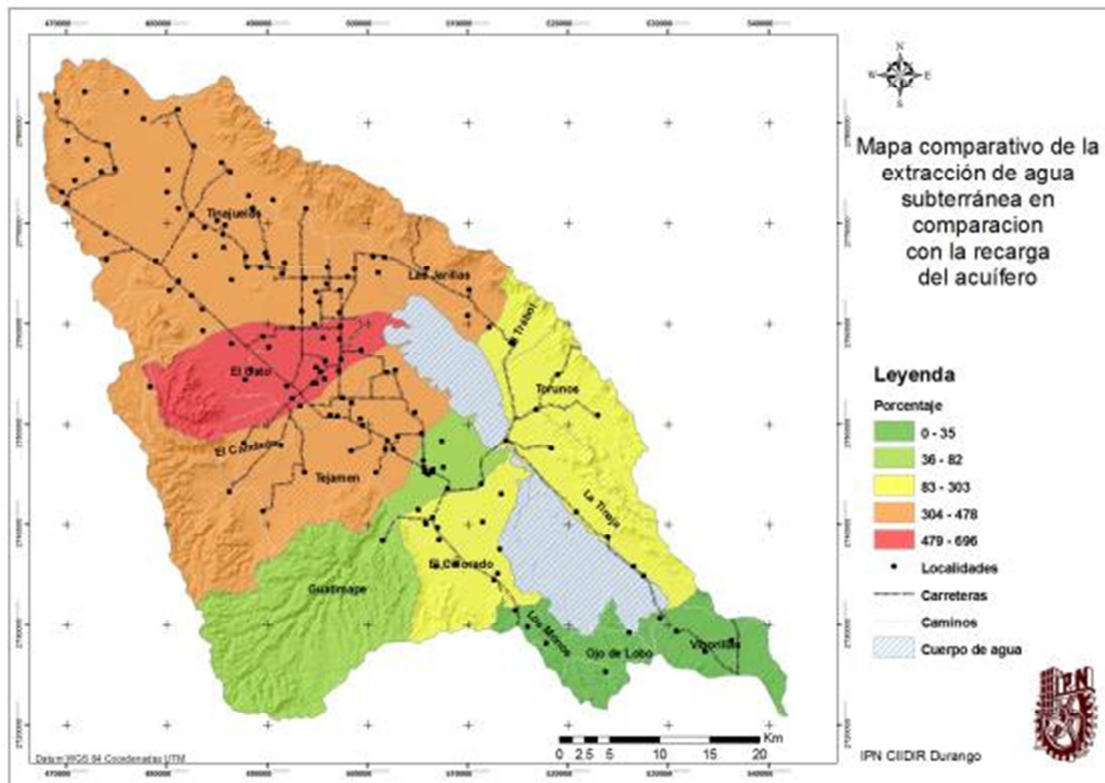


Figura 33. Mapa de porcentaje de explotación del acuífero
Fuente Elaboración propia

6.4 Resultados de la microcuenca Las Jarillas

6.4.1 Ubicación.

Se ubica en las coordenadas extremas UTM WGS84: N 2'771,368.87, S 2'757,919.58 O 501,221.67, E 514,205.22. Tiene una superficie de 9,262 ha (Figura 34).

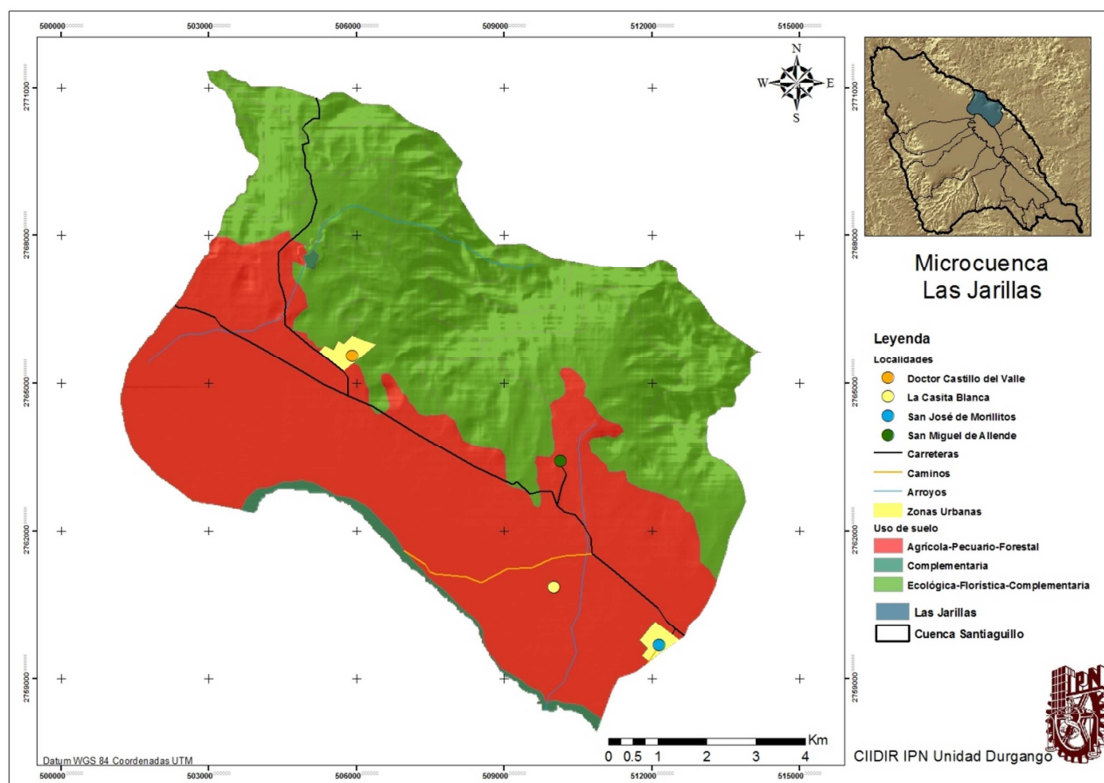


Figura 34. Ubicación de la microcuenca Las Jarillas
Fuente INEGI Elaboración propia

6.4.2 Cobertura del suelo

La microcuenca en poco más de la mitad no presentó cobertura vegetal de tipo natural, la vegetación más importante es el bosque de pino y encino que cubre del orden del 30% de la superficie en las partes altas, le siguen hacia la zona media y baja los pastizales (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cobertura vegetal en la microcuenca Las Jarillas

Cobertura vegetal	Área en km ²	Porcentaje
Bosque de pino	22.91	25
Pastizal	9.87	11
Bosque de encino	4.28	5
Matorral crasicaule	4.19	5
N/A	51.37	55

6.4.3 Características climáticas

El clima dominante es semiseco templado con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano mas bien cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C y un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm (INEGI, 2005).

6.4.4 Suelos

Los suelos con mayor extensión son del tipo feozem y litosol, este tipo de suelos de acuerdo al manual del MANUAL PUBLICADO POR EL IMTA presentó una capacidad de infiltración por lluvia del 12%, uno de los valores más altos de infiltración y en una análisis de la superficie que ocupan se puede decir que la microcuenca presenta una buena infiltración edáfica (Cuadro 13).

Cuadro 13 Suelos de la microcuenca Las Jarillas

Tipo de suelo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Feozem	Media	31.87	34
Litosol	Media	30.73	33
Vertisol	Fina	20.11	22
Fluvisol	Gruesa	8.07	9
Solonchak	Media	1.36	1.5
Feozem	Fina	0.48	0.5

6.4.5 Litología superficial

La litología superficial de la zona está dominada en 48% por riolita-toba ácida con afloramientos importantes en las partes altas y los depósitos aluviales en la parte media y baja (Cuadro 14). Dadas estas condiciones se tienen porcentajes de infiltración del suelo a la roca de 10% para las tobas y 35% en los suelos aluviales.

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca

Cuadro 14. Geología superficial de la microcuenca Las Jarillas

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	44.44	48
Aluvial	N/A	43.63	47
Eólico	N/A	2.74	3
Lacustre	N/A	1.26	1.4
Toba ácida	Ígnea extrusiva	0.55	0.6

6.4.6 Demografía y vivienda

La población total de la microcuenca es de 1,620 habitantes, la mayor población se concentra en la localidad de Dr. Castillo del Valle con 706 habitantes, seguida

de San José de Morillitos con 583, San Miguel de Allende 317 y La Casita Blanca con 14 habitantes, la densidad actual es de 22 hab./km². Los censos de población reflejan una disminución en el número de habitantes de los años 1990 al 2010, con una tasa de -1.46% anual (Figura 35).

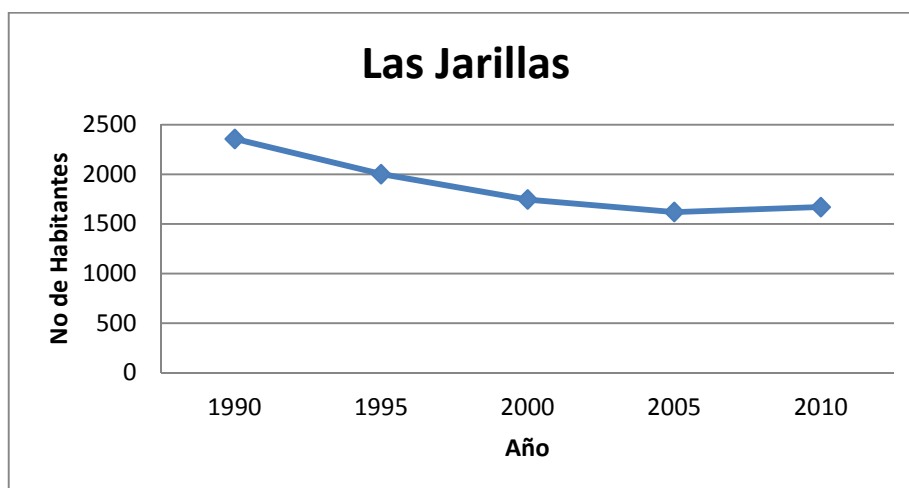


Figura 35. Tendencia poblacional de la microcuenca Las Jarillas

La zona presenta un total de viviendas ocupadas de 438 (Cuadro 15), de las cuales el 95% cuenta con servicio de agua potable.

Cuadro 15. Datos de vivienda de la microcuenca Las Jarillas

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	438	
Viviendas que cuentan con agua entubada	418	95
Viviendas que cuentan con drenaje	316	72
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	358	82

6.4.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua

En la microcuenca se ubica la presa de almacenamiento Dr. Castillo del Valle (Cuadro 16 y Figura 36) con capacidad de 0.90 hm³ para riego por agua rodada, con un volumen concesionado de 0.75 hm³ y una reserva de abrevadero 0.058 hm³.

Cuadro 16. Datos técnicos de la presa Las Jarillas

Presa de almacenamiento	
Concepto	Datos
Obra de almacenamiento	
Nombre oficial de la obra	Las Jarillas
Nombre popular	Las Jarillas
Fecha de construcción	1969
Fecha de operación	1970
Área de la cuenca (km ²)	
Latitud	25° 01' 17"
Longitud	104° 57' 00"
Elevación corona (m)	2039.80
Elevación N.A.M.E (m) (elevación de la carga máxima sobre el vertedor)	2038.90
Elevación N.A.N. (m) (elevación del vertedor)	2038.00
Vaso de almacenamiento	
Capacidad Total (miles de m ³)	0.80
Capacidad útil (miles de m ³)	0.75
Capacidad de azolves(miles de m ³)	0.05
Cortina	
Tipo	Mampostería
Institución constructora	SRH
Año de construcción	1969
Altura máxima (m)	10.00
Longitud (m)	72.00
Ancho de corona (m)	2.00
Talud aguas arriba	1:1
Talud aguas abajo	1:1
Estado físico (B, R o M)	B
Vertedor	
Tipo	De operación libre
Gasto máximo de descarga (m ³ /seg)	55.00
Longitud de la cresta (m)	58.5
Carga máxima sobre la cresta (m)	1.80
Fuente CONAGUA	



Figura 36. Cortina de la presa Dr. Castillo del Valle

Existen 2 pozos de uso público urbano, uno en San José de Morillitos y el otro en San Miguel de Allende, con un volumen de extracción concesionado de $21,955 \text{ m}^3$ y $43,088 \text{ m}^3$ anuales respectivamente. La dotación diaria por habitante es de 106.71 litros

Existen 44 pozos de uso agrícola con un volumen anual concesionado de 3.21 hm^3 para 343.77 ha de riego, en total se dispone de una lámina de riego en la microcuenca de 155.26 cm.

Se identificaron 4 pozos de uso pecuario con un volumen concesionado de $6,826.5 \text{ m}^3$ anuales sumados a las concesiones superficiales y al número de cabezas de acuerdo al censo de la Unión Ganadera se dota con 123.83 litros de agua al día por cabeza.

6.4.8 Disponibilidad de agua superficial

De acuerdo a los resultados del balance anualmente se precipitan 42.12 hm^3 sobre la microcuenca con un régimen de precipitación media anual de 444.90 mm para la cuenca aguas arriba de la presa de almacenamiento.

La capacidad nominal de la presa es de 0.90 hm^3 , pero de acuerdo al balance superficial el volumen de agua susceptible de ser almacenado es de 0.502 hm^3 , presentando así un déficit con respecto a la concesión.

El Cuadro 17 presenta el resumen de los cálculos realizados del balance hidrológico.

Cuadro 17. Balance superficial de la microcuenca Las Jarillas

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Presa Dr Castillo del Valle	0.50	-	-	0.09	0.42	0.82	-0.41	-0.57	Déficit
Las Jarillas	4.53	0.81	0.47	0.02	4.18	1.68	2.50	2.92	Equilibrio

Unidades en hm^3 , Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

6.4.9 Disponibilidad de agua subterránea

Dadas las condiciones de infiltración natural que presentó la microcuenca, se determinó que la zona de material consolidado tiene un porcentaje de infiltración de 3.26% mientras que en el material no consolidado el porcentaje de infiltración es de 1.26%, de esta manera se calculó una recarga total media anual en la zona de 1.08 hm^3 . El volumen natural comprometido en la microcuenca es de 43.25 hm^3 .

El Cuadro 18 presenta el resumen del balance hidrológico subterráneo de la microcuenca. De acuerdo a los valores obtenidos se estima que se extraen volúmenes del acuífero casi cuatro veces la capacidad de su recarga.

Cuadro 18. Balance subterráneo de la microcuenca Las Jarillas

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Las Jarillas	0.77	0.23	0.31	0.53	1.31	0.53	4.67	-3.89	356%

Volumen en hm^3 Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

6.5. Resultados de la microcuenca Ojo de Lobo

6.5.1 Ubicación

Se ubica en las coordenadas extremas: N 2'732,685, S 2'721,593, O 520,607, E 529,618. Presenta un extensión territorial de 4,628 ha (Figura 37).

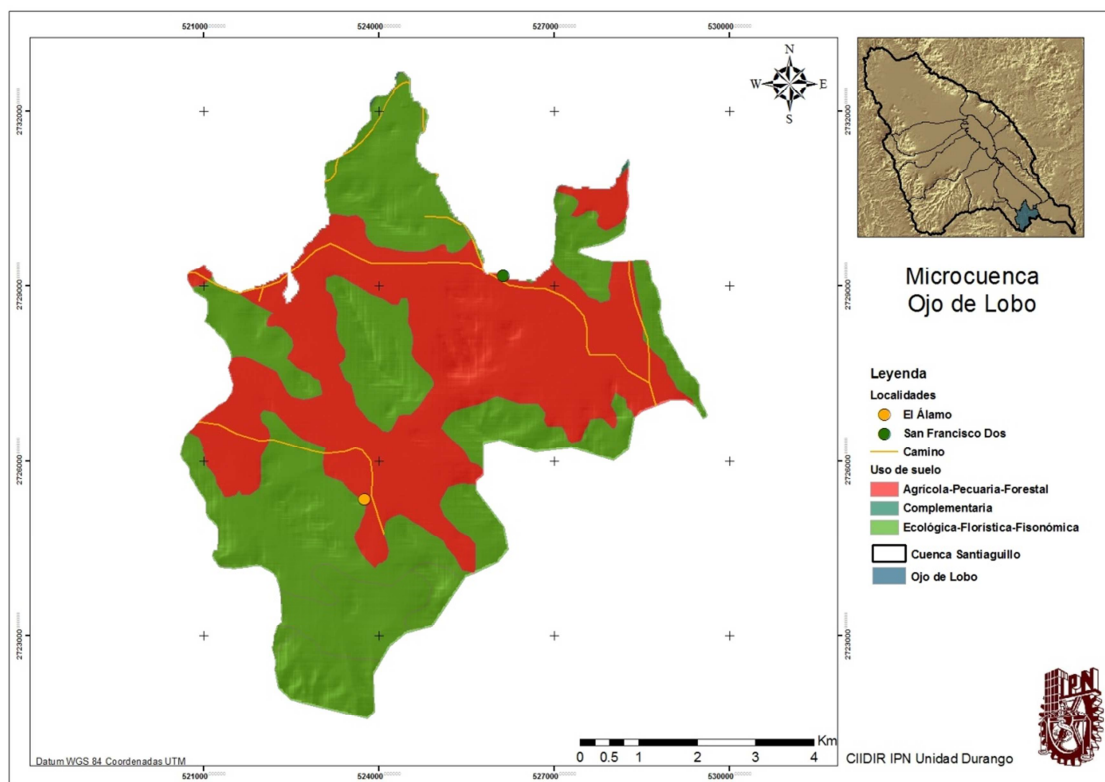


Figura 37. Ubicación de la microcuenca Ojo de Lobo

Fuente INEGI Elaboración propia

6.5.2 Cobertura del suelo

La zona se encuentra cubierta principalmente por matorrales, ocupando el 42% del área (Cuadro 19).

Cuadro 19. Cobertura vegetal en la microcuenca Ojo de Lobo

Cobertura vegetal	Área en km ²	Porcentaje
Matorral	19.65	42
Pastizal	3.38	7
Bosque de encino	1.69	4
N/A	21.56	47

6.5.3 Características climáticas

Su clima es semiseco templado, con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una

temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm (INEGI, 2005).

6.5.4 Suelos

Los suelos de mayor extensión dentro de la zona son el xerosol y litosol, distribuidos en más de la mitad del área, la capacidad de infiltración de estos, de acuerdo al manual del MANUAL PUBLICADO POR EL IMTA, son de 12% para ambos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Suelos de la microcuenca Ojo de Lobo

Tipo de suelo	Textura	Área	Porcentaje
Xerosol	Media	17.88	39
Litosol	Media	13.66	30
Vertisol	Fina	8.25	18
Feozem	Media	5.84	12
Solonchak	Fina	0.60	1

6.5.5 Litología superficial

La roca dominante en el área es la riolita-toba ácida con una extensión de 24 km², 10% del volumen que existe en el suelo se infiltran a este tipo de rocas (Cuadro 21).

Cuadro 21. Geología superficial de la microcuenca Ojo de Lobo

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	24.09	52
Aluvial	Ígnea extrusiva	16.20	35
Toba ácida	Ígnea extrusiva	5.16	11
Lacustre	N/A	0.5	1.3
Basalto	Ígnea extrusiva	0.33	0.7

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.5.6 Demografía y vivienda

Es la microcuenca que presenta una menor población, de acuerdo al último censo realizado en el año 2010 por el INEGI, se registraron tan solo cinco habitantes, cuatro en la localidad de Ojo de Lobo y uno en San Francisco Dos, se observó que la población no presenta altos incrementos en las cifras registradas por el instituto únicamente se registro una reducción de un poblador en el número de habitantes en la zona (Figura 38), presenta una densidad de 0.11 hab./km². De acuerdo a este mismo censo tan solo dos casas se encuentran habitadas las cuales no presentan servicios de agua entubada, drenaje ni excusado o sanitario.

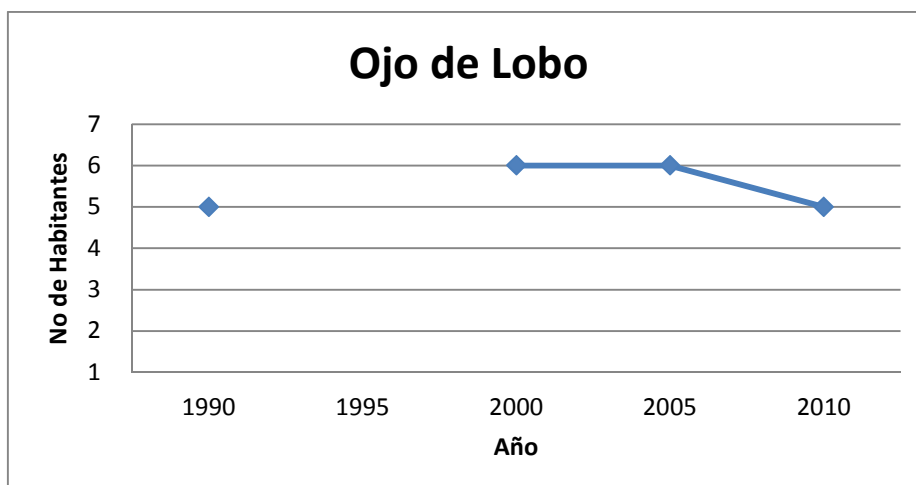


Figura 38. Población histórica de la microcuenca Ojo de Lobo

6.5.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua

Dentro de la microcuenca se cuentan con un volumen anual concesionado para uso público urbano de $2,520 \text{ m}^3$, 1,589 son de uso superficial y 931 provienen de dos pozos, en base en estas concesiones y el número de habitantes de la microcuenca se estima que se tiene una dotación por día de agua para cada habitante de 504 litros.

El sector ganadero se cuentan con distintas concesiones de agua superficial que suman $5,475 \text{ m}^3$ anuales, tomando en cuenta que en la zona se censaron 108 cabezas de ganado la dotación de diaria de agua resultante es de 40.31 litros.

6.5.8 Disponibilidad de agua superficial

En la zona se precipitan anualmente 23.74 hm^3 , una precipitación media anual de 513.10 mm y un coeficiente de escurrimiento de 11%, de acuerdo al cálculo de lluvia anual se obtuvo que en la microcuenca se escurren al año 2.68 hm^3 .

De acuerdo a los datos obtenidos en el balance se observa que la microcuenca es capaz de mantener las actividades humanas y las ambientales, ya que aporta la cantidad de agua suficiente para cubrir las concesiones otorgadas (Cuadro 22).

Cuadro 22. Balance hidrológico superficial Ojo de Lobo

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Ojo de Lobo	2.68	-	0.01	0.01	2.66	1.63	1.03	1.03	Equilibrio

Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

6.5.9 Disponibilidad agua subterránea.

Las condiciones naturales de la microcuenca provocan un porcentaje de infiltración a partir de la lluvia del 1.22 sobre el material consolidado, para el material no consolidado el porcentaje es de 2.88, dando como resultado una recarga total media anual al acuífero de 0.47 hm³. La descarga natural comprometida se estimó en 1.05 hm³ (Cuadro 23).

Cuadro 23. Balance hidrológico subterráneo Ojo de Lobo

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Ojo de Lobo	0.26	-	0.18	1.05	0.44	1.05	0.00	0.62	0%

Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.-Disponibilidad subterránea

Con el cálculo realizado se observó que no se lleva a cabo una explotación de agua subterránea, debido a que el volumen extraído en las concesiones para uso público urbano están por debajo de la recarga total media anual.

6.6 Resultados de la microcuenca Guatimapé.

6.6.1 Ubicación

Se ubica dentro de las coordenadas extremas: N 2'751,526, S 2'720,379, O 482,857, E 514,219. Presenta una extensión territorial de 35,381 km² (Figura 39).

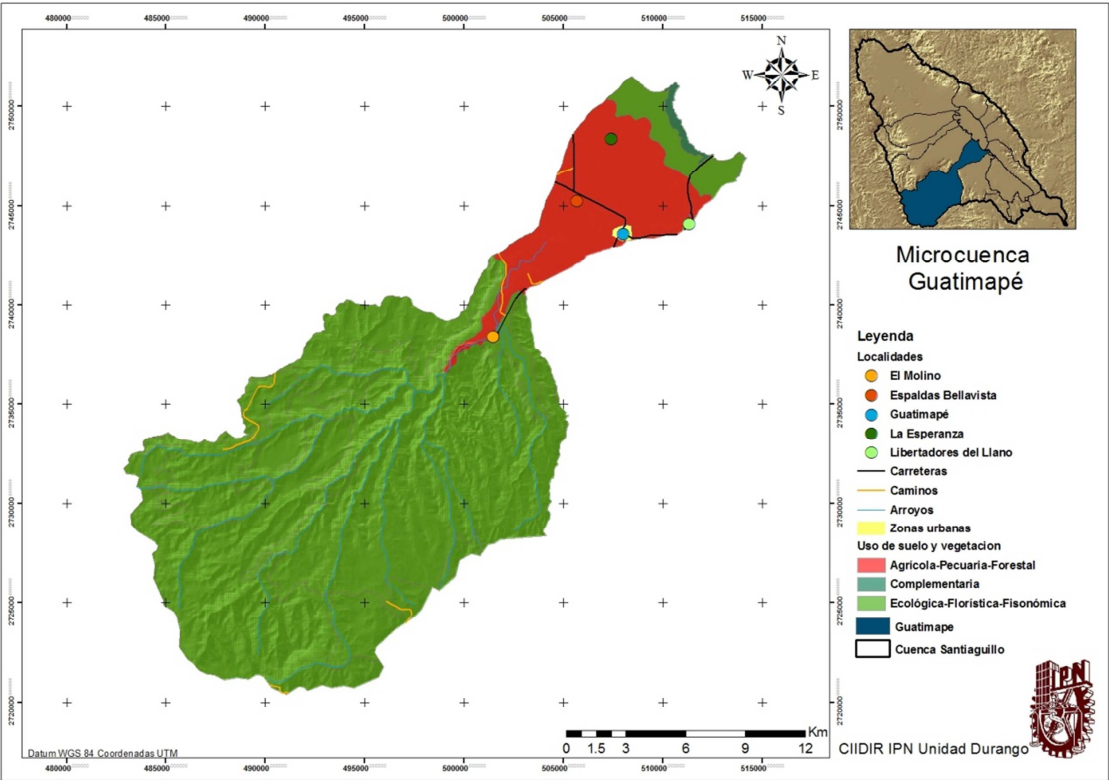


Figura 39. Ubicación de la microcuenca Guatimapé
Fuente INEGI Elaboración propia

6.6.2 Cobertura del suelo

A pesar de tener un amplio territorio la microcuenca solo presenta dos tipos de cobertura vegetal, siendo el bosque de pino el de mayor extensión, de acuerdo a los conjuntos de datos vectoriales del INEGI (Cuadro 24).

Cuadro 24. Cobertura vegetal de la microcuenca Guatimapé		
Cobertura vegetal	Área en km2	Porcentaje
Bosque de pino	279.80	79
Pastizal	21.03	6

6.6.3 Características climáticas

La microcuenca guatimape presenta tres tipos de clima, dominando los del tipo templado y semifrío favoreciendo una mayor precipitación en esta zona (Cuadro 25).

Cuadro 25. Tipos de clima de la microcuenca Guatimapé

Tipo	Área en km ²	Porcentaje
Templado subhúmedo	156.64	44
Semifrío-subhúmedo	137.03	39
Semiseco templado	60.14	17

6.6.4 Suelos

Los suelos de tipo litosol y regosol son los de mayor presencia en la zona de estudio (Cuadro 26), ambos presentan infiltraciones de 12% del total del volumen infiltrado al suelo.

Cuadro 26. Suelo de la microcuenca Guatimapé

Tipo	Textura	Área	Porcentaje
Litosol	Media	194.36	55%
Regosol	Media	69.93	20%
Feozem	Media	35.89	10%
Feozem	Fina	24.41	7%
Solonchak	Media	13.91	4%
Vertisol	Fina	15.25	4%
N/A	N/A	0.05	0%

6.6.5 Litología superficial

Las rocas del tipo riolita-toba ácida se encuentran presente en el 78% de la microcuenca (Cuadro 27), con base en el manual del MANUAL PUBLICADO POR EL IMTA se establece un porcentaje de infiltración de 10%

Cuadro 27. Geología superficial en la microcuenca Guatimapé

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	276.75	78
Aluvial	N/A	58.33	16
Andesita	Ígnea extrusiva	9.73	3
Lacustre	N/A	8.95	3
N/A	N/A	0.06	0

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

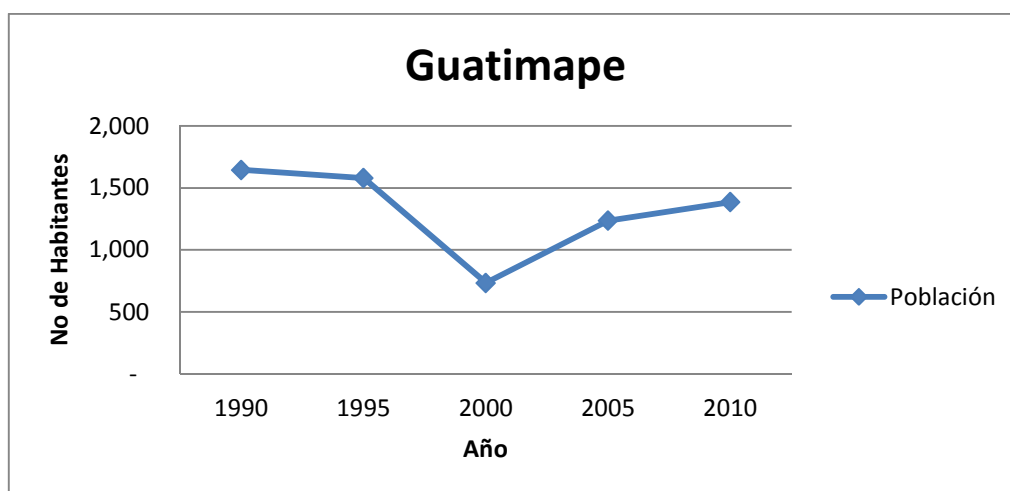
6.6.6 Demografía y vivienda

La población total de la microcuenca es de 1,386 habitantes, con una densidad de 4 habitantes por km², la conforma 12 localidades cuyos nombres y habitantes aparecen en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Localidades de la microcuenca Guatimapé

Nombre	Población
Guatimapé	945
Libertadores del Llano	158
El Molino	104
Heide	6
Bellavista 2	4
La Tinaja	4
Rancho del Valle	4
Bellavista	3
Rancho Gandarilla	3
Camerino Herrera M	2
Espaldas Bellavista	2
Rancho Tremillo	2

La población de la microcuenca ha presentado una considerable disminución en del año 1995 al 2000 (Figura 40), pero se ha recuperado en la última década, con una tasa de -0.79% anual.

**Figura 40.** Tendencia poblacional de la microcuenca Guatimapé

La zona presenta 372 viviendas habitadas de las cuales el 95% cuenta con un abastecimiento de agua potable (Cuadro 29).

Cuadro 29. Vivienda de la microcuenca Guatimapé

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	372	
Viviendas que cuentan con agua entubada	355	95
Viviendas que cuentan con drenaje	324	91
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	267	82

6.6.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua

Existen 15 pozos destinados al uso público urbano con un volumen total anual concesionado de 113,832 m³, 4,873 m³ provienen de concesiones superficiales dando con esto una dotación diaria por habitante de 225 litros.

La actividad de la agricultura tiene destinadas 3,884 ha de temporal y 1,162 ha se han destinado para agricultura de riego, para ello cuentan con 31 pozos bajo esta concesión con un volumen anual de 4.43 hm³, además de contar con concesiones de agua superficial por 0.79 hm³, se estimó una lamina de riego de 27.60 cm. Mientras que para lo pecuario el número de pozos registrados son 7 y el volumen anual concesionado de extracción es de 4,585 m³, de agua superficial tiene concesionado un volumen de 767 m³, información de la Unión Ganadera presenta un censo para el año 2013 de 1,600 cabezas de ganado a la cual se le dota de 9.16 l/cabeza al día.

6.6.8 Disponibilidad de agua superficial

Se estimó que anualmente el volumen precipitado sobre la microcuenca es de 204.30 hm³ con una precipitación media anual de 577.30 mm y su coeficiente de escurrimiento es de 9%. De acuerdo al balance superficial se determinó que la microcuenca se encuentra en equilibrio ya que es capaz de aportar el agua necesaria para cubrir los volúmenes destinados para los distintos usos (Cuadro 30).

Cuadro 30. Balance superficial de la microcuenca Guatimapé

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Guatimapé	18.66	0.79	0.29	0.11	18.25	7.75	10.30	10.30	Equilibrio

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

6.6.9 Disponibilidad agua subterránea.

La microcuenca presenta un porcentaje general de infiltración a partir de la precipitación de 1.44%, la mayor infiltración se produce dentro del área donde se encuentra el material no consolidado, estimando un porcentaje de infiltración de 2.79% en esa área. Se calculó una infiltración total en la microcuenca de 3.10 hm³ y el volumen que se evapotranspira es de 0.48 hm³ (

Cuadro 31).

Cuadro 31. Balance subterráneo de la microcuenca Guatimapé

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Guatimapé	0.84	0.17	2.10	0.48	3.10	0.48	2.54	0.08	82%

Volumen en hm^3 Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

Se observa una explotación que sobrepasa la recarga media anual en 82%. Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.7 Resultados de la microcuenca La Tinaja

6.7.1 Ubicación

Presenta una superficie de 109.46 km^2 y se ubica en las coordenadas extremas UTM WGS84: N 2'751,275, S 2'731,528, O 512,813, E 533,000, con una superficie de 10,939 ha (Figura 41).

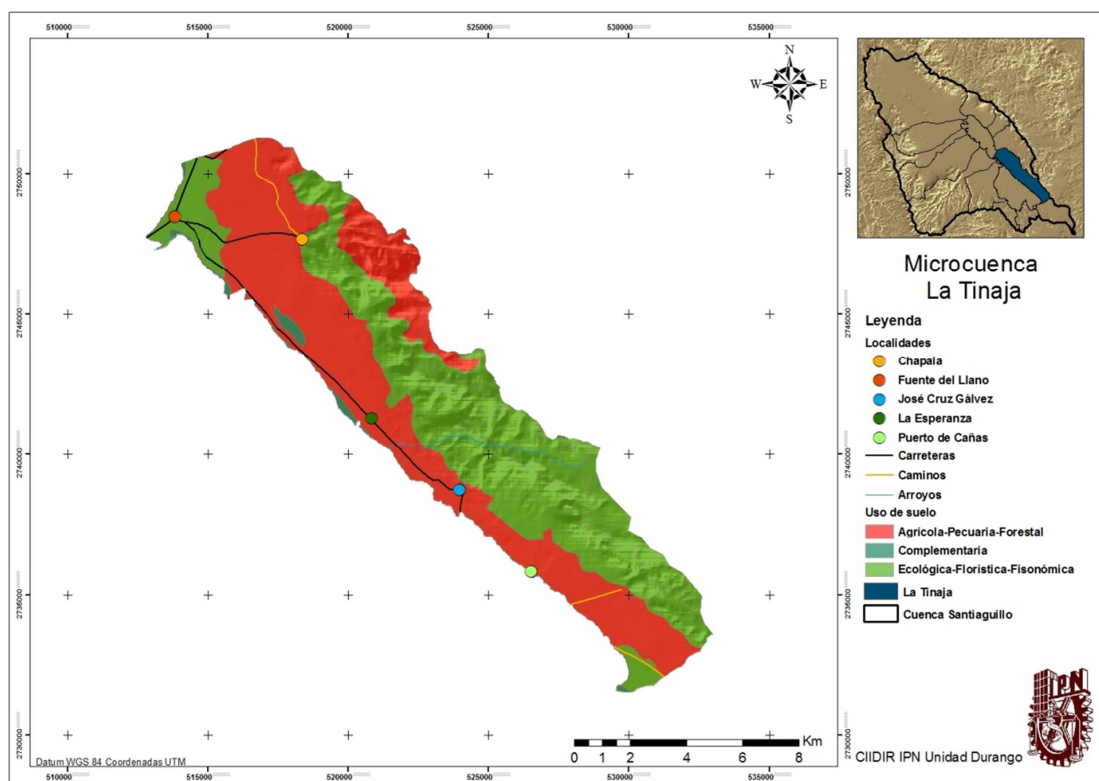


Figura 41. Ubicación de la microcuenca La Tinaja
Fuente INEGI Elaboración propia

6.7.2 Cobertura del suelo

El matorral crasicaule se puede considerar como la principal cobertura en la zona debido a que se extiende en el 26% del área (Cuadro 32).

Cuadro 32. Cobertura vegetal de la microcuenca La Tinaja

Tipo	Área en km ²	Porcentaje
Matorral crasicaule	27.97	26
Pastizal natural	16.51	15
Pastizal halófilo	6.94	6
Bosque de encino	2.56	2
N/A	55.48	51

6.7.3 Características climáticas

Presenta un clima semiseco templado, con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm.

6.7.4 Suelos

Los suelos de mayor extensión en la zona son del tipo litosolo y vertisol (Cuadro 33), el primero permite una infiltración de 10% mientras que el vertisol es de 4%.

Cuadro 33. Suelos de la microcuenca La Tinaja

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Litosol	Media	53.37	49
Vertisol	Fina	34.75	32
Feozem	Media	9.05	8
Xerosol	Gruesa	8.92	7.5
Solonchak	Fina	1.86	1.5
Solonchak	Media	0.06	0.5
Xerosol	Media	0.10	0.5
N/A	N/A	1.35	1

6.7.5 Litología superficial

Dadas las condiciones de geología superficial en la zona las de mayor extensión de las tobas y suelos aluviales (Cuadro 34) permiten una infiltración del volumen almacenado en el suelo de 10% y 35% respectivamente.

Cuadro 34. Geología superficial de la microcuenca La Tinaja

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	54.02	49
Aluvial	N/A	44.81	41
Lacustre	N/A	6.76	6
Eólico	N/A	1.84	2
Toba ácida	Ígnea extrusiva	0.72	1
N/A	N/A	1.31	1

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.7.6 Demografía y vivienda

La población total de la microcuenca es de 868 habitantes distribuidas en 4 localidades (Cuadro 35), con una densidad actual estimada de 8 hab./km². La población presenta una disminución en el año 1995 (Figura 42). La tasa se estima en -1.28%.

Cuadro 35. Localidades de la microcuenca La Tinaja

Localidad	Población
Fuente del Llano (Santiaguillo)	527
José Cruz Gálvez (Cañas)	241
Chapala	93
Puerto de Cañas (La Noria)	7

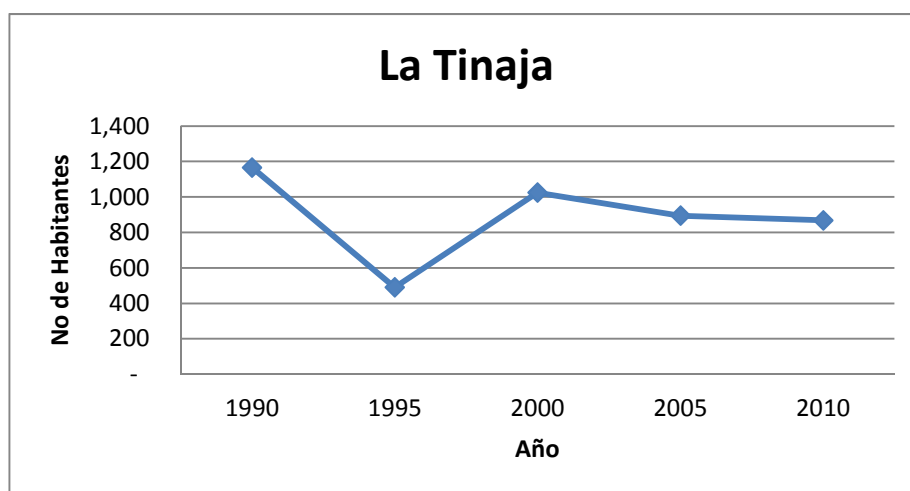


Figura 42. Tendencia poblacional de la microcuenca La Tinaja

Se presenta un total de 207 viviendas habitadas, de las cuales el 98% cuenta con servicio de agua potable (Cuadro 36).

Cuadro 36. Vivienda en la microcuenca La Tinaja

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	207	
Viviendas que cuentan con agua entubada	203	98
Viviendas que cuentan con drenaje	171	83
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	176	85

6.7.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua

Dentro de la zona se cuentan con 7 pozos destinados al uso público urbano con un volumen anual concesionado de 66,030 m³ dotando a la población con 208.41 litros.

La microcuenca cuenta con una superficie de 5,416.76 ha destinadas a la agricultura, 299.76 ha son del tipo de riego para lo cual se han realizado 6 concesiones de uso de agua subterránea con un volumen de 747,365 m³, además de una concesión de 150,000 m³ de agua superficial, con una lámina de riego de 75.78 cm. Para uso agrícola de temporal la extensión territorial es de 5,117 ha.

Para abastecer de agua al sector pecuario de la zona se cuentan con 6 concesiones superficiales con un volumen anual de 17,899 m³, de igual manera se encuentran 3 pozos para extraer un volumen anual concesionado de 7,848 m³, la Unión Ganadera reporta 1,906 cabezas de ganado, recibiendo una dotación diaria de agua de 56.29 litros.

6.7.8 Disponibilidad de agua superficial

De acuerdo al balance realizado se estima que se precipitan anualmente 50.36 hm³ con una precipitación media anual de 460.33 mm. Se calculó un coeficiente de escurrimiento del 10%. El Cuadro 37 presenta el resumen del balance hidrológico realizado para esta zona.

Cuadro 37. Balance superficial de la microcuenca La Tinaja

Nombre	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
La Tinaja	5.26	0.17	0.11	0.40	4.81	3.85	0.96	0.96	Déficit

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

La microcuenca no es capaz de satisfacer las concesiones superficiales debido a que sobrepasan al volumen escurrido, provocando un déficit de agua.

6.7.9 Disponibilidad agua subterránea.

Se calculó un porcentaje de infiltración total de 1.71%, se presenta un mayor porcentaje de infiltración dentro de las zona de material no consolidado con un 2.22%, para el material consolidado se estima un porcentaje de infiltración de 1.19%. El balance hidrológico subterráneo se presenta en el Cuadro 38.

Cuadro 38. Balance subterráneo de la microcuenca La Tinaja

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
La Tinaja	0.56	0.05	0.30	1.51	0.92	1.55	2.21	-2.80	241%

Volumen en hm^3 Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

El balance subterráneo nos refleja que el acuífero está siendo sometido a una presión que supera la recarga en un 241%.

6.8 Resultados de la microcuenca El Candado

6.8.1 Ubicación

Se ubica en la zona oeste de la cuenca, sus coordenadas UTM WGS 84 son: N 2'758,352.78, S 2'742,343.14, O 473,988.37 y E 504,328.03 (Figura 43). La extensión territorial que presenta es de 56.14 km^2 en la cuenca alta, la cual abastece la presa La Redonda y 64.25 km^2 pertenecen a la cuenca baja, siendo su superficie total de 120.39 km^2 .

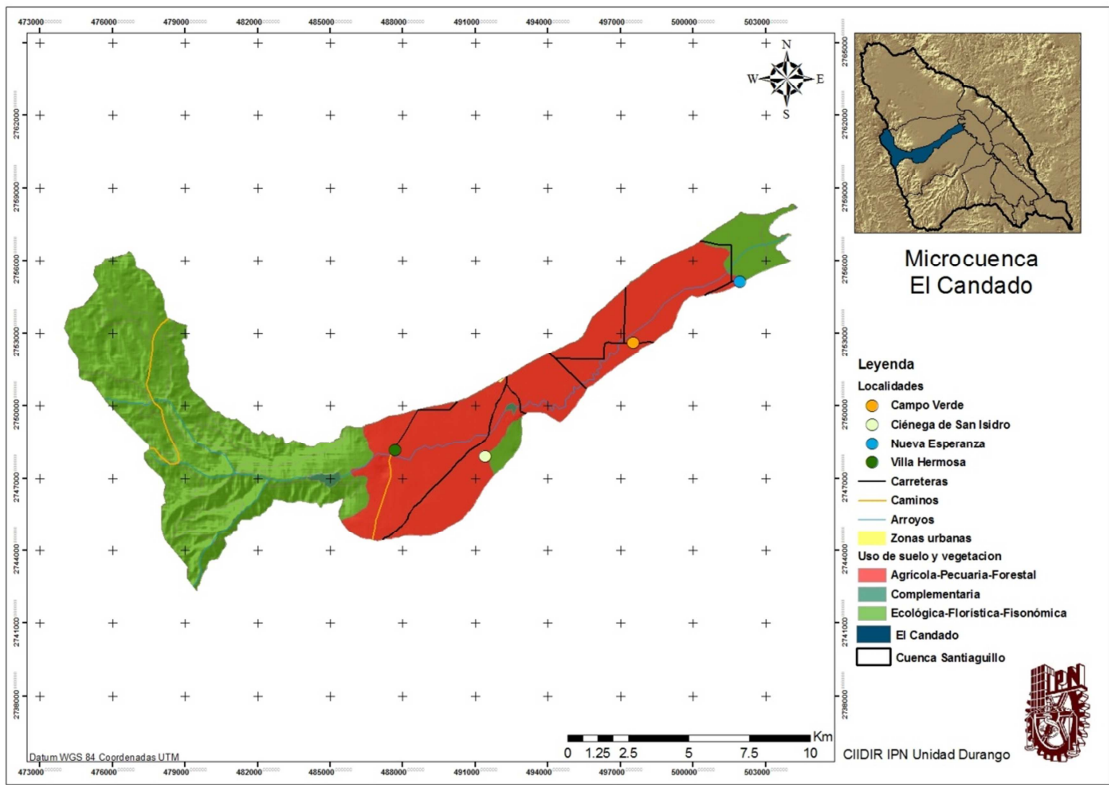


Figura 43. Ubicación de la microcuenca El Candado
Fuente INEGI Elaboración propia

6.8.2 Cobertura del suelo

El bosque de pino se extiende en el 44% del territorio (Cuadro 39).

Cuadro 39. Cobertura vegetal de la microcuenca El Candado

Cobertura vegetal	Área en km2	Porcentaje
Bosque de pino	52.83	44
Pastizal natural	10.76	9
Matorral crasicaule	1.61	1
Pastizal halófilo	1.57	1
Pastizal inducido	1.31	1
N/A	52.31	44

6.8.3 Características climáticas

Se observa una extensión similar entre los tres tipos de clima (Cuadro 40), siendo el semifrío-subhúmedo el clima que favorece las precipitaciones en la zona.

Cuadro 40. Tipos de clima de la microcuenca El Candado

Tipo	Área en km2	Porcentaje
Semifrío-subhúmedo	43.49	36
Semiseco templado	39.08	32
Templado subhúmedo	37.82	32

6.8.4 Suelos

El principal suelo presenta es del tipo vertisol (Cuadro 41), de acuerdo al manual del IMTA este tipo de suelos presentan un bajo porcentaje de infiltración con un 4% a partir de la precipitación.

Cuadro 41. Suelos de la microcuenca El Candado

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Vertisol	Fina	60.96	51
Regosol	Media	25.30	21
Litosol	Media	19.69	16
Feozem	Media	9.82	8
Solonchak	Media	4.62	4

6.8.5 Litología superficial

La riolita-toba ácida se encuentra en mayor extensión dentro de la microcuenca (Cuadro 42), permite una infiltración de 10% con respecto al manual del IMTA.

Cuadro 42. Geología superficial de la microcuenca El Candado

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	50.14	42
Aluvial	N/A	45.77	38
Toba ácida	Ígnea extrusiva	10.04	8
Andesita	Ígnea extrusiva	9.42	8
Lacustre	N/A	4.41	4

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.8.6 Demografía y vivienda

La microcuenca presenta una población total de 928 en 5 localidades (Cuadro 43), con una densidad de 8 hab./km². El principal asentamiento dentro de la zona es Villa Hermosa ubicada en las cercanías a la cortina de la presa La Redonda.

Se observó un incremento en la población en el año 2000, sin embargo en los últimos censos realizados se presentan disminuciones en el número de habitantes (Figura 44), con los datos de los censos se estimó una tasa anual de -0.81%.

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

Cuadro 43. Localidades de la microcuenca El Candado

Nombre	Población
Villa Hermosa	510
Nueva Esperanza	220
Campo Verde	189
Ciénega de San Isidro	9

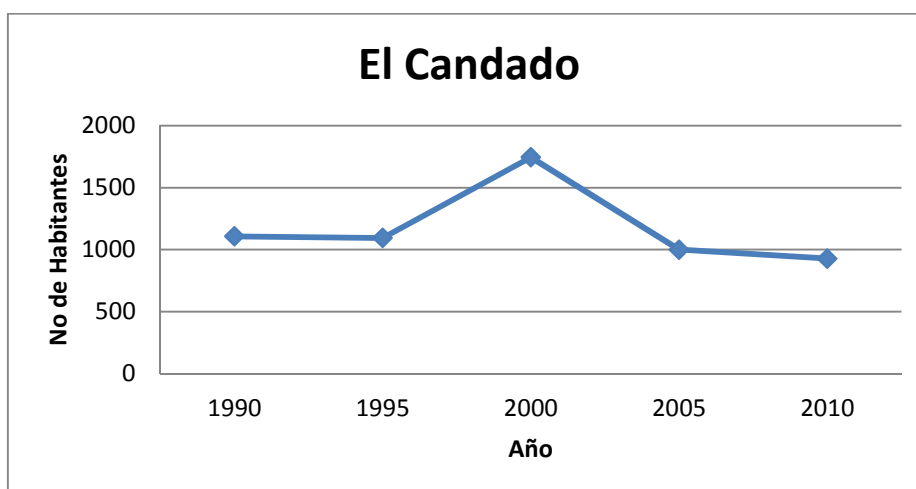


Figura 44. Tendencia poblacional de la microcuenca El Candado

La zona cuenta con 208 viviendas ocupadas de las cuales el 78% cuenta con servicio de agua entubada (Cuadro 44).

Cuadro 44. Vivienda de la microcuenca El Candado

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	208	
Viviendas que cuentan con agua entubada	162	78
Viviendas que cuentan con drenaje	196	94
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	172	83

6.8.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

La microcuenca cuenta con una obra de almacenamiento de nombre La Redonda (Figura 45), los datos técnicos se presentan en el Cuadro 45. **Datos técnicos de la presa La Redonda**

Cuadro 45. Datos técnicos de la presa La Redonda (Fuente: CONAGUA)

PRESA DE ALMACENAMIENTO	
Concepto	Datos
OBRA DE ALMACENAMIENTO	
Nombre oficial de la obra	La Redonda
Nombre popular	Villahermosa
Fecha de construcción	1950
Fecha de operación	1952
Área de la cuenca (km ²)	
Latitud	24° 50' 12"
Longitud	105° 08' 36"
Elevación corona (m)	2104.00

Elevación N.A.M.E (m) (elevación de la carga máxima sobre el vertedor)	2101.95
Elevación N.A.N. (m) (elevación del vertedor)	1995.4
	(2104-108.6=1995.4)

VASO DE ALMACENAMIENTO

Capacidad Total (miles de m ³)	7 hm ³
Capacidad útil (miles de m ³)	6.5 hm ³
Capacidad de azolves(miles de m ³)	0.5 hm ³

CORTINA

Tipo	Flexible, de mat.granulados
Institución constructora	Particulares, SARH
Año de construcción	1950
Altura máxima (m)	39.00
Longitud (m)	450.00
Ancho de corona (m)	8.00
Talud aguas arriba	2:1
Talud aguas abajo	2:1
Estado físico (B, R o M)	R

VERTEDOR

Tipo	Abanico, de operación libre
Gasto máximo de descarga (m ³ /seg)	184.00
Longitud de la cresta (m)	28.50
Carga máxima sobre la cresta (m)	108.6
	(2104-1995.40=108.6)

OBRA DE TOMA (AÑO 1986)

Tipo	Tubería a presión.
Gasto normal (m ³ /seg)	4.340
Continuación cuadro 45	
Gasto máximo (m ³ /seg)	
Diámetro o dimensiones del conducto (m)	0.90
Material de construcción	Material Granulado Y Tubería De Acero



Figura 45. Cortina de la presa La Redonda

Existen 4 pozos bajo el estatus de uso público urbano con un volumen anual concesionado por $457,938 \text{ m}^3$, además de contar con una concesión superficial de $33,726 \text{ m}^3$ dando como resultado una dotación diaria por habitante de 1,462.44 litros

Del área se han destinado 5,167 ha para las actividades agrícolas; 2,474 ha son de riego mientras que 2,693 ha son de temporal. De agua superficial concesionada actividades agrícolas de riego se cuentan con 4.7 hm^3 anuales, además de existir 68 pozos de uso agrícola con un volumen anual concesionado de 1.56 hm^3 , con estas cifras se estima una lámina de riego de 35.96 cm.

Dentro de la zona se han inducido 131 ha de pastizal para el sector pecuario, y existen 33 pozos de uso pecuario con un volumen anual de extracción concesionado por $40,887 \text{ m}^3$, la Unión Ganadera reporta 1,814 cabezas de ganado en la zona, las cuales reciben 65.14 litros de agua al día por cabeza.

La microcuenca también cuenta con una concesión anual subterránea de 1,460 m³ destinados al uso industrial. De igual manera se tienen registrados 2 pozos de usos múltiples con un volumen de 48,768 m³.

6.8.8 Disponibilidad de agua superficial

Se calcula que la microcuenca presenta un volumen anual precipitado de 37.31 hm³ para la cuenca alta, con una precipitación anual de 664.68 mm, y su coeficiente de escurrimiento es de 9%. Para la cuenca baja se estima un volumen anual precipitado de 40.60 hm³, con una media de precipitación anual de 631.97 mm y un coeficiente de escurrimiento de 12%. El Cuadro 46 presenta el resumen del balance hidrológico superficial.

Cuadro 46. Balance superficial de la microcuenca El Candado

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Presa La Redonda	3.54	-	-	0.21	3.33	4.94	-	-	Déficit
El Candado	9.72	4.76	0.86	0.17	5.64	2.64	3	6.33	Disponibilidad

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

Se observó una condición de déficit para la cuenca alta, debido a que el volumen concesionado en la cuenca baja sobrepasa la cantidad de agua que se almacena en la presa. Para la cuenca baja se estima que se encuentra en disponibilidad, ya que es capaz de sostener las concesiones otorgadas con la cantidad de agua que se precipita y se escurre de manera natural.

6.8.9 Disponibilidad agua subterránea.

De acuerdo a las condiciones naturales de la microcuenca se estimó un porcentaje total de infiltración de 1.14%. El cuadro 47 muestra el balance subterráneo realizado para la microcuenca, comparando los volúmenes concesionados con la recarga, se estimó una presión al acuífero de 4 veces y medio su capacidad de recarga.

Cuadro 47. Balance subterráneo de la microcuenca El Candado

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
El Candado	0.40	0.15	0.48	0.11	1.03	0.11	4.72	-3.80	456%

Volumen en hm³ Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

6.9 Resultados de la microcuenca El Trébol

6.9.1 Ubicación

Se ubica al este de la cuenca y las coordenadas extremas UTM WGS 84 son: N 2'765,635, S 2'754,883, O 510,874, E 519,013. Tiene una superficie de 40.76 Km² (Figura 46).

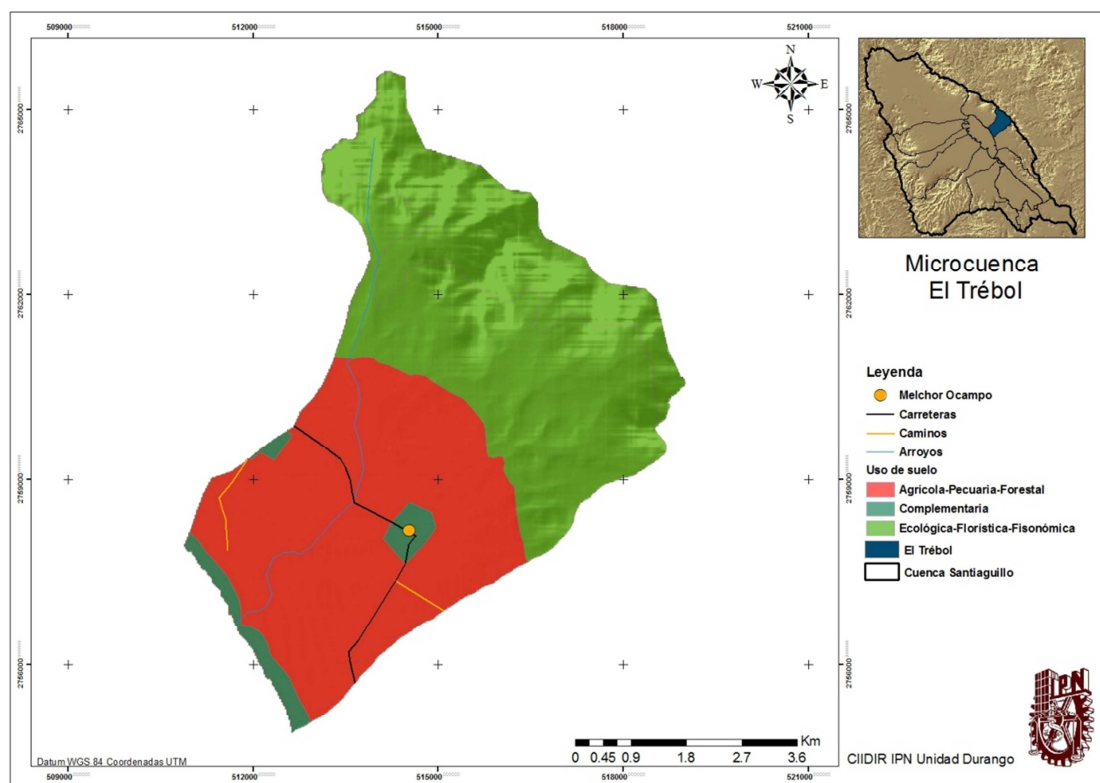


Figura 46. Ubicación de la microcuenca El Trébol
Fuente INEGI Elaboración propia

6.9.2 Cobertura del suelo

Presenta una cobertura natural vegetal dominada por los pastizales, extendiéndose en el 32% del territorio (Cuadro 48).

Cuadro 48. Cobertura vegetal de la microcuenca El Trébol

Tipo	Área km ²	Porcentaje
Pastizal	13.12	32
Bosque de encino-pino	8.22	20
N/A	19.43	48

6.9.3 Características climáticas

El clima que presenta es semiseco templado, con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm.

6.9.4 Suelos

Los suelos del tipo litosol y fluvisol se encuentran presentes en la mayor parte de la microcuenca (Cuadro 49), ambos favorecen la infiltración a partir de la lluvia, de acuerdo al manual del IMTA el primero infiltra el 12% de la lluvia y el segundo el 15%.

Cuadro 49. Suelos de la microcuenca El Trébol

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Litosol	Media	18.23	45
Fluvisol	Gruesa	10.83	33
Feozem	Media	7.43	20
Solonchak	Media	0.88	1
Vertisol	Fina	0.51	1

6.9.5 Litología superficial

Dadas las condiciones de geología superficial en la zona las de mayor extensión fueron las tobas y los suelos aluviales (Cuadro 50), las cuales permiten una infiltración a partir del volumen infiltrado en el suelo de 10% y 35% respectivamente.

Cuadro 50. Geología superficial de la microcuenca El Trébol

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	21.21	52
Aluvial	N/A	17.14	42
Eólico	N/A	1.54	4
Lacustre	N/A	0.88	2

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.9.6 Demografía y vivienda

Presenta una población total de 372 habitantes con una sola localidad en el territorio de nombre Melchor Ocampo, la densidad actual estimada es de 9 hab./km². La población presenta una disminución en los últimos censos realizados (Figura 47), con una tasa de -1.60% anual. La zona presenta 95 viviendas habitadas de las cuales el 98% cuentan con servicio de agua potable (Cuadro 51).

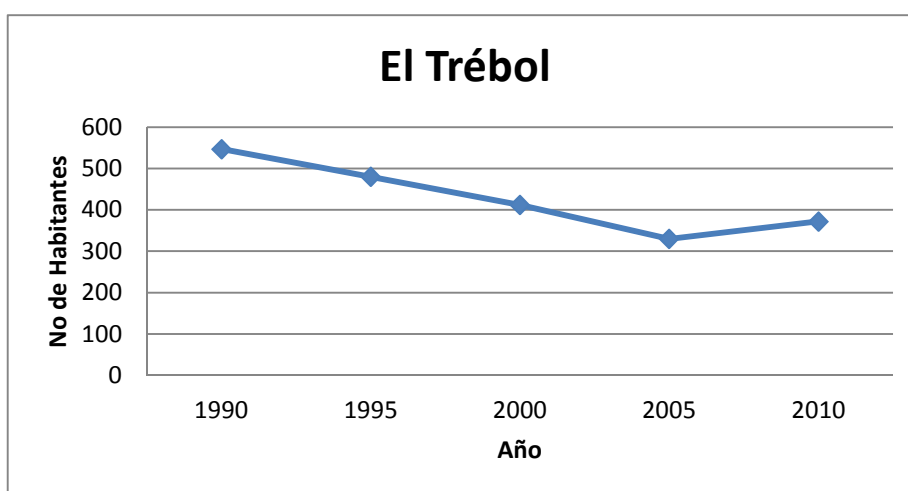


Figura 47. Tendencia poblacional de la microcuenca El Trébol

Cuadro 51. Vivienda de la microcuenca El Trébol

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	95	
Viviendas que cuentan con agua entubada	93	98
Viviendas que cuentan con drenaje	70	74
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	81	85

6.9.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua

Se cuenta con dos concesiones subterráneas para uso público urbano con un volumen anual de extracción por 49,494 m³ y una superficial con un volumen de 9,199 m³, lo que da como resultado una dotación diaria por habitante de 432.27 litros.

Se han destinado 1,796.53 ha para uso agrícola de temporal, sin embargo se presentan 4 concesiones para uso agrícola de 1.5 hm³. Para la actividad pecuaria se presentan 9 concesiones superficiales, dichas concesiones son de un volumen anual de 39,056 m³, la Unión Ganadera reporta 470 cabezas de ganado en la microcuenca, las cuales reciben 227.67 litros de agua al día.

6.9.8 Disponibilidad de agua superficial.

Se estima que anualmente se precipita sobre la microcuenca un total de 22.54 hm³, con una precipitación media anual de 552.87mm y un coeficiente de escurrimiento de 9%. El resumen de los cálculos del balance hidrológico se presenta en el Cuadro 52.

Cuadro 52. Balance hidrológico superficial El Trébol

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
El Trébol	2.01	0.05	0.07	0.01	2.02	0.89	1.12	1.12	Equilibrio

Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

Dados los cálculos realizados la microcuenca se encuentra en equilibrio ya que soporta los volúmenes de agua aportados son capaces de mantener la concesión otorgada.

6.9.9 Disponibilidad agua subterránea.

Las condiciones naturales permiten una infiltración a partir de la lluvia de 2.87%, sobre el material consolidado se infiltra el 1.24%, destaca el porcentaje de infiltración sobre el material no consolidado 4.66%. El Cuadro 53 presenta el resumen de los cálculos del balance hidrológico subterráneo.

Cuadro 53. Balance subterráneo de la microcuenca El Trébol

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
El Trébol	0.50	0.02	0.15	0.20	0.67	0.20	1.58	-1.11	237%

Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.-Disponibilidad subterránea

Con el cálculo realizado se estima que se esta llevando a cabo una explotación de agua subterránea que supera más de dos veces la capacidad de recarga en el acuífero.

6.10 Resultados de la microcuenca El Gato

6.10.1 Ubicación

Se ubica al noroeste de la cuenca y sus coordenadas extremas UTM WGS 84 N 2'761,256, S 2'748,313, O 477,423, E 504,363, con una superficie de 183.87 km² (Figura 48).

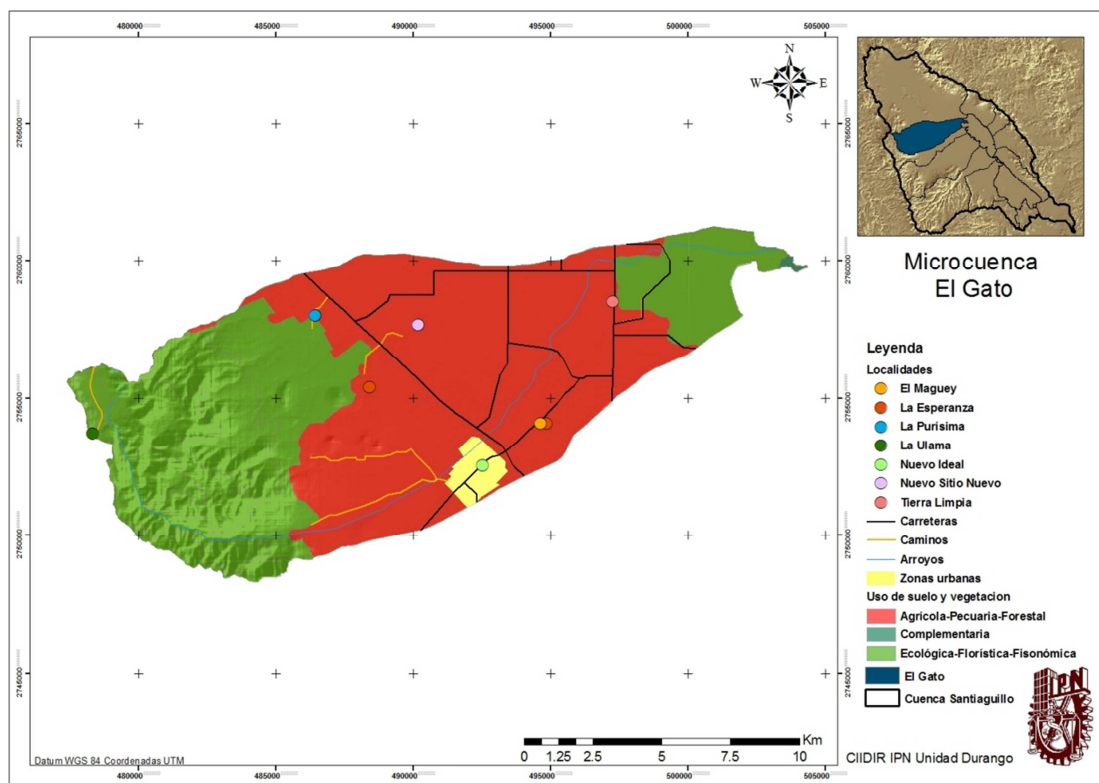


Figura 48. Ubicación de la microcuenca El Gato
Fuente INEGI Elaboración propia

6.10.2 Cobertura del suelo

Las condiciones de la microcuenca presentan una cobertura vegetal natural del 44%, 22% de bosque de pino y 21% de pastizal, la cobertura vegetal de la superficie se presenta en el Cuadro 54

Cuadro 54. Cobertura vegetal en la microcuenca El Gato

Cobertura vegetal	Área km ²	Porcentaje
Bosque de pino	42.25	23
Pastizal	38.58	21
N/A	103.04	56

6.10.3 Características climáticas

El clima dominante en la microcuenca es semiseco templado ocupando el 62% del área total (Cuadro 55).

Cuadro 55. Tipos de suelo de la microcuenca El Gato

Clima	Área km ²	Porcentaje
Semiseco templado	113.71	62
Templado subhúmedo	48.30	26
Semifrío-subhúmedo	21.46	12

6.10.4 Suelos

El vertisol es el tipo de suelo dominante en la microcuenca, se encuentra presente en el 62% de la superficie (Cuadro 56), de acuerdo al manual del IMTA, es capaz de infiltrar el 4% del volumen precipitado.

Cuadro 56. Suelo de la microcuenca El Gato

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Vertisol	Fina	113.93	62
Solonchak	Media	29.61	16
Regosol	Media	20.85	11
Litosol	Media	15.82	9
Feozem	Media	3.66	2

6.10.5 Litología superficial

La extensa superficie de suelos aluviales (Cuadro 57) es un factor que presenta buena infiltración al acuífero, de acuerdo al manual del IMTA el porcentaje de infiltración es de 35%.

Cuadro 57. Geología superficial de la microcuenca El Gato

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Aluvial	N/A	43.63	65
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	41.01	22
Conglomerado	Sedimentaria	8.36	5
Andesita	Ígnea extrusiva	5.84	3
Lacustre	N/A	4.93	3
Toba ácida	Ígnea extrusiva	3.62	2

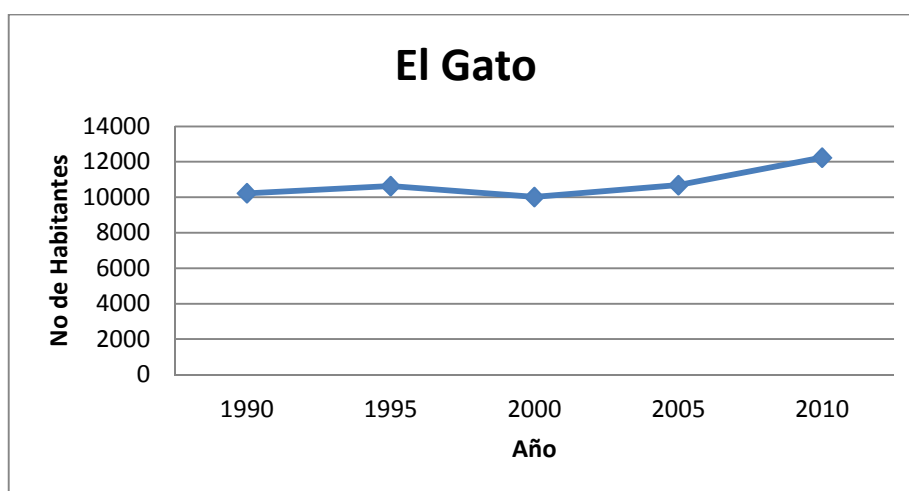
Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.10.6 Demografía y vivienda

La microcuenca cuenta con una población total de 12,234 habitantes, distribuidos en diversas localidades (Cuadro 58). Se estima una densidad de 67 hab./km², y presenta un crecimiento poblacional con una tasa anual del 1% (Figura 49). La zona presenta un total de viviendas habitadas de 2993, de las cuales el 94% cuenta con servicio de agua entubada (Cuadro 59).

Cuadro 58. Localidades de la microcuenca El Gato

Nombre	Población
Nuevo Ideal	10876
Jardín de Flores	247
Nueva Instalación	223
Tierra Limpia	168
Campo Hermoso	137
Campo de Gracia	137
Sitio Nuevo	125
Campo de Rosas	93
Campo Pradera Hermosa	93
Campo de Flores	59
Nuevo Sitio Nuevo	40
Rancho Nevárez	13

**Figura 49.** Tendencia poblacional de la microcuenca El Gato**Cuadro 59.** Vivienda de la microcuenca El Gato

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	2993	
Viviendas que cuentan con agua entubada	2827	94
Viviendas que cuentan con drenaje	2778	93
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	2879	96

6.10.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua

La microcuenca abastece a los pobladores de agua potable a través de 25 pozos con un volumen de extracción anual concesionado de 397,765 m³, además de una concesión superficial de 256 m³, proporcionando una dotación diaria a sus habitantes de 898.55 litros.

Se cuentan con 99.36 has para uso agrícola, de los cuales 73.11 ha son de agricultura de temporal y 26.25 ha de tipo riego, para este último se atiende la demanda de agua a través de 158 pozos con un volumen de 5.08 hm³, de igual manera existen 2 concesiones superficiales por una cantidad de 48,000 m³, dando como resultado una lámina de riego de 46.05 cm.

El sector pecuario cubre sus necesidades a través de 138 pozos con un volumen total concesionado de 105,113 m³ anuales, cifras de la Unión Ganadera reportan 2,077 cabezas de ganado, las cuales reciben 142.34 litros diarios de agua.

Existen 7 pozos bajo la condición de usos múltiples con una concesión anual de 290,236 m³ y 1 de uso industrial el cual contempla la explotación de 1,825 m³.

6.10.8 Disponibilidad de agua superficial.

Se estimó que anualmente se precipita un volumen de 114.82 hm³ sobre la microcuenca, presentando una precipitación media anual de 624.48 mm. El coeficiente de escurrimiento que se obtuvo es de 12%. El Cuadro 60 presenta el resumen del balance hidrológico superficial.

Cuadro 60. Balance superficial de la microcuenca El Gato

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
El Gato	14.81	0.05	0.73	0.09	15.40	4.03	11.37	11.37	Disponibilidad

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

La microcuenca presenta una clasificación de disponibilidad, dicha clasificación nace debido a que los aportes de por precipitaciones pluviales y las escorrentías que se forman a partir de ellas, superan el volumen anual superficial concesionado en la zona.

6.10.9 Disponibilidad agua subterránea.

En cuanto a la infiltración natural que presenta la microcuenca se calculó que tiene un porcentaje de infiltración de 1.19 del volumen precipitado en el material consolidado, mientras que en el material no consolidado el porcentaje de infiltración es de 1.32%, obteniendo con esto una recarga infiltración a partir de la precipitación en la zona de 1.09 hm³. La descarga natural comprometida es de

0.69 hm³. El Cuadro 61 presenta el resumen del balance hidrológico subterráneo de la microcuenca.

Cuadro 61. Balance subterráneo microcuenca El Gato

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
El Gato	1.09	0.35	0.41	0.69	1.85	0.69	13.30	-12.14	721%

Volumen en hm³ Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

Los cálculos realizados muestran una sobre concesión que sobre pasa siete veces su capacidad de recarga, convirtiéndola en la microcuenca que ejerce mayor presión al agua subterránea en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo.

6.11 Resultados de la microcuenca Los Monos

6.11.1 Ubicación

Se ubica al suroeste de la microcuenca bajo las coordenadas extremas UTM WGS84 N 2'732,775, S 2'722,148, O 512,277, E 522,339. Cuenta con una superficie de 38.87 km² (Figura 50).

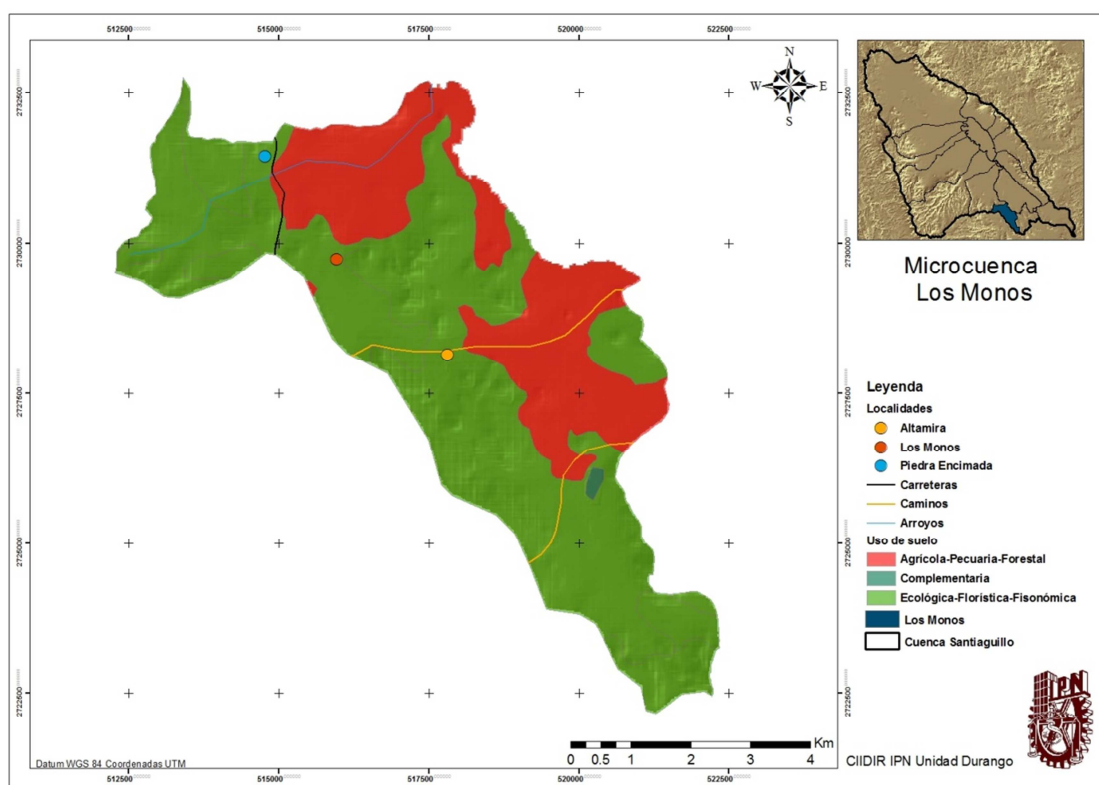


Figura 50. Ubicación de la microcuenca Los Monos
Fuente INEGI Elaboración propia

6.11.2 Cobertura del suelo

El matorral crasicaule es la cobertura vegetal de mayor extensión dentro de la microcuenca con una ocupación de 52% (Cuadro 62).

Cuadro 62. Cobertura vegetal en la microcuenca Piedra Encimada

Tipo	Área en km ²	Porcentaje
Matorral crasicaule	20.19	52
Pastizal	5.40	14
Bosque de encino	1.13	3
N/A	12.15	31

6.11.3 Características climáticas.

Presenta dos tipos de clima, el más extenso es del tipo semiseco templado con una superficie de 30.04 km² (77%), presenta lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm. Los 8.03 km² restantes son del tipo templado subhúmedo, su temperatura media anual se encuentra entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800.

6.11.4 Suelos.

Los suelos con mayor extensión son del tipo litosol y feozem (Cuadro 63), este tipo de suelos presentan una capacidad de infiltración por lluvia del 12%, uno de los valores más altos de y en una análisis de la superficie que ocupan, se puede exponer que la microcuenca presenta una buena infiltración edáfica.

Cuadro 63. Suelos de la microcuenca Los Monos

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Litosol	Media	17.03	44
Feozem	Media	16.13	41
Xerosol	Media	5.01	13
Vertisol	Fina	0.58	1
Solonchak	Media	0.01	0.5
N/A	Fina	0.11	0.5

6.11.5 Litología superficial.

Las rocas tipo tobas y los suelos aluviales (Cuadro 64), permiten una infiltración a partir del suelo de 10% y 35% respectivamente.

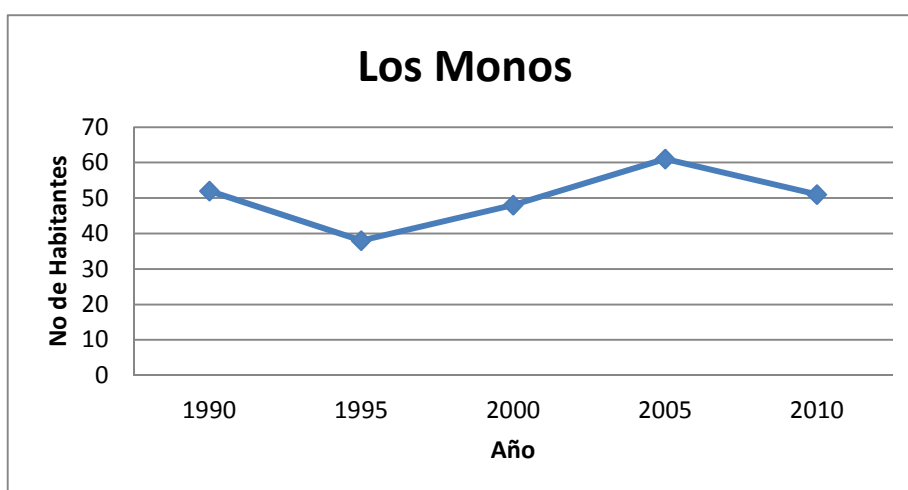
Cuadro 64. Geología superficial de la microcuenca Los Monos

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	27.31	70
Aluvial	N/A	10.23	26
Toba ácida	Ígnea extrusiva	1.21	3
Lacustre	N/A	0.01	0.5
N/A	N/A	0.11	0.5

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.11.6 Demografía y vivienda.

Cuenta con una población de 51 habitantes en 3 localidades; la comunidad de la Piedra Encimada es la que presenta una población mayor con 41 habitantes, seguida de los Monos con 7 y Altamira 3. La población presenta crecimiento de los años 1995 al 2005 (Figura 51). Se estimó una densidad de 1 habitante por km². Cuenta con 14 viviendas ocupadas y ninguna de ellas cuenta con servicios de agua entubada (Cuadro 65).

**Figura 51.** Tendencia poblacional de la microcuenca Los Monos**Cuadro 65.** Vivienda de la microcuenca Los Monos

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	14	
Viviendas que cuentan con agua entubada	0	-
Viviendas que cuentan con drenaje	6	42.86
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	7	50.00

6.11.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

En la microcuenca no se cuenta con ninguna concesión subterránea para uso público urbano, ni doméstico.

Se han destino 1204 ha para la actividad agrícola, dicha superficie presenta agricultura temporal, sin embargo se localiza un pozo destinado al uso agrícola con un volumen concesionado es de 12,000 m³ anuales.

6.11.8 Disponibilidad de agua superficial.

Se estimó una precipitación total sobre la microcuenca de 19.94 hm³ al año, con una precipitación media de 513.10 mm y un coeficiente de escurrimiento de 10%. El Cuadro 66 presenta el resumen de los cálculos realizados del balance hidrológico.

Cuadro 66. Balance superficial de la microcuenca Los Monos

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Los Monos	2.12	-	0	0.07	2.06	1.37	0.69	0.69	Equilibrio

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

6.11.9 Disponibilidad agua subterránea.

Las características naturales de la microcuenca permiten una infiltración a partir de la lluvia de 1.14% sobre el material consolidado y un 3.86% sobre el material no consolidado, se estimó una infiltración a partir de la lluvia de 0.21 hm³. El Cuadro 67 presenta el resumen del balance subterráneo.

Cuadro 67. Balance subterráneo microcuenca Los Monos

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Los Monos	0.21	0.00	0.18	0.55	0.39	0.55	0.01	-0.17	3%

Volumen en hm³ Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

De acuerdo a los valores obtenidos se estima que el acuífero presenta una explotación baja.

6.12 Resultados de la microcuenca Tejaman

6.12.1 Ubicación

Se ubica al oeste de la cuenca, bajo las coordenadas UTM WGS84: N 2'756,014, S 2'731,794, O 479,478, E 508,437. Cuenta con una superficie de 292.98 km²,

54.14 km² son de la cuenca alta cuyos escurrimientos desembocan en la presa, mientras que 238.84 km² pertenecen a la cuenca baja (Figura 52).

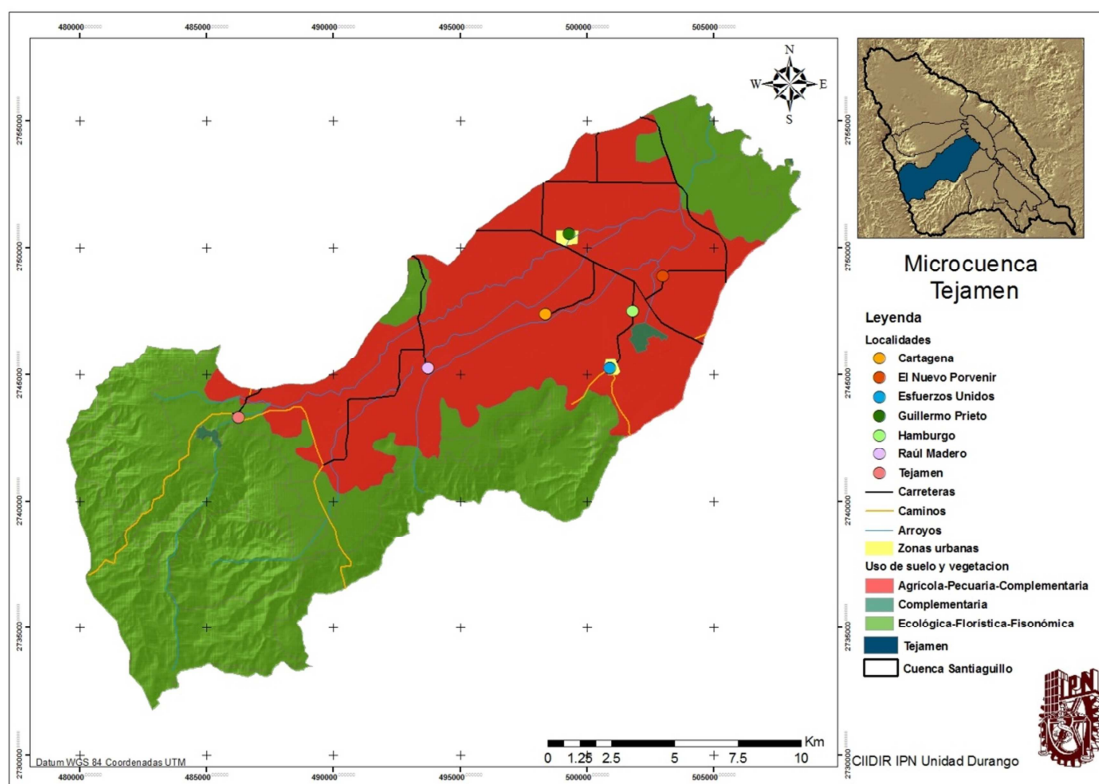


Figura 52. Ubicación de la microcuenca Tejamen
Fuente INEGI Elaboración propia

6.12.2 Cobertura del suelo.

Presenta una cobertura vegetal dominante del tipo bosque de pino con el 38% de la zona, dicha vegetación por encontrarse en zonas de mayor altitud favorecen la precipitación (Cuadro 68).

Cuadro 68. Cobertura vegetal en la microcuenca Tejamen

Cobertura vegetal	Área en km ²	Porcentaje
Bosque de pino	110.56	38
Pastizal	41.01	14
Matorral crasicaule	11.23	4
Bosque de encino	2.78	1
N/A	127.40	43

6.12.3 Características climáticas.

El clima tipo templado subhúmedo predomina en el territorio (Cuadro 69), su temperatura media anual se encuentra entre 12°C y 18°C, temperatura del mes

más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800.

Cuadro 69. Tipos de clima de la microcuenca Tejamen

Clima	Área en km ²	Porcentaje
Templado subhúmedo	121.64	42
Semiseco templado	120.60	41
Semifrío subhúmedo	50.75	17

6.12.4 Suelos.

Los suelos vertisol ocupan la mitad del territorio (Cuadro 70), estos presentan un porcentaje de infiltración del 4%, mientras el regosol, que se distribuye en el 23% de la zona, infiltra el 12%.

Cuadro 70. Suelos de la microcuenca Tejamen

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Vertisol	Fina	142.95	48
Regosol	Media	64.75	23
Litosol	Media	35.07	12
Feozem	Media	23.86	8
Solonchak	Media	15.14	6
Fezoem	Fina	9.94	2
N/A	N/A	1.27	1

6.12.5 Litología superficial.

Dadas las características de geología superficial en la zona (Cuadro 71), las de mayor extensión permiten una infiltración a partir del suelo de 10% para las tobas y 35% en los suelos aluviales.

Cuadro 71. Geología superficial de la microcuenca Tejamen

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Aluvial	N/A	135.48	45
Riolita toba-ácida	Ígnea extrusiva	76.58	26
Toba ácida	Ígnea extrusiva	39.57	14
Andesita	Ígnea extrusiva	28.34	10
Lacustre	N/A	10.44	4
Tonalita	Ígnea extrusiva	1.32	0.50
N/A	N/A	1.26	0.50

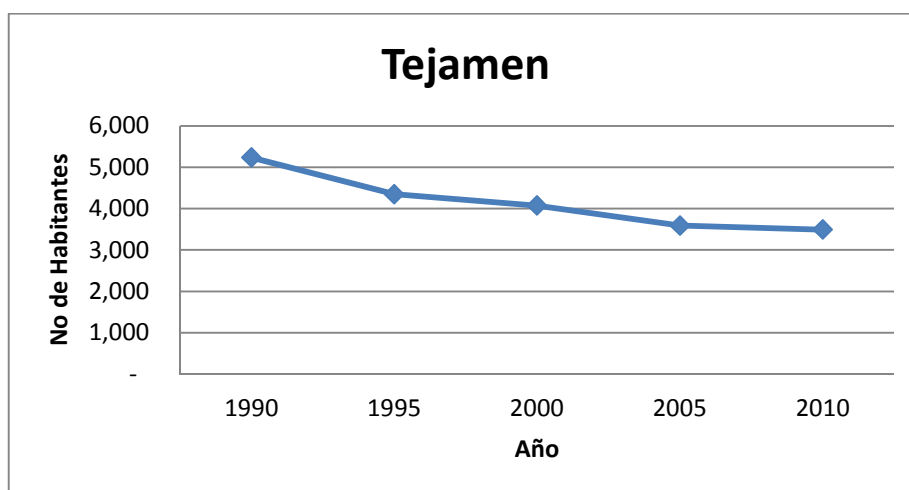
Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.12.6 Demografía y vivienda.

Con base en el último censo realizado por el INEGI la población total es de 3,491 habitantes, con una densidad de 12 hab./km², se distribuyen en las localidades de acuerdo al Cuadro 72. En los últimos censos se muestra una disminución en la población (Figura 53), presentando una tasa de -1.67%.

Cuadro 72. Localidades de la microcuenca Tejamen

Nombre	Población
Esfuerzos Unidos	1083
El Nuevo Porvenir	560
Guillermo Prieto	467
Raúl Madero	371
Valle Hermoso (Campo Grey)	287
Tierra Limpia	168
Astilleros de Abajo	162
Cartagena	150
Hamburgo	108
Llano Hermoso	107
Rancho Cuernavaca	7
Peter Janzen	6

**Figura 53** Tendencia poblacional de la microcuenca Tejamen

La zona cuenta con 802 viviendas habitadas de las cuales el 91% cuenta con servicio de agua entubada como lo muestra el Cuadro 73.

Cuadro 73. Vivienda de la microcuenca Tejamen

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	802	
Viviendas que cuentan con agua entubada	728	91
Viviendas que cuentan con drenaje	540	67
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	729	91

6.12.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

La microcuenca cuenta con una infraestructura hidráulica superficial llamada Tejamen (Figura 54), las especificaciones de la obra se presentan en el Cuadro 74.

Cuadro 74. Ficha de almacenamiento de la presa Tejamen (fuente CONAGUA)

Presa de almacenamiento	
Concepto	Datos
Obra de almacenamiento	
Nombre oficial de la obra	Tejamen
Nombre popular	Tejamen
Fecha de construcción	1975
Fecha de operación	1979
Área de la cuenca (km ²)	
Latitud	24° 48' 0.60"
Longitud	105° 08' 38"
Elevación corona (m)	2083.30
Elevación N.A.M.E (m) (elevación de la carga máxima sobre el vertedor)	2082.12
Elevación N.A.N. (m) (elevación del vertedor)	2080.22 (2083.22-3=2080.22)
Elevación Azolves (m)	
Superficie de proyecto (ha)	
Superficie regable (ha)	300
Vaso de almacenamiento	
Capacidad Total (miles de m ³)	3.0800 hm ³
Capacidad útil (miles de m ³)	2.88 hm ³
Capacidad de azolves(miles de m ³)	0.200 hm ³
Cortina	
Tipo	Grande, flexible de tierra y/o enrocamiento
Institución constructora	CONAGUA y antecesoras
Año de construcción	1975
Altura máxima (m)	29.80
Longitud (m)	120.00
Ancho de corona (m)	6.00
Talud aguas arriba	1.75:1
Talud aguas abajo	1.75:1
Estado físico (B, R o M)	R
Vertedor	
Tipo	Libre (canal lateral)
Gasto máximo de descarga (m ³ /seg)	400.00

Continuación cuadro 74

Longitud de la cresta (m)	80.00
Carga máxima sobre la cresta (m)	3 (2083.22-2080.22=3)
Obra de toma	
Tipo	Tubería de acero a presión
Gasto normal (m^3/seg)	1.00
Gasto máximo (m^3/seg)	
Diámetro o dimensiones del conducto (m)	20"



Figura 54. Cortina de la presa Tejamen

Para satisfacer la demanda de agua los pobladores de la microcuenca cuentan con 12 pozos de uso público urbano y 6 de uso doméstico, el volumen subterráneo total anual concesionado es de $267,830.75 \text{ m}^3$. En materia de agua superficial se cuentan con 5 concesiones con un volumen de $81,358 \text{ m}^3$, dichas cifras en los volúmenes bajo este uso y la cantidad de población dentro de la microcuenca permitieron establecer una dotación diaria de agua por habitante de 276.90 litros.

Se han destinado 12,531.51 ha para actividades agrícolas, 8,725.93 ha presentan una condición de temporal y 3,805.58 son de riego, la microcuenca cuenta con un total de 152 pozos con 8.24 hm^3 concesionados anualmente, además existen 4

concesiones superficiales por un volumen total anual de 5.85 hm³, dando una lámina de riego de 46.29 cm.

Para las actividades pecuarias se concesionan anualmente 34,295 m³ de agua superficial y 30,838.50 m³ de agua se extraen a través de 49 pozos, la Unión Ganadera reporta 3,795 cabezas, dados los volúmenes de agua concesionados y las cabezas existentes se destinan 48.58 litros diarios. En la microcuenca se cuentan con 2 pozos de usos múltiples con un volumen concesionado de 9,080 m³ anuales.

6.12.8 Disponibilidad de agua superficial.

Se estimó que anualmente se precipitan sobre la microcuenca 176.86 hm³, de los cuales 37.91 hm³ son en la cuenca alta con una precipitación media anual de 700.10 mm y un coeficiente de escurrimiento de 9%. 138.95 hm³ se precipitan sobre la cuenca baja con una precipitación media anual de 581.78 mm, con un CE de 12%. El resumen de los cálculos realizados para el balance hidrológico se presenta en el Cuadro 75.

Cuadro 75. Balance superficial de la microcuenca Tejamen

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Presa de Tejamen	3.75	-	-	0.14	3.61	7.24	-	-	Déficit
Tejamen	17.46	5.97	1.84	1.27	12.06	5.23	6.83	10.44	Equilibrio

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa un déficit en la presa, debido a que la cantidad que almacena anualmente no es capaz de mantener los volúmenes concesionado aguas abajo, mientras que la cuenca aguas abajo de la presa, se encuentra en equilibrio por las aportaciones naturales de la cuenca.

6.12.9 Disponibilidad agua subterránea.

Las condiciones de la microcuenca propician que exista un porcentaje de infiltración en el material no consolidado de 1.06, para el material consolidado se calculó un porcentaje de infiltración de 1.04, la recarga estimada a partir de la

lluvia y estos valores fue de 2.88 hm^3 . El resumen del balance hidrológico subterráneo se presenta en el Cuadro 76.

Cuadro 76. Balance subterráneo microcuenca Tejamén

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Tejamén	1.27	0.61	1.01	0.18	2.88	0.18	12.08	-9.37	419%

Volumen en hm^3 Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

Se observó una presión al acuífero para esta microcuenca de 4 veces la capacidad de recarga.

6.13 Resultados de la microcuenca Tinajuelas.

6.13.1 Ubicación

La microcuenca se ubica al norte de la cuenca (Figura 55), bajo las coordenadas extremas N $2'786,460.25$, S $2'755,432.54$, O $467,170.16$, E $504,036.37$. Su extensión territorial es de 699.80 km^2 , siendo la más grande en el área de estudio.

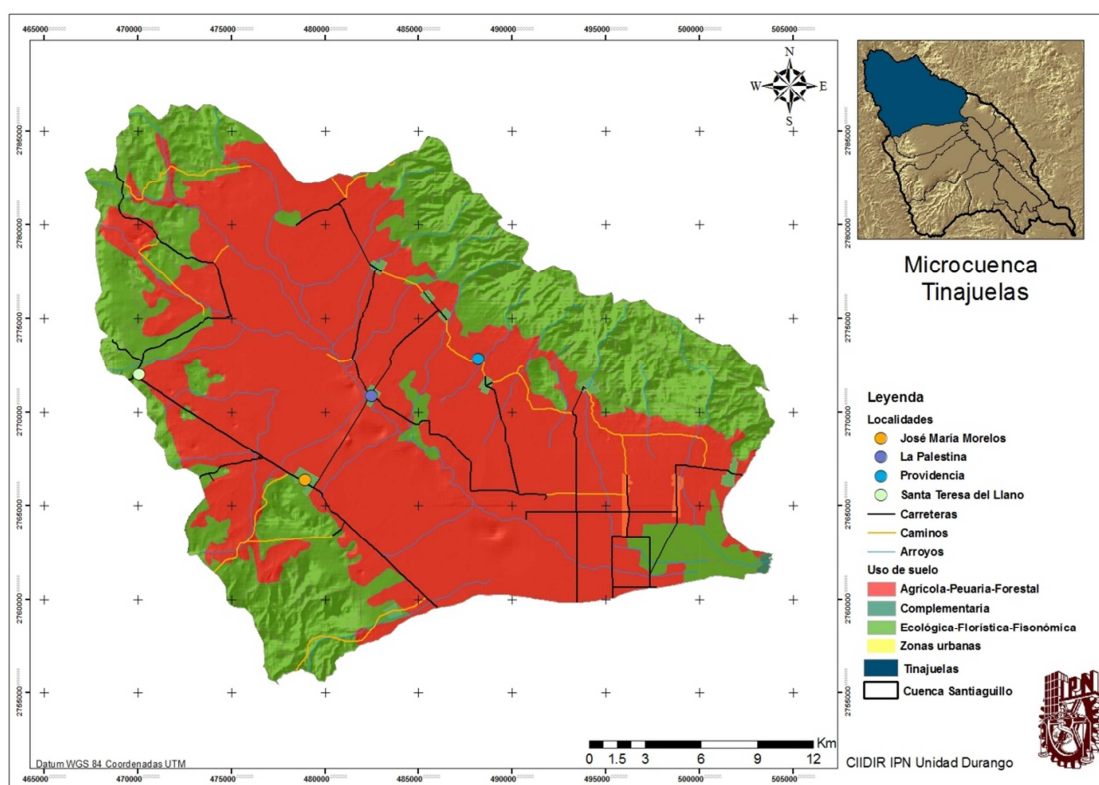


Figura 55. Ubicación de la microcuenca Tinajuelas
Fuente INEGI Elaboración propia

6.13.2 Cobertura del suelo.

Las principales coberturas de la zona son los pastizales y el bosque de encino-pino (Cuadro 77).

Cuadro 77. Cobertura vegetal en la microcuenca Tinajuelas

Cobertura vegetal	Área en km ²	Porcentaje
Pastizal	124.41	18
Bosque de encino-pino	51.52	8
Bosque de pino-encino	29.32	4
Bosque de encino	29.04	4
Bosque de pino	23.79	3
N/A	441.80	63

6.13.3 Características climáticas.

El clima dominante en la microcuenca es semiseco templado, 93% de la zona presenta este clima (Cuadro 78).

Cuadro 78. Tipos de clima de la microcuenca Tinajuelas

Tipo	Área km ²	Porcentaje
Semiseco templado	649.63	93
Semifrío subhúmedo	35.33	5
Templado subhúmedo	14.84	2

6.13.4 Suelos.

Los suelos del tipo regosol dominan en 45% la zona (Cuadro 79) e infiltran el 12% de la lluvia. Los vertisoles que ocupan el 29% infiltran el 4% de la precipitación.

Cuadro 79. Suelos de la microcuenca Tinajuelas

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Vertisol	Fina	202.68	29
Regosol	Gruesa	188.34	27
Regosol	Media	122.68	18
Litosol	Media	107.29	16
Feozem	Fina	45.70	6
Solonchak	Media	18.08	2
Feozem	Media	10.88	2

6.13.5 Litología superficial.

Dadas las condiciones de geología superficial en la zona aluvial es de mayor extensión (Cuadro 80) y presenta un porcentaje de infiltración de 35%.

Cuadro 80. Geología superficial de la microcuenca Tinajuelas

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Aluvial	N/A	380.05	54
Riolita toba-ácido	Ígnea extrusiva	281.51	40
Toba ácida	Ígnea extrusiva	12.82	1.5
Conglomerado	Sedimentaria	10.40	1.5
Andesita	Ígnea extrusiva	10.22	1.5
Basalto	Ígnea extrusiva	2.60	0.5
Toba intermedia	Ígnea extrusiva	1.64	0.5
Lacustre	N/A	0.55	0.5

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.13.6 Demografía y vivienda.

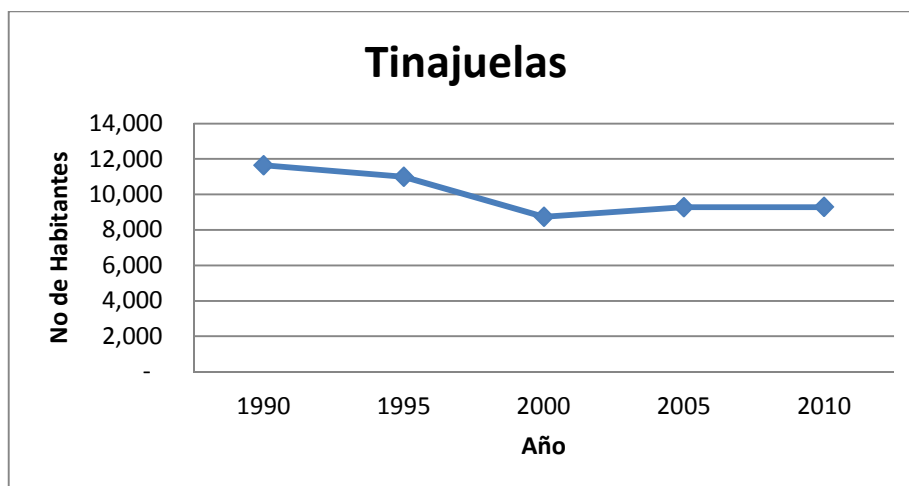
Presenta una población total de 2,294 habitantes con una densidad de 13 hab./km², las localidades que la conforman se presentan en el Cuadro 81. La población ha disminuido de acuerdo a los últimos censos realizados (Figura 56), presenta una tasa de -1% anual.

Cuadro 81. Localidades de la microcuenca Tinajuelas

Nombre	Población	Nombre	Población
Ciénega de Nuestra Señora de Guadalupe	1720	San Julián	71
José María Morelos	1331	San Miguel de los Pinos	67
Miguel Negrete	841	Valle de Flores	64
Lozano Zavala	498	Campo de Verano	50
Buena Unión	406	La Ciénega del Correo	45
Pinos Altos	389	Hogar de Flores	38
Benito Juárez	312	Las Margaritas	36
La Palestina	308	Providencia	35
El Salvador	242	Santa Teresa del Llano	28
Patio de Rosas	202	San Miguel	24
Las Palmas	195	Santa Rita	19
Lugar de Rosas	188	San José de Vargas	18
Nueva Tierra Limpia	184	Guadalupe Guerrero	15
Nuevo Campo Alto	172	El Refugio	12
San Ignacio	170	El Pino	10
Luna González	159	San José de las Flores	8
José Ramón Valdez	153	Los Laureles	6
Nueva York	140	Las Margaritas	6
Bajío Verde	139	La Zeta	6
Campo Alto	100	San Ignacio	6
Patio de Flores	97	Las Cruces	5
Valle de Rosas	95	San Antonio	5
El Encinal	95	El Pino	5
Sitio Alto	89	Huerta San Juan	4

Continuación cuadro 81

Corona del Valle	85	Rancho Balcones	4
Modesto Quezada	82	Rancho los Nogales	3
Nuevo Patio de Flores	78	San Isidro (Los Medrano)	2
Santo Domingo	76	Enrique López	2
Campo Limpio	74	San Antonio	2
Nuevo Lugar de Rosas	72		

**Figura 56.** Tendencia poblacional de la microcuenca Tinajuelas

Existen 2,294 viviendas ocupadas en la zona, de las cuales el 90% cuenta con servicio de agua entubada (Cuadro 82).

Cuadro 82. Condiciones de vivienda de la microcuenca Tinajuelas

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	2294	
Viviendas que cuentan con agua entubada	2066	90
Viviendas que cuentan con drenaje	1896	83
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	2036	89

6.13.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

Las necesidades de agua de la población se cubren a través de 34 pozos bajo uso público urbano o uso doméstico con un volumen anual concesionado de 383,593 m³, además de 25 concesiones superficiales con un volumen total de concesión por 104,941 m³, se estimó una dotación diaria por habitante de 142.82 litros.

Se han destinado 43,634 ha para la agricultura, 36,363 ha son de riego, para sostener la actividad se cuentan con 310 pozos con una extracción de 19.58 hm^3 y una concesión superficial de $18,000 \text{ m}^3$, la lámina de riego calculada es de 59.33 cm.

Las actividades pecuarias se sostienen a través de 193 concesiones subterráneas con un volumen de $150,125 \text{ m}^3$, y 36 concesiones superficiales con un volumen de $65,610 \text{ m}^3$, dotando con 38.94 litros al día a las 15,853 cabezas de ganado de la zona, con base en cifras de la Unión Ganadera. De igual manera se han inducido 5,927.57 ha de pastizal.

Existen 15 pozos de uso múltiple destinando $259,777 \text{ m}^3$ y 2 de uso industrial con $3,582 \text{ m}^3$.

6.13.8 Disponibilidad de agua superficial.

Se calculó un volumen precipitado anual de 358.82 hm^3 , con una precipitación media anual de 512.74 mm, con un coeficiente de escurrimiento de 10%. El Cuadro 83 presenta el balance hidrológico superficial.

Cuadro 83. Balance superficial de la microcuenca Tinajuelas

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Tinajuelas	37.35	0.19	2.83	0.54	39.45	15.33	24.12	24.12	Equilibrio

Volumen en hm^3 Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

La microcuenca se encuentra en equilibrio debido a que aporta la cantidad de agua suficiente para cubrir las concesiones.

6.13.9 Disponibilidad agua subterránea.

Las condiciones naturales de la microcuenca permiten un porcentaje de infiltración en el material consolidado de 1.21%, para el material no consolidado el porcentaje es de 2.81%. El volumen infiltrado a partir de la lluvia es de 7.40 hm^3 . El balance subterráneo se presenta en el Cuadro 84.

Cuadro 84. Balance subterráneo microcuenca Tinajuelas

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Tinajuelas	5.37	1.78	2.04	0.55	9.19	0.55	43.93	-35.30	478%

Volumen en hm^3 Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

De acuerdo a los valores obtenidos, se estimó que el acuífero se sobre explota casi 5 veces la capacidad de recarga.

6.14 Resultados de la microcuenca El Colorado

6.14.1 Ubicación

Se ubica al suroeste de la cuenca bajo las coordenadas UTM WGS84: N 2'747,416.84, S 2'728,026.50, O 503,092.87, E 517,481.33 (Figura 57), cuenta con una extensión territorial de 147.04 km^2 .

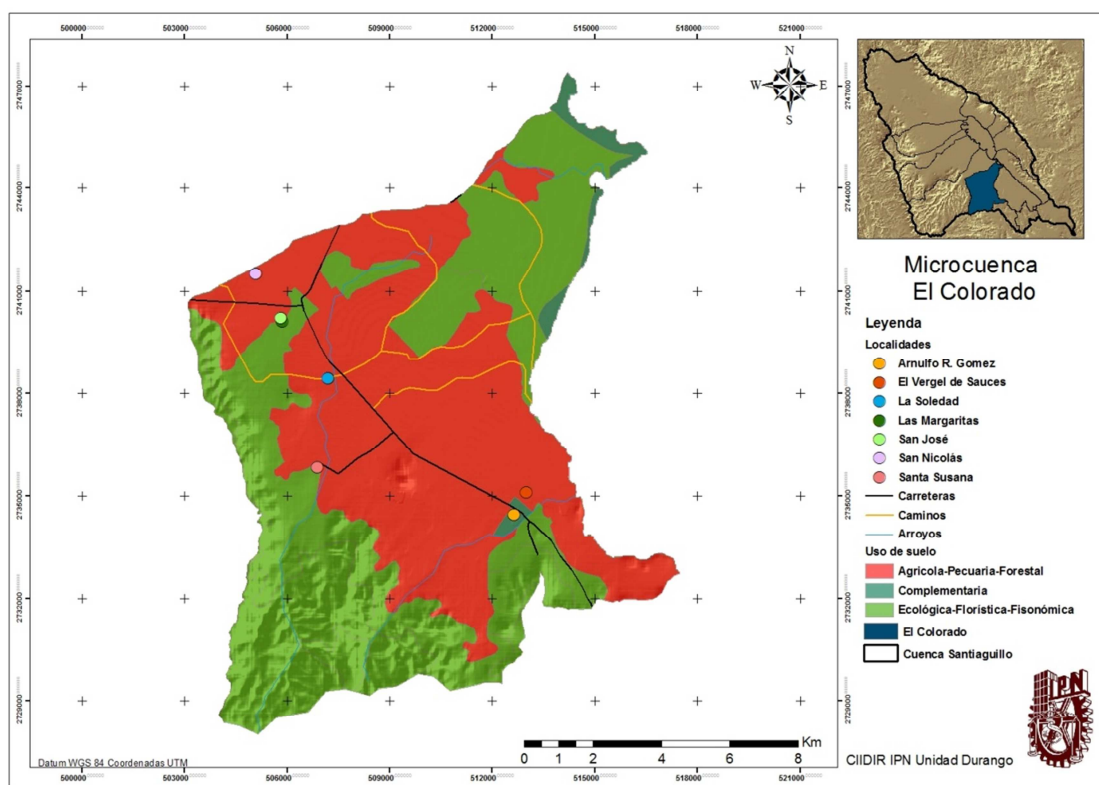


Figura 57. Ubicación de la microcuenca El Colorado

6.14.2 Cobertura del suelo.

La zona presenta tres tipos de cobertura vegetal (Cuadro 85), dominando los pastizales cubriendo el 32% del territorio.

Cuadro 85. Cobertura vegetal microcuenca El Colorado

Tipo	Área en km ²	Porcentaje
Pastizal	46.19	32
Bosque de pino	18.29	12
Matorral crasicuale	3.53	2
Bosque de encino	3.53	2
N/A	75.50	52

6.14.3 Características climáticas.

88.18 km² (60%) del territorio es un clima semiseco templado, con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm. Mientras que 58.86 km² (40%) son de clima tipo templado subhúmedo, su temperatura media anual se encuentra entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800.

6.14.4 Suelos.

Los suelos con mayor extensión son del tipo feozem y litosol (Cuadro 86), este tipo de suelos de acuerdo al manual del IMTA presentan una capacidad de infiltración por lluvia del 12%, uno de los valores más altos de infiltración y en una análisis de la superficie que ocupan se puede decir que la microcuenca presenta una buena infiltración edáfica.

Cuadro 86. Suelos de la microcuenca El Colorado

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Feozem	Media	63.62	41
Litosol	Media	34.86	25
Vertisol	Fina	34.03	24
Planosol	Media	9.03	6
Solonchak	Media	3.09	2
N/A	N/A	2.41	2

6.14.5 Litología superficial.

Dadas las condiciones de geología superficial en la zona (Cuadro 87), las de mayor extensión permiten una infiltración a partir del suelo de 35% en los suelos aluviales y 10% para las tobas.

Cuadro 87. Geología superficial de la microcuenca El Colorado

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Aluvial	N/A	93.43	64
Riolita toba-acida	Ígnea extrusiva	41.17	28
Lacustre	N/A	6.56	4
Toba ácida	Ígnea extrusiva	2.69	1
Basalto	Ígnea extrusiva	0.77	1
N/A	N/A	2.42	2

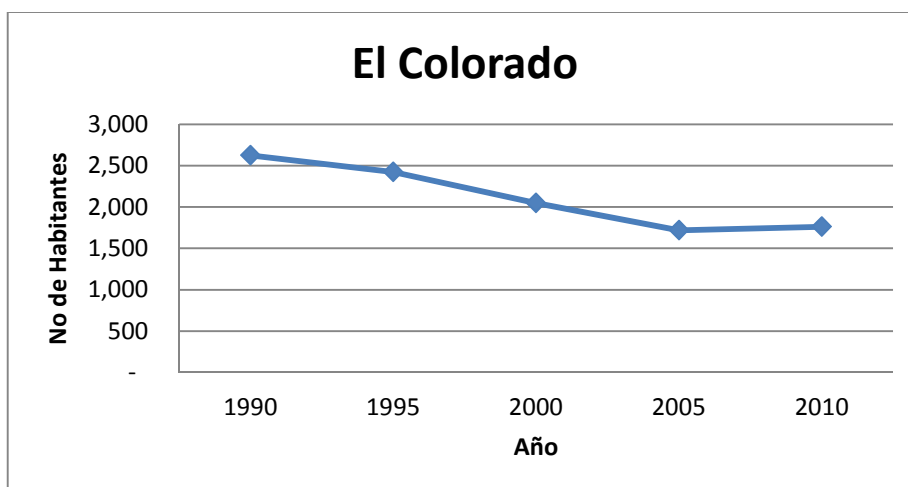
Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.14.6 Demografía y vivienda.

La población total de la zona es de 1,762 habitantes con una densidad de 12 hab./km². Las localidades que la conforman se presentan en el Cuadro 88. La microcuenca presenta una disminución en la población de acuerdo a los censos realizados por el INEGI, la tasa calculada es de -1.64% anual (Figura 58).

Cuadro 88. Localidades de la microcuenca El Colorado

Nombre	Población
La Soledad	932
Arnulfo R. Gómez	768
Santa Susana	21
El Vergel de Sauces	16
Rancho San Agustín	11
Las Margaritas	6
La Abeja	5
Santa Beatriz	2
San Nicolás	1

**Figura 58.** Tendencia poblacional de la microcuenca El Colorado

Existen 454 viviendas ocupadas en la microcuenca de las cuales el 97% de ellas cuenta con servicio de agua entubada (Cuadro 89).

Cuadro 89. Vivienda de la microcuenca El Colorado

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	454	
Viviendas que cuentan con agua entubada	440	97
Viviendas que cuentan con drenaje	408	90
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	406	89

6.14.7 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

La zona provee de agua potable a sus habitantes a través de 14 pozos de uso público urbano con un volumen anual de explotación de 92,621 m³ anuales, dotando a la población diariamente con 143.46 litros.

Se han destinado 7,246 ha para las actividad agrícola, 6,427 ha son de uso temporal y 819 ha se consideran de agricultura de riego, para ésta última se han otorgado 21 pozos con un volumen de 3.28 hm³, con una lámina de riego de 66.62 cm. De igual forma existe una concesión subterránea para diferentes usos de la cual se extraen anualmente 602.25 m³. La actividad pecuaria contempla 5 concesiones superficiales, con un volumen anual de 34,979 m³, cifras de la Unión Ganadera reportan 4,911 cabezas de ganado, dotando diariamente de 20.07 litros de agua.

6.14.8 Disponibilidad de agua superficial.

Se calculó un volumen anual precipitado de 67.92 hm³, con una precipitación media anual de 461.92 mm y un coeficiente de escurrimiento de 9%. El Cuadro 90 presenta el balance hidrológico superficial.

Cuadro 90. Balance superficial de la microcuenca El Colorado

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
El Colorado	6.79	0.03	0.33	0.37	6.71	5.18	1.54	1.54	Déficit

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

La microcuenca presenta un déficit, debido a que no aporta la cantidad suficiente para cubrir las concesiones otorgadas.

6.14.9 Disponibilidad agua subterránea.

Se calculó un porcentaje de infiltración a de 1.68% sobre el material consolidado, sobre el material no consolidado se calculó un porcentaje de 2.85%, a partir de estos valores la volumen de agua infiltrada al acuífero es de 1.64 hm³. El Cuadro 91 presenta el balance subterráneo realizado.

Cuadro 91. Balance subterráneo microcuenca El Colorado

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
El Colorado	1.21	0.21	0.43	0.53	1.85	0.53	5.6	-4.29	303%

Volumen en hm³ Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

De acuerdo a los valores obtenidos se estima que el acuífero se sobre explota tres veces la capacidad de recarga.

6.15 Resultados de la microcuenca Torunos

6.15.1 Ubicación.

Se encuentra al este de la cuenca bajo las coordenadas extremas UTM WGS84 N 2'760,614.57, S 2'740,228.88, O 512621.55, E 528,956.85 (Figura 59), el área que presenta es de 121.10 km².

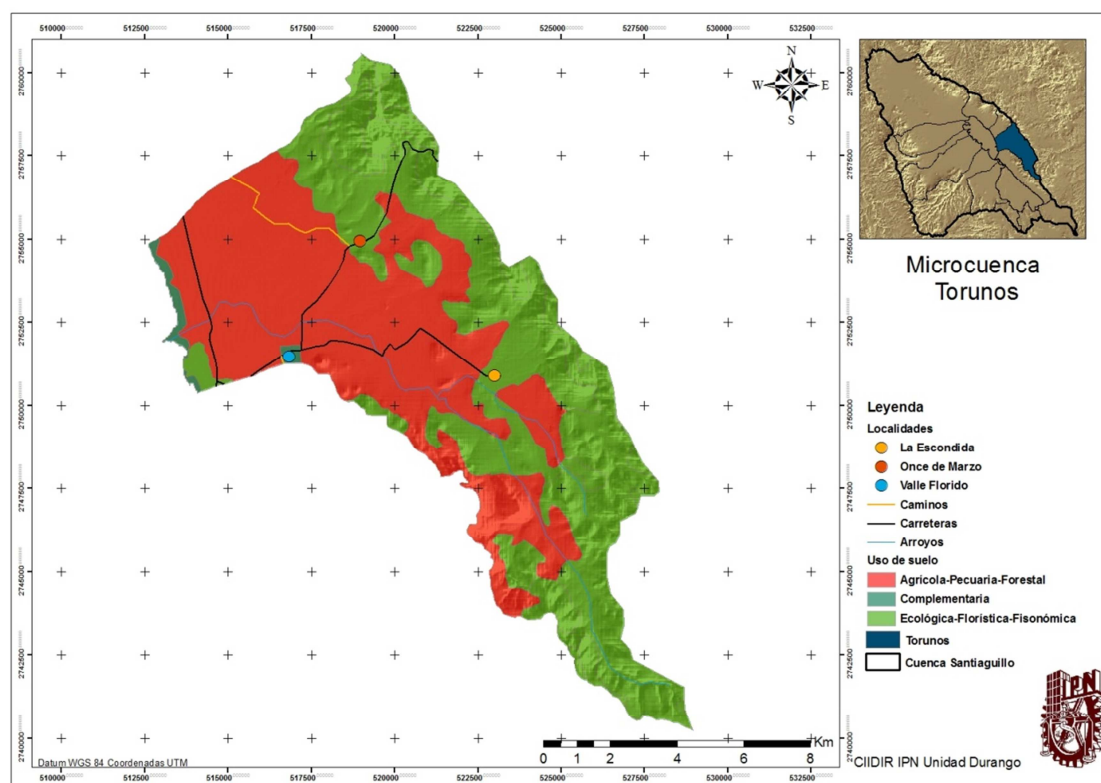


Figura 59. Ubicación de la microcuenca Torunos

Fuente INEGI Elaboración propia

6.15.2 Cobertura del suelo

Presenta una cobertura vegetal dominada por los pastizales (Cuadro 92), se extienden en el 26% del territorio.

Cuadro 92. Cobertura vegetal en la microcuenca Torunos

Cobertura vegetal	Área en km ²	Porcentaje
Pastizal	30.30	26
Bosque de encino	21.18	17
Bosque de encino-piono	6.28	5
Matorral crasicuale	2.59	2
N/A	60.75	50

6.15.3 Características climáticas

Su clima es semiseco templado, con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm (INEGI, 2005).

6.15.4 Suelos.

Los suelos con mayor extensión son del tipo litosol y los feozem (Cuadro 93), de acuerdo al manual del IMTA presentan una infiltración de lluvia del 12%, uno de los valores más altos de y en una análisis de la superficie que ocupan se puede decir que la microcuenca presenta una buena infiltración edáfica.

Cuadro 93. Suelos de la microcuenca Torunos

Tipo	Textura	Área	Porcentaje
Litosol	Media	45.85	38
Feozem	Media	45.02	37
Xerosol	Media	14.43	12
Fluvisol	Gruesa	10.25	9
Vertisol	Fina	4.46	3
Solonchak	Media	1.09	1

6.15.5 Litología superficial.

Dadas las condiciones de geología superficial en la zona las de mayor extensión (Cuadro 94) permiten una infiltración a partir del suelo de 10% para las tobas y 35% en los suelos aluviales.

Cuadro 94. Geología superficial de la microcuenca Torunos

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	64.50	53
Aluvial	N/A	52.39	43
Toba ácida	Ígnea extrusiva	2.85	2.5
Lacustre	N/A	1.09	1
Eólico	N/A	0.26	0.5

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.15.6 Demografía y vivienda.

Cuenta con una población total de 882 habitantes, la densidad estimada para el año 2010 es de 7 hab./km². En los últimos años ha presentado una disminución en la población (Figura 60) con una tasa de -1.69% anual. Las localidades y su población de la microcuenca se presentan en el Cuadro 95, se observó que la zona presenta un total de casas habitadas de 219, de las cuales el 98% cuentan con servicio de agua entubada (

Cuadro 96).

Cuadro 95. Localidades de la microcuenca Torunos

Nombre	Población
La Escondida	499
Once de Marzo	217
Valle Florido	166

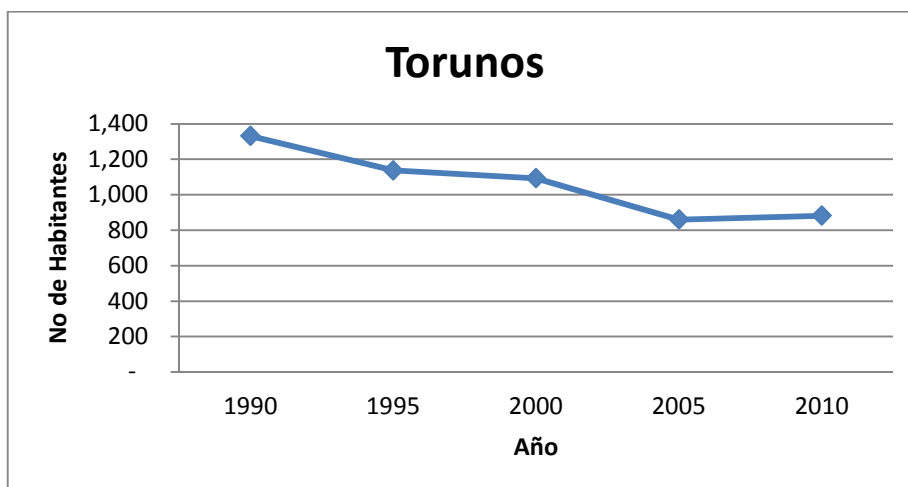


Figura 60. Tendencia poblacional de la microcuenca Torunos

Cuadro 96. Vivienda de la microcuenca Torunos

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	219	
Viviendas que cuentan con agua entubada	215	98
Viviendas que cuentan con drenaje	152	69
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	183	84

6.12.8 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

Las necesidades en materia de agua se cubren a partir de 5 pozos con un volumen anual concesionado de 85,136 m³, con base en esto se estimó que la población cuenta con una dotación diaria de agua de 264.46 litros.

Para actividades agrícolas dentro de la zona se han destinado 5,937 ha para agricultura, de las cuales 5,465 son de uso temporal, mientras que 472 son de riego, existen 18 pozos con un volumen concesionado anual es de 2.69 hm³ de extracción, de agua superficial se cuenta con una concesión por 240,000 m³ anuales, con una lámina de riego de 83.76 cm.

La ganadería se sostiene bajo 2 concesiones subterráneas con un volumen de 3,650 m³, superficialmente se concentran las mayores concesiones, ya que se cuentan con 18 extracciones por un volumen de 47,900 m³, cifras de la Unión Ganadera reportan 2,195 cabezas de ganado en la zona, las cuales reciben una dotación diaria de 87.12 litros de agua.

6.15.7 Disponibilidad de agua superficial.

Se estimó un precipitación anual sobre la microcuenca 56.55 hm³, con una precipitación media anual de 466.99 mm y su coeficiente de escurrimiento es de 9%. El resumen de los cálculos realizados para el balance superficial se presenta en el Cuadro 97.

Cuadro 97. Balance superficial de la microcuenca Torunos

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Torunos	5.15	0.29	0.31	0.07	5.10	2.65	2.45	2.45	Equilibrio

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

Se observó que la microcuenca se encuentra en equilibrio ya que aporta el agua suficiente para satisfacer las concesiones.

6.15.8 Disponibilidad agua subterránea.

Las condiciones naturales de la microcuenca permiten un porcentaje de infiltración a partir de la precipitación de sobre el material no consolidado de 4.03% y para el material no consolidado de 1.24%, con estos valores se calculó

una infiltración a partir de la lluvia de 1.50 hm^3 . El balance subterráneo se presenta en el Cuadro 98.

Cuadro 98. Balance subterráneo microcuenca Torunos

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Torunos	1.09	0.19	0.41	1.36	1.70	1.36	3.82	-3.49	226%

Volumen en hm^3 Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

De acuerdo a los valores obtenidos se estima que el acuífero se sobre explota más de dos veces la capacidad de recarga.

6.16 Resultados de la Microcuenca Viborillas.

6.16.1 Ubicación.

La microcuenca se ubica al sur de la cuenca bajo las coordenadas extremas UTM WGS 84: N 2'733,582.34, S 2'720,885.50, O 527,420.24, E 541,874.19 (Figura 61), cuenta con una extensión territorial de 77.42 km^2 .

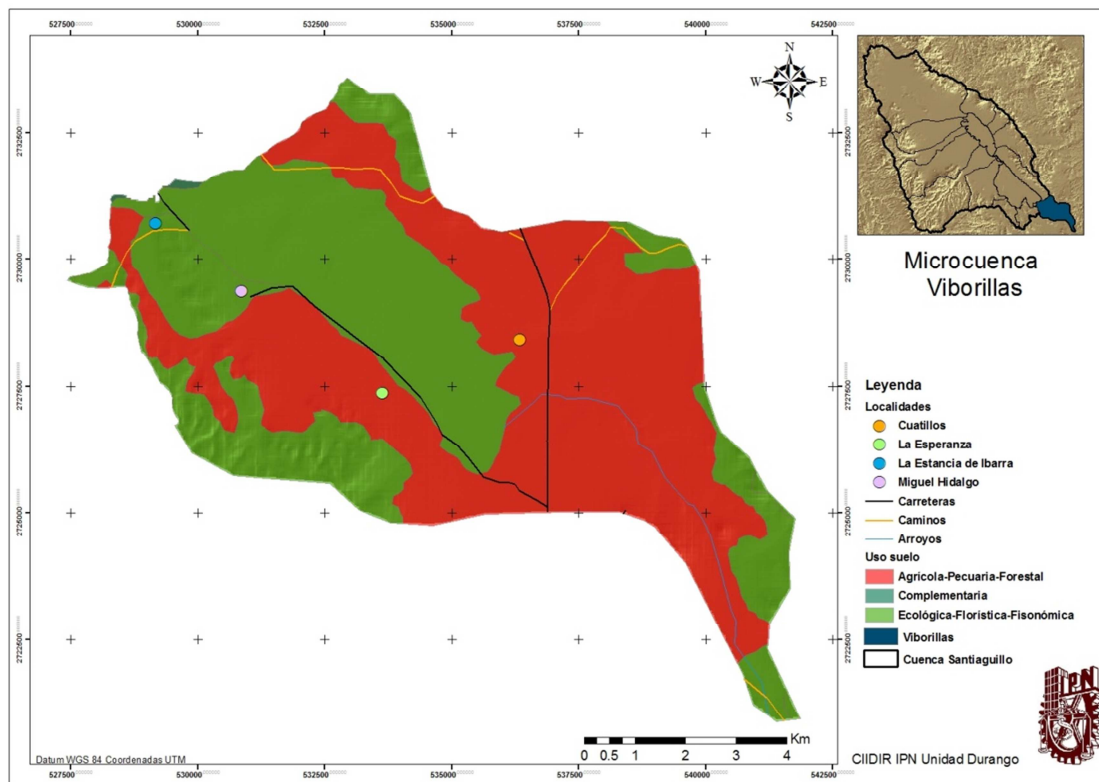


Figura 61. Ubicación de la microcuenca Viborillas
Fuente INEGI Elaboración propia

6.16.2 Cobertura del suelo.

La cobertura vegetal de la zona está dominada por los pastizales con el 33% de la superficie (Cuadro 99).

Cuadro 99. Cobertura vegetal en la microcuenca Viborillas

Tipo	Área km ²	Porcentaje
Pastizal	25.72	33
Matorral	8.68	12
N/A	43.02	55

6.16.3 Características climáticas.

Su clima es semiseco templado, con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5% y un verano cálido. Se presenta una temperatura media anual de 16°C, con un régimen de precipitación media anual de 400 a 500 mm (INEGI, 2005).

6.16.4 Suelos.

La composición edafológica de la microcuenca se encuentra dominada por los suelos del tipo feozem (Cuadro 100), dichos suelos presentan una capacidad de infiltración a partir de la precipitación del 12%, los suelos solonchak únicamente infiltran el 4% de la precipitación de acuerdo al manual del IMTA.

Cuadro 100. Suelos de la microcuenca Viborillas

Tipo	Textura	Área km ²	Porcentaje
Feozem	Media	28.61	37
Solonchak	Fina	18.86	24
Litosol	Media	16.51	21
Vertisol	Fina	13.32	17
N/A	N/A	0.12	1

6.16.5 Litología superficial.

Dadas las condiciones de geología superficial en la zona la riolita-toba ácida es la de mayor extensión (Cuadro 101) permiten una infiltración a partir del suelo de 10% mientras que en los suelos aluviales se presenta un 35% de infiltración.

Cuadro 101. Geología superficial de la microcuenca Viborillas

Tipo	Clase	Área km ²	Porcentaje
Riolita-toba ácida	Ígnea extrusiva	25.53	32
Aluvial	N/A	19.24	25
Eólico	N/A	16.57	21
Lacustre	N/A	15.97	21
Toba ácida	Ígnea extrusiva	0.12	1

Ver anexo 1 para revisar la cartografía elaborada para esta microcuenca.

6.16.6 Demografía y vivienda.

La microcuenca cuenta con una población total de 118 habitantes (Cuadro 102), con una densidad de 1 hab./km², los últimos censos realizados por el INEGI muestran una disminución en la población (Figura 62) con una tasa de -2.98% anual, donde también se desprende la información de las condiciones de vivienda en las comunidades.

Cuadro 102. Localidades de la microcuenca Viborillas

Nombre	Población
Miguel Hidalgo	117
La Tinaja	1

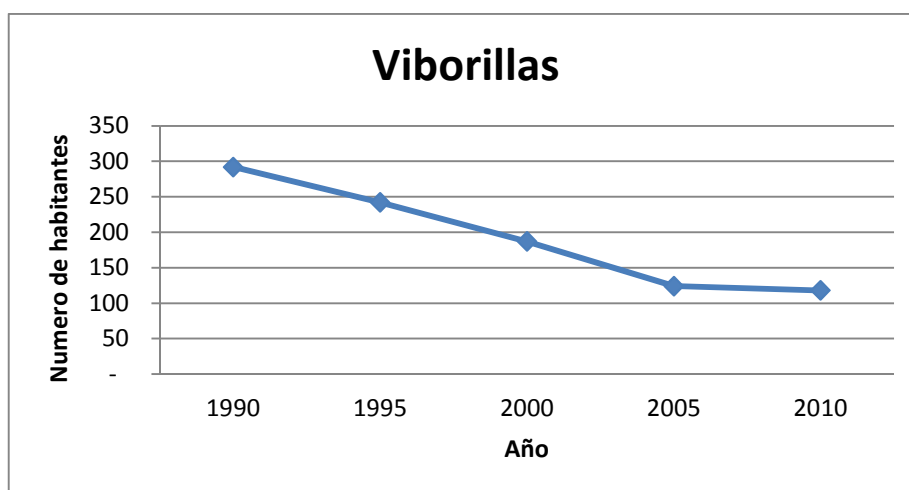


Figura 62. Tendencia poblacional de la microcuenca Viborillas

Existen 31 viviendas habitadas de las cuales el 94% cuenta con servicio de agua entubada (Cuadro 103).

Cuadro 103. Vivienda de la microcuenca Viborillas

Descripción	Número	Porcentaje
Total de viviendas ocupadas	31	
Viviendas que cuentan con agua entubada	29	94
Viviendas que cuentan con drenaje	21	68
Viviendas que cuentan con excusado o sanitario	21	68

6.12.9 Infraestructura hidráulica y usos del agua.

La microcuenca cuenta con 2 concesiones subterráneas para uso público urbano, el volumen de extracción anual de acuerdo al título es de 658 m³, superficialmente cuentan con un volumen de 493 m³, de acuerdo a estos datos y el número de habitantes se estimó que se dota diariamente con 26.72 litros.

La zona contempla 4,290 ha para la agricultura de las cuales 4,344 son de temporal y 46 son destinadas para riego, anualmente se destinan 0.13 hm³ anuales, con una lámina de riego de 28.37 cm.

La actividad pecuaria cuenta con diferentes concesiones subterráneas por un volumen anual de extracción de 9,490 m³ a través de 6 pozos, mientras que superficialmente se presenta un volumen concesionado de 65,517 m³, la Unión Ganadera reporta 744 cabezas de ganado en la zona, resultando una dotación diaria de 276.21 litros por cabeza.

6.16.7 Disponibilidad de agua superficial.

Se calculó una precipitación sobre la microcuenca de 39.73 hm³ anuales, su precipitación media anual es de 513.10 mm y un coeficiente de escurrimiento 12%. El resumen de los cálculos realizados del balance superficial se presenta en el Cuadro 104.

Cuadro 104. Balance superficial de la microcuenca Viborillas

Microcuenca	Cp	Uc	R	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
Viborillas	4.86	0.07	0.05	0.01	4.83	2.73	2.10	2.10	Equilibrio

Volumen en hm³ Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural, Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial, R.- Volumen anual de retornos, Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses, Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo, Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo, D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

Se observa una condición de equilibrio puesto que las concesiones no exceden las aportaciones

6.16.8 Disponibilidad agua subterránea.

Las condiciones naturales permiten con un porcentaje de infiltración de 1.24% sobre el material consolidado, para el material no consolidado el 4.03% de la lluvia se infiltra. Con lo cual se estimó un volumen infiltrado por precipitación de 1.50 hm³. El balance subterráneo realizado se presenta en el Cuadro 105.

Cuadro 105. Balance subterráneo microcuenca Viborillas

Microcuenca	Ip	Ir	Eh	Evt	RMA	DNC	B	Dm	% explotación humana/recarga
Viborillas	0.32	-	0.14	0.83	0.46	0.83	0.16	-0.53	35%

Volumen en hm³ Ip.- Infiltración por lluvia, Ir.-Infiltración por retornos, Eh.-Entrada horizontal, Evt.-Evapotranspiración, RMA.- recarga media anual, DNC.- descarga natural comprometida, B.- Volumen subterráneo concesionado, Dm.- Disponibilidad subterránea

De acuerdo a los valores obtenidos se estima que el acuífero no está recibiendo presión considerable, la recarga al acuífero supera la extracción realizada en la zona.

6.17. Análisis de escenarios

6.17.1. Escenario cero

Surge a partir del balance hidrológico realizado solo con las condiciones naturales de precipitación y escurrimiento sin tomar en cuenta la infraestructura y dando valor cero a los usos humanos, esto permite tener una visión de la condición natural de las microcuencas a fin de ubicar los criterios de análisis. Los resultados obtenidos para este escenario se presentan en el Cuadro 106.

Cuadro 106. Escenario cero

Microcuenca	Volumen Infiltrado hm ³	Porcentaje de extracción hm ³	Volumen subterráneo extraído total hm ³	Volumen escurrido hm ³	Volumen superficial concesionado total hm ³	Lamina de Riego cm	Dotación diaria animal l/d	Dotación diaria humana l/d
Guatimapé	0.41	0%	-	18.66	-	-	-	-
Tejamen	2.28	0%	-	21.21	-	-	-	-
El Gato	1.49	0%	-	14.81	-	-	-	-
Tinajuelas	7.41	0%	-	37.35	-	-	-	-
Las Jarillas	1.08	0%	-	5.03	-	-	-	-
El Trébol	0.65	0%	-	2.01	-	-	-	-
Torunos	1.51	0%	-	5.15	-	-	-	-
EL Candado	0.88	0%	-	13.26	-	-	-	-
Ojo de Lobo	0.44	0%	-	2.68	-	-	-	-
La Tinaja	0.86	0%	-	5.26	-	-	-	-
Los Monos	0.39	0%	-	2.12	-	-	-	-
EL Colorado	1.64	0%	-	6.79	-	-	-	-
Viborillas	0.46	0%	-	4.86	-	-	-	-

Cuadro 107. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario cero

Microcuenca	Disponibilidad natural superficial per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua (Shiklomanov, 2002)	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad para el desarrollo (Shiklomanov, 2002)	Disponibilidad natural subterránea per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua (Shiklomanov, 2002)	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua (Shiklomanov, 2002)
Guatimapé	13,460.85	Alto	7,791.03	Medio	2,116.60	Bajo	1,768.71	Muy Bajo
Tejamen	6,075.61	Medio	4,172.20	Bajo	652.01	Catastróficamente Bajo	601.62	Catastróficamente Bajo
El Gato	1,210.52	Muy Bajo	873.74	Catastróficamente Bajo	121.97	Catastróficamente Bajo	65.67	Catastróficamente Bajo
Tinajuelas	4,021.41	Bajo	2,312.49	Bajo	797.38	Catastróficamente Bajo	737.78	Catastróficamente Bajo
Las Jarillas	3,014.57	Bajo	1,949.25	Muy Bajo	647.09	Catastróficamente Bajo	328.32	Catastróficamente Bajo
El Trébol	5,411.61	Medio	2,974.21	Bajo	1,736.09	Muy Bajo	1,204.08	Muy Bajo
Torunos	5,839.21	Medio	2,756.27	Bajo	1,707.23	Muy Bajo	160.19	Catastróficamente Bajo
El Candado	14,288.59	Alto	11,031.89	Alto	952.73	Catastróficamente Bajo	837.89	Catastróficamente Bajo
Ojo de Lobo	536,810.28	Muy Alto	205,749.29	Muy Alto	87,345.81	Muy Alto	-123,176.01	Catastróficamente Bajo
La Tinaja	6,063.64	Medio	1,169.80	Muy Bajo	992.68	Catastróficamente Bajo	-745.11	Catastróficamente Bajo
Los Monos	41,663.46	Muy Alto	13,562.84	Alto	7,659.71	Medio	-3,163.80	Catastróficamente Bajo
El Colorado	3,852.35	Bajo	704.43	Catastróficamente Bajo	929.50	Catastróficamente Bajo	627.87	Catastróficamente Bajo
Viborillas	41,149.90	Muy Alto	17,949.19	Alto	3,932.24	Bajo	-3,096.35	Catastróficamente Bajo

6.17.2. Escenario ideal

Parte del balance hidrológico integral donde se busca la reducción de los usos hasta lograr el equilibrio entre la producción y el uso del agua. Este escenario permite visualizar las condiciones que llevarían a la sustentabilidad para hacer la evaluación de su viabilidad, en el cual las extracciones son iguales a las infiltraciones de la cuenca (Cuadro 108).

Cuadro 108. Escenario ideal

Microcuenca	Volumen Infiltrado hm^3	Porcentaje de extracción hm^3	Volumen subterráneo extraído total hm^3	Volumen escurrido hm^3	Volumen superficial concesionado total hm^3	Lamina de Riego cm	Dotación diaria animal l/d	Dotación diaria humana l/d
Guatimapé	0.41	30%	0.76	18.66	0.79	13.03	3.67	77.14
Tejamen	2.28	30%	3.62	21.21	5.97	24.65	31.90	127.76
El Gato	1.49	30%	3.90	14.81	0.05	13.94	42.70	57.56
Tinajuelas	7.41	30%	13.10	37.35	0.19	17.82	19.62	64.51
Las Jarillas	1.08	30%	1.40	5.03	0.81	61.85	101.30	32.01
El Trébol	0.65	30%	0.47	2.01	0.05	-	227.67	177.10
Torunos	1.51	30%	1.15	5.15	0.29	28.68	67.99	79.34
EL Candado	0.88	30%	1.26	13.26	4.76	24.17	19.54	104.36
Ojo de Lobo	0.44	30%	0.00	2.68	0.00	-	40.31	1,380.82
La Tinaja	0.86	30%	0.66	5.26	0.17	26.24	34.90	62.52
Los Monos	0.39	30%	0.01	2.12	-	-	-	-
EL Colorado	1.64	30%	1.67	6.79	0.03	19.99	19.68	43.04
Viborillas	0.46	30%	0.14	4.86	0.07	28.37	276.21	26.72

Cuadro 109. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario ideal

Microcuenca	Disponibilidad natural superficial per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad para el desarrollo	Disponibilidad natural subterránea per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua
Guatimapé	13,460.85	Alto	7,317.48	Medio	2,155.41	Bajo	1,258.67	Muy Bajo
Tejamen	6,075.61	Medio	2,784.56	Bajo	714.58	Catastróficamente Bajo	- 374.00	Catastróficamente Bajo
El Gato	1,210.52	Muy Bajo	889.04	Catastróficamente Bajo	130.67	Catastróficamente Bajo	- 251.82	Catastróficamente Bajo
Tinajuelas	4,021.41	Bajo	2,392.80	Bajo	855.02	Catastróficamente Bajo	- 623.66	Catastróficamente Bajo
Las Jarillas	3,014.57	Bajo	1,601.20	Muy Bajo	690.88	Catastróficamente Bajo	- 467.32	Catastróficamente Bajo
El Trébol	5,411.61	Medio	2,961.17	Bajo	1,754.41	Muy Bajo	- 54.18	Catastróficamente Bajo
Torunos	5,839.21	Medio	2,577.78	Bajo	1,772.92	Muy Bajo	- 1,074.69	Catastróficamente Bajo
El Candado	14,288.59	Alto	6,624.99	Medio	1,032.63	Muy Bajo	- 461.69	Catastróficamente Bajo
Ojo de Lobo	536,810.28	Muy Alto	205,340.18	Muy Alto	87,345.81	Muy Alto	- 123,362.21	Catastróficamente Bajo
La Tinaja	6,063.64	Medio	1,037.73	Muy Bajo	1,012.03	Muy Bajo	- 1,489.16	Catastróficamente Bajo
Los Monos	41,663.46	Muy Alto	13,587.91	Alto	7,676.18	Medio	- 3,382.63	Catastróficamente Bajo
El Colorado	3,852.35	Bajo	750.34	Catastróficamente Bajo	965.05	Catastróficamente Bajo	- 290.26	Catastróficamente Bajo
Viborillas	41,149.90	Muy Alto	17,802.71	Alto	3,932.24	Bajo	- 4,464.37	Catastróficamente Bajo

6.17.3. Escenario status quo

El escenario estatus quo (Cuadro 110), surge del balance hidrológico integral de las condiciones actuales de la cuenca mediante el análisis de los usos del recurso agua que reporta la Comisión Nacional del Agua en el Registro Público de Derechos de Agua al 2012

Cuadro 110. Escenario estatus quo

Microcuenca	Volumen Infiltrado hm ³	Porcentaje de extracción hm ³	Volumen subterráneo extraído total hm ³	Volumen escurrido hm ³	Volumen superficial concesionado total hm ³	Lamina de Riego cm	Dotación diaria animal l/d	Dotación diaria humana l/d
Guatimapé	0.41	100%	2.54	18.66	0.79	27.60	9.16	234.65
Tejamen	2.28	100%	12.07	21.21	5.97	46.29	48.58	276.90
El Gato	1.49	100%	13.00	14.81	0.05	46.05	142.34	191.72
Tinajuelas	7.41	100%	43.66	37.35	0.19	59.33	38.94	142.82
Las Jarillas	1.08	100%	4.67	5.03	0.81	155.26	123.83	106.71
El Trébol	0.65	100%	1.58	2.01	0.05	-	227.67	432.27
Torunos	1.51	100%	3.82	5.15	0.29	83.76	87.12	264.46
EL Candado	0.88	100%	4.22	13.26	4.76	35.96	65.14	115.54
Ojo de Lobo	0.44	100%	0.00	2.68	0.00	-	40.31	1,380.82
La Tinaja	0.86	100%	2.21	5.26	0.17	75.78	56.29	208.41
Los Monos	0.39	100%	0.01	2.12	-	-	-	-
EL Colorado	1.64	100%	5.55	6.79	0.03	66.62	20.07	143.46
Viborillas	0.46	100%	0.14	4.86	0.07	28.37	276.21	26.72

La cuenca presenta actualmente un aprovechamiento de agua subterránea del 318% en comparación con el volumen anual infiltrado al acuífero, las microcuencas que actualmente cuentan con una mayor presión al acuífero son: Tejamen (419%), El Gato (721%), Tinajuelas (478%), Las Jarillas (356%), el Candado (412%) y el Colorado (303%).

Cuadro 111. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario status quo

Microcuenca	Disponibilidad natural superficial per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad para el desarrollo	Disponibilidad natural subterránea per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua
Guatimapé	13,460.85	Alto	7,428.39	Medio	2,237.48	Bajo	60.08	Catastróficamente Bajo
Tejamen	6,075.61	Medio	2,990.30	Bajo	826.17	Catastróficamente Bajo	- 2,684.85	Catastróficamente Bajo
El Gato	1,210.52	Muy Bajo	932.75	Catastróficamente Bajo	150.89	Catastróficamente Bajo	- 992.72	Catastróficamente Bajo
Tinajuelas	4,021.41	Bajo	2,597.11	Bajo	989.47	Catastróficamente Bajo	- 3,800.38	Catastróficamente Bajo
Las Jarillas	3,014.57	Bajo	1,748.41	Muy Bajo	785.17	Catastróficamente Bajo	- 2,331.70	Catastróficamente Bajo
El Trébol	5,411.61	Medio	3,021.53	Bajo	1,797.15	Muy Bajo	- 2,990.13	Catastróficamente Bajo
Torunos	5,839.21	Medio	2,776.44	Bajo	1,922.16	Muy Bajo	- 3,960.13	Catastróficamente Bajo
El Candado	14,288.59	Alto	6,778.18	Medio	1,115.25	Muy Bajo	- 3,597.86	Catastróficamente Bajo
Ojo de Lobo	536,810.28	Muy Alto	205,340.18	Muy Alto	87,345.81	Muy Alto	-123,362.21	Catastróficamente Bajo
La Tinaja	6,063.64	Medio	1,105.08	Muy Bajo	1,054.22	Muy Bajo	- 3,228.21	Catastróficamente Bajo
Los Monos	41,663.46	Muy Alto	13,587.91	Alto	7,676.18	Medio	- 3,382.63	Catastróficamente Bajo
El Colorado	3,852.35	Bajo	871.35	Catastróficamente Bajo	1,048.01	Muy Bajo	- 2,432.57	Catastróficamente Bajo
Viborillas	41,149.90	Muy Alto	17,802.71	Alto	3,932.24	Bajo	- 4,464.37	Catastróficamente Bajo

Ver anexo 2

6.17.4. Escenario bajo

Los resultados del escenario bajo se presentan en el Cuadro 112, bajo esquemas de regulación normativa de la extracción de agua subterránea, para el uso agrícola principalmente, de baja y media tecnificación en los sistemas de riego. Proponiendo una reducción orden del 20% de las perdidas y dispendios en estas actividades, en particular las relacionadas con la extracción subterránea.

Cuadro 112. Escenario bajo

Microcuenca	Volumen Infiltrado hm ³	Porcentaje de extracción hm ³	Volumen subterráneo extraído total hm ³	Volumen escurrido hm ³	Volumen superficial concesionado total hm ³	Lamina de Riego cm	Dotación diaria animal l/d	Dotación diaria humana l/d
Guatimapé	0.41	80%	2.03	18.66	0.79	23.43	7.59	189.64
Tejamen	2.28	80%	9.66	21.21	5.97	40.11	43.81	234.29
El Gato	1.49	80%	10.40	14.81	0.05	36.88	113.87	153.39
Tinajuelas	7.41	80%	34.93	37.35	0.19	47.47	33.42	120.44
Las Jarillas	1.08	80%	3.74	5.03	0.81	128.57	117.40	85.37
El Trébol	0.65	80%	1.27	2.01	0.05	-	227.67	359.36
Torunos	1.51	80%	3.06	5.15	0.29	68.02	81.66	211.56
EL Candado	0.88	80%	3.37	13.26	4.76	32.59	52.11	112.35
Ojo de Lobo	0.44	80%	0.00	2.68	0.00	-	40.31	1,380.82
La Tinaja	0.86	80%	1.77	5.26	0.17	61.62	50.18	166.73
Los Monos	0.39	80%	0.01	2.12	-	-	-	-
EL Colorado	1.64	80%	4.44	6.79	0.03	53.30	19.96	114.76
Viborillas	0.46	80%	0.14	4.86	0.07	28.37	276.21	26.72

La respuesta de la cuenca en este escenario es una explotación del acuífero en 258% en comparación con la capacidad de recarga, donde se produce el mayor impacto es en las microcuencas: Tejamen (349%), El Gato (699%), Tinajuelas (398%), Las

Jarillas (295%), el Candado (337%) y el Colorado (248%), donde se observa una disminución considerable en la explotación del acuífero.

Tabla 113. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario bajo

Microcuenca	Disponibilidad natural superficial per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad para el desarrollo	Disponibilidad natural subterránea per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua
Guatimapé	13,460.85	Alto	7,396.70	Medio	2,214.03	Bajo	402.54	Catastróficamente Bajo
Tejamen	6,075.61	Medio	2,931.51	Bajo	794.29	Catastróficamente Bajo	- 2,024.61	Catastróficamente Bajo
El Gato	1,210.52	Muy Bajo	920.26	Catastróficamente Bajo	145.11	Catastróficamente Bajo	- 781.03	Catastróficamente Bajo
Tinajuelas	4,021.41	Bajo	2,538.73	Bajo	951.06	Catastróficamente Bajo	- 2,892.74	Catastróficamente Bajo
Las Jarillas	3,014.57	Bajo	1,706.35	Muy Bajo	758.23	Catastróficamente Bajo	- 1,799.02	Catastróficamente Bajo
El Trébol	5,411.61	Medio	3,004.28	Bajo	1,784.94	Muy Bajo	- 2,151.29	Catastróficamente Bajo
Torunos	5,839.21	Medio	2,719.68	Bajo	1,879.52	Muy Bajo	- 3,135.72	Catastróficamente Bajo
El Candado	14,288.59	Alto	6,734.41	Medio	1,091.64	Muy Bajo	- 2,701.81	Catastróficamente Bajo
Ojo de Lobo	536,810.28	Muy Alto	205,340.18	Muy Alto	87,345.81	Muy Alto	- 123,362.21	Catastróficamente Bajo
La Tinaja	6,063.64	Medio	1,085.84	Muy Bajo	1,042.16	Muy Bajo	- 2,731.34	Catastróficamente Bajo
Los Monos	41,663.46	Muy Alto	13,587.91	Alto	7,676.18	Medio	- 3,382.63	Catastróficamente Bajo
El Colorado	3,852.35	Bajo	836.78	Catastróficamente Bajo	1,024.31	Muy Bajo	- 1,820.48	Catastróficamente Bajo
Viborillas	41,149.90	Muy Alto	17,802.71	Alto	3,932.24	Bajo	- 4,464.37	Catastróficamente Bajo

6.17.5. Escenario medio

Se realizó bajo un 65% de extracción del volumen anual concesionado actual. Los resultados se presentan en el Cuadro 114

Cuadro 114. Escenario medio

Microcuenca	Volumen Infiltrado hm ³	Porcentaje de extracción hm ³	Volumen subterráneo extraído total hm ³	Volumen escurrido hm ³	Volumen superficial concesionado total hm ³	Lamina de Riego cm	Dotación diaria animal l/d	Dotación diaria humana l/d
Guatimapé	0.41	65%	1.65	18.66	0.79	20.31	6.42	155.89
Tejamen	2.28	65%	7.84	21.21	5.97	35.47	40.24	202.33
El Gato	1.49	65%	8.45	14.81	0.05	30.00	92.52	124.64
Tinajuelas	7.41	65%	28.38	37.35	0.19	38.57	29.28	103.66
Las Jarillas	1.08	65%	3.04	5.03	0.81	108.56	112.57	69.36
El Trébol	0.65	65%	1.03	2.01	0.05	-	227.67	304.68
Torunos	1.51	65%	2.49	5.15	0.29	56.22	77.55	171.90
EL Candado	0.88	65%	2.74	13.26	4.76	30.07	42.34	109.95
Ojo de Lobo	0.44	65%	0.00	2.68	0.00	-	40.31	1,380.82
La Tinaja	0.86	65%	1.44	5.26	0.17	51.01	45.59	135.47
Los Monos	0.39	65%	0.01	2.12	-	-	-	-
EL Colorado	1.64	65%	3.61	6.79	0.03	43.31	19.88	93.25
Viborillas	0.46	65%	0.14	4.86	0.07	28.37	276.21	26.72

La respuesta de la cuenca en materia de agua subterránea es de una explotación de 210% de la capacidad de recarga del acuífero, bajo este criterio se produce una explotación por microcuenca de la siguiente manera: Tejamen presenta un explotación subterránea del 292%, El Gato muestra una extracción de 502%, Tinajuelas explota en 333%, Las Jarillas presenta una concesión subterránea de 246%, El Candado explota el 278% y para el Colorado 205%, en relación a la capacidad de recarga del acuífero.

Tabla 115. Indicadores de disponibilidad en respuesta al escenario medio

Microcuenca	Disponibilidad natural superficial per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad para el desarrollo	Disponibilidad natural subterránea per cápita m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua	Disponibilidad para el desarrollo m ³	Nivel de disponibilidad per cápita natural de agua
Guatimapé	13,460.85	Alto	7,372.93	Medio	2,196.45	Bajo	659.38	Catastróficamente Bajo
Tejamen	6,075.61	Medio	2,887.43	Bajo	770.38	Catastróficamente Bajo	- 1,529.43	Catastróficamente Bajo
El Gato	1,210.52	Muy Bajo	910.89	Catastróficamente Bajo	140.78	Catastróficamente Bajo	- 622.27	Catastróficamente Bajo
Tinajuelas	4,021.41	Bajo	2,494.95	Bajo	922.25	Catastróficamente Bajo	- 2,212.02	Catastróficamente Bajo
Las Jarillas	3,014.57	Bajo	1,674.81	Muy Bajo	738.02	Catastróficamente Bajo	- 1,399.51	Catastróficamente Bajo
El Trébol	5,411.61	Medio	2,991.35	Bajo	1,775.78	Muy Bajo	-1,522.15	Catastróficamente Bajo
Torunos	5,839.21	Medio	2,677.11	Bajo	1,847.54	Muy Bajo	- 2,517.41	Catastróficamente Bajo
El Candado	14,288.59	Alto	6,701.58	Medio	1,073.94	Muy Bajo	- 2,029.77	Catastróficamente Bajo
Ojo de Lobo	536,810.28	Muy Alto	205,340.18	Muy Alto	87,345.81	Muy Alto	-123,362.21	Catastróficamente Bajo
La Tinaja	6,063.64	Medio	1,071.41	Muy Bajo	1,033.12	Muy Bajo	- 2,358.68	Catastróficamente Bajo
Los Monos	41,663.46	Muy Alto	13,587.91	Alto	7,676.18	Medio	- 3,382.63	Catastróficamente Bajo
El Colorado	3,852.35	Bajo	810.84	Catastróficamente Bajo	1,006.53	Muy Bajo	- 1,361.41	Catastróficamente Bajo
Viborillas	41,149.90	Muy Alto	17,802.71	Alto	3,932.24	Bajo	- 4,464.37	Catastróficamente Bajo

De acuerdo a los indicadores obtenidos bajo el escenario cero (Cuadro 107), se observa que la condición natural de algunas microcuencas son capaces de aportar volúmenes per cápita de agua superficial que de acuerdo a Shiklomanov (2002) se clasifican con una disponibilidad natural alta y media, sin embargo las mismas condiciones naturales del ciclo hidrológico y la cantidad de habitantes que hay dentro de ella reducen su capacidad de aprovechamiento, pasando a una clasificación de la disponibilidad para el desarrollo de alta a media y de media a baja. Microcuencas como El Colorado y El Gato se clasifican como una disponibilidad para el desarrollo catastróficamente baja, por la cantidad de habitantes que existe dentro de ellas.

Las clasificaciones en materia de agua subterránea, salvo las microcuenca Guatimapé y Viborillas, presentan una condición de disponibilidad para el desarrollo catastróficamente baja, provocado por la cantidad de habitantes dentro de ellas en relación a su capacidad de infiltración.

Bajo el escenario ideal, el acuífero es capaz de aportar agua de acuerdo a su capacidad de infiltración, sin comprometer la cantidad de agua en un futuro, sin embargo para alcanzar la sustentabilidad se observa que esto se vería comprometido, ya que las repercusiones al igualar las extracciones con la infiltración implica una tecnificación en el riego de la zonas agrícolas, conllevando una fuerte inversión económica.

La respuesta de los indicadores bajo el escenario status quo muestran que la condición de algunas microcuencas son capaces de aportar volúmenes per cápita de agua superficial que de acuerdo a Shiklomanov (2002) con nivel de disponibilidad alto y media, sin embargo los volúmenes superficiales concesionados y la cantidad de habitantes en las microcuencas reducen la posibilidad de hacer uso del recurso agua para actividades económicas futuras.

Las clasificaciones en materia de agua subterránea, salvo las microcuenca Guatimapé y Viborillas, presentan una condición de disponibilidad para el desarrollo de catastróficamente baja, provocado por la cantidad de habitantes dentro de ellas en relación a su capacidad de infiltración.

De acuerdo a lo observado en el análisis de escenarios status quo, bajo y medio, muestran una condición del acuífero que refleja una presión al acuífero que excede las aportaciones naturales, dicho esto, no es pertinente realizar más concesiones bajo los usos agrícola, pecuario o industrial.

La Figura 63 muestra el impacto de las propuestas de la presente investigación donde se observa que el escenario viable permite reducir la presión al acuífero pasando de 318% de extracción a 258% si se adopta la tecnificación del riego y buenas prácticas, reduciendo en 20% la extracción actual.

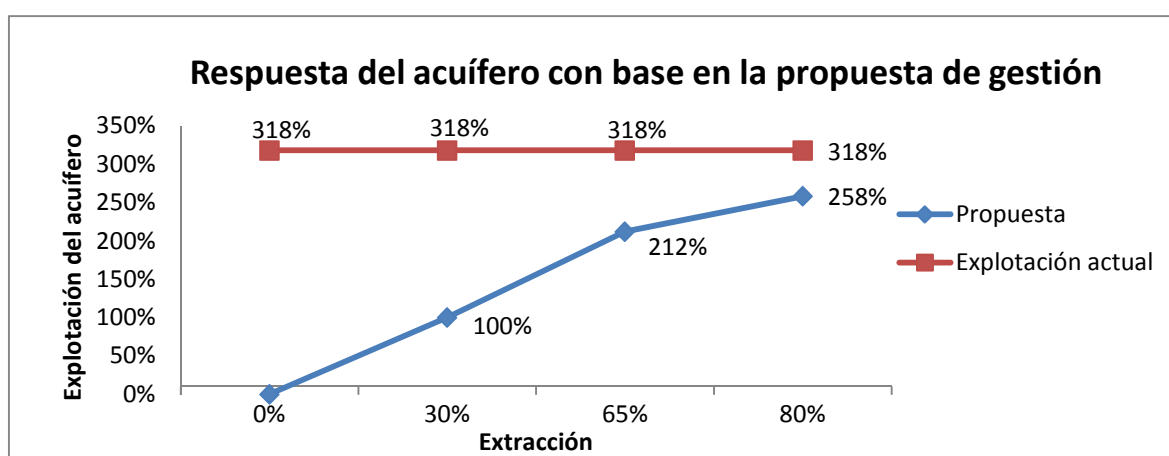


Figura 63. Propuesta de gestión y respuesta del acuífero

VI. Discusión

El análisis de los escenarios permitió conocer la demanda de política pública que existe en la cuenca (Cuadro 116), donde se observó la problemática siguiente:

- a) Sobreexplotación del acuífero, con niveles de explotación del orden de 237% hasta 721% de la capacidad de recarga en algunas microcuencas. Lo anterior ha propiciado una baja o nula disponibilidad de agua subterránea para el desarrollo.
- b) Existe una condición de una lámina alta de riego en la microcuenca Las Jarillas con un valor de 155.26 cm, lo cual manifiesta que las prácticas agrícolas son poco eficientes. Provocando así una baja o nula disponibilidad de agua superficial para el desarrollo.
- c) La dotación diaria para uso público urbano, a pesar de que la explotación subterránea del recurso agua bajo éste título, no impacta directamente en las condiciones de baja disponibilidad, puede en algunos casos encubrir, además de pérdidas y dispendios en la red, también el uso para las actividades pecuarias y riego de áreas agrícolas.
- d) Alta dotación bajo el título pecuario, agrega complejidad a la problemática de eficiencia en los usos, puesto que pareciera que el ganado se mantiene en algunas microcuencas con las concesiones subterráneas, sin embargo más de la mitad de éste pastorea libremente

Demanda de política pública

Cuadro 116. Problematicación por microcuenca

Microcuenca	Sobre explotación acuífero	Baja o nula disponibilidad de agua subterránea para el desarrollo	Baja o nula disponibilidad de agua superficial para el desarrollo	Laminas altas de riego con agua superficial y subterránea	Alta dotación para uso público urbano	Alta dotación para uso pecuario
Guatimapé		X			X	
Tejamen	X	X	X		X	
El Gato	X	X	X			X
Tinajuelas	X	X	X			
Las Jarillas	X	X	X	X		X
El Trébol	X	X	X		X	X
Torunos	X	X	X		X	
El Candado	X	X			X	
Ojo de Lobo		X			X	
Tinaja	X	X	X			
Los Monos		X				
El Colorado	X	X	X			
Viborillas		X				X

Condición Administrativa.

La zona de estudio presenta actualmente una condición de libre alumbramiento, dicha condición y la reducida medición en los volúmenes extraídos del acuífero facilitan una sobre explotación del agua subterránea al carecer de una regulación por parte del organismo encargado.

Para el uso agrícola se observaron áreas de oportunidad para la gestión del recurso, puesto que se estimaron láminas de riego altas, tal es el caso para la microcuenca Las Jarillas donde se calculó una lámina de 155 cm, dado que los principales cultivos en la zona son maíz y frijol, la Comisión Nacional Del Agua (2014) reporta un promedio de lámina neta de 69 y 33 cm respectivamente.

Dentro del uso pecuario las zonas en donde se presentaron los mayores volúmenes extraídos para satisfacer la demanda animal son: las Jarillas (123.83 l/d), El Gato (142 l/d), El Trébol (227 l/d) y Viborillas (276 l/d), de acuerdo al censo obtenido en la Unión Ganadera se observa que existen dotaciones que exceden por 50 litros de agua al día hasta 200 litros, mientras que Duarte (2014) presenta un consumo promedio para una vaca es de 70 litros al día en temporada de verano es suficiente.

En el uso público urbano y con base en los indicadores de dotación diaria por habitante, se observa que las microcuencas en las cuales se presenta una alta dotación son: Guatimapé, Tejamen, el Trébol, Torunos y Ojo de Lobo que superan lo recomendado por la Organización Mundial De La Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, de acuerdo a estas organizaciones 100 litros de agua por persona son suficientes para satisfacer las necesidades de higiene, así como de preparación de alimentos y consumo personal (Castells, 2012), Lugo (2006) citado por Rivera (2008) presenta la calificación en cuanto a la dotación diaria por habitante (Cuadro 117).

Cuadro 117. Clasificación en el consumo de agua por habitante

Concepto	Litros por habitante por día
Consumo mínimo	Menor de 49
Consumo bajo	50-99
Consumo medio o adecuado	100-199
Consumo alto	200-399
Consumo excesivo	Más de 400

Los litros dotados diariamente por microcuenca son: Guatimapé 234, Tejamen 276, El Trébol 423, Torunos 264, El Candado 1,462 y Ojo de Lobo 1,380.

Estrategias.

- Reducción sobreexplotación del acuífero.
 - o Promover la tecnificación del riego en las microcuencas que ejercen mayor presión al acuífero como: El Gato, Tinajuelas, Las Jarillas, El Candado y El Colorado, cuya explotación está por encima del 300%.
 - Elaborar convenios con dependencias e instituciones financieras para obtener subsidios que permitan tecnificar las áreas agrícolas en donde la explotación del acuífero es mayor. Se sugiere comenzar por las microcuencas El Gato y Tinajuelas, seguido de Las Jarillas, El Candado y El Colorado.
 - Establecer una comisión de seguimiento y evaluación del programa, la cual estaría encargada de llevar a cabo los registros en materia de producción, consumo y disminución de las extracciones subterráneas.
 - Instalación de parcelas demostrativas de los principales cultivos de la zona y que reflejen el beneficio del riego tecnificado en combinación con el cambio de prácticas agrícolas.
- Mejorar la planificación de los riegos.
 - o Utilizar métodos de conservación de humedad y suelo tales como Key line que consiste en la captura, distribución y almacenamiento de agua.
 - o Registro sistematizado de volúmenes en los aprovechamientos superficiales para las microcuencas Tejamen, Dr. Castillo del Valle y El Candado, debido a que cuentan con las obras hidráulicas más grandes dentro de la zona.

- o Instalación de macro medidores en los aprovechamientos subterráneos comenzando por las microcuencas: El Gato, Tinajuelas, Las Jarillas, El Candado y El Colorado, puesto que las explotaciones subterráneas más fuertes se realizan en estas zonas.
- o Impartir cursos de capacitación, gestionados por el comité de cuenca de la Laguna de Santiaguillo, en temas tales como: las necesidades hídricas de los cultivos, comenzando por las microcuencas El Gato, Tinajuelas, Las Jarillas, El Candado y El Colorado, debido al grado de sobreexplotación que presentan, y replicarlo a las demás microcuencas.
- o Optimización del uso de agua mediante el monitoreo de humedad del suelo con el uso de tensiómetros o equipos afines, tecnificación del riego, sustituir la práctica del riego por inundación por riegos localizados por aspersión o goteo, dicha acción podría llevar a reducir de 40 hasta un 60% en el consumo de agua, en conjunto con buenas prácticas como son; realizar los riegos en las primeras o últimas horas del día, trazar los surcos a nivel, para llevar a cabo un control en el volumen de extracción y no exceder la concesión que se tiene por parte de la CONAGUA.
- o Programa de recuperación de volúmenes a favor del acuífero, gestionar por parte del Comité de Cuenca de la Laguna de Santiaguillo ante la CONAGUA la tecnificación del riego, con el ahorro de agua que propicie esto se podría devolver al acuífero dicha cantidad al volumen anual concesionado como forma de pago.
- o Establecer línea de comunicación del Comité de Cuenca de la Laguna de Santiaguillo con la CONAGUA, para llevar a cabo capacitación de productores, conocer las acciones que se realizan dentro de la cuenca y trabajar en conjunto para el beneficio de la cuenca.
- o Acciones de conservación de la cobertura vegetal para mantener el coeficiente de escurrimiento como lo muestra la Figura 64.
- o Reforestación de zonas favorables para la recarga del acuífero Figura 65.
- o Establecer presas filtrantes en zonas de mayor permeabilidad Figura 65.
- o Construcción de infraestructura en la microcuenca Guatimapé, debido a su aportación de agua a la zona, para ampliar zonas de riego con agua superficial.

- o Control de presencia de ganado en las áreas donde el coeficiente de infiltración es más alto y los coeficientes de escurrimiento son menores
Figura 64, Figura 65.
- o En las microcuencas Las Jarillas, La Tinaja, El Trébol y los Monos establecer obras de conservación en los cauces principales, debido al bajo tiempo de concentración que presentan, éste tipo de actividades mantendrá las velocidades de los escurrimientos.

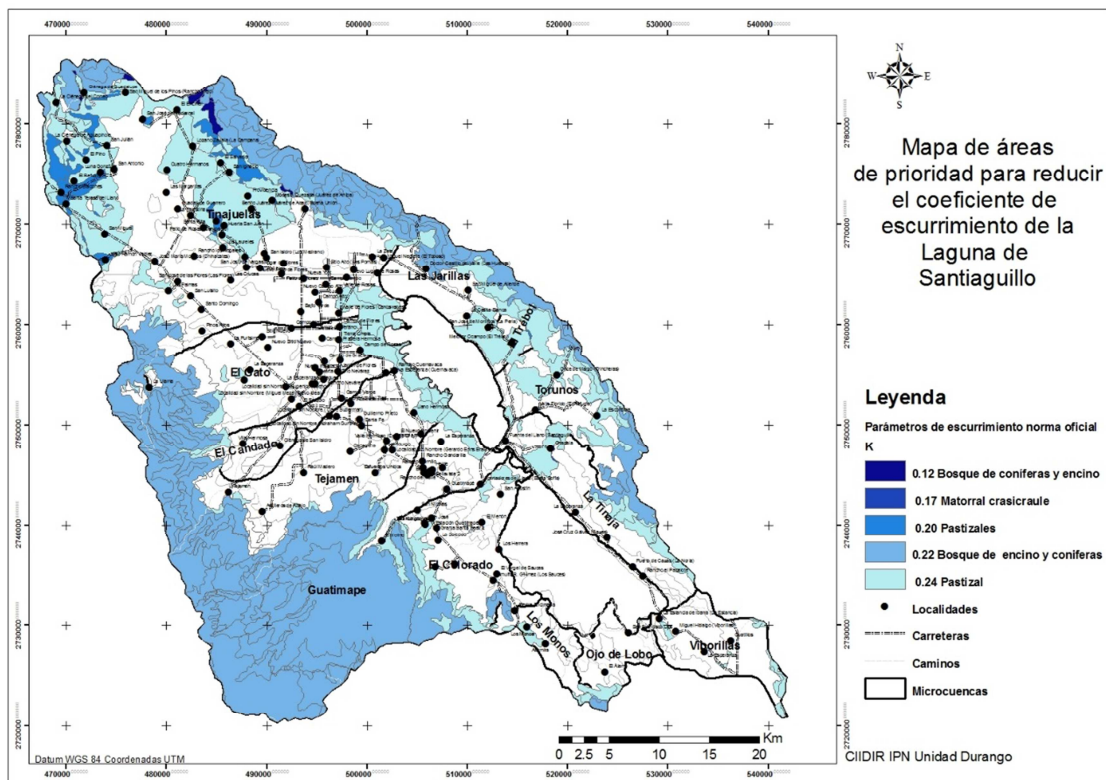


Figura 64. Mapa de áreas de prioridad de conservación de cobertura vegetal

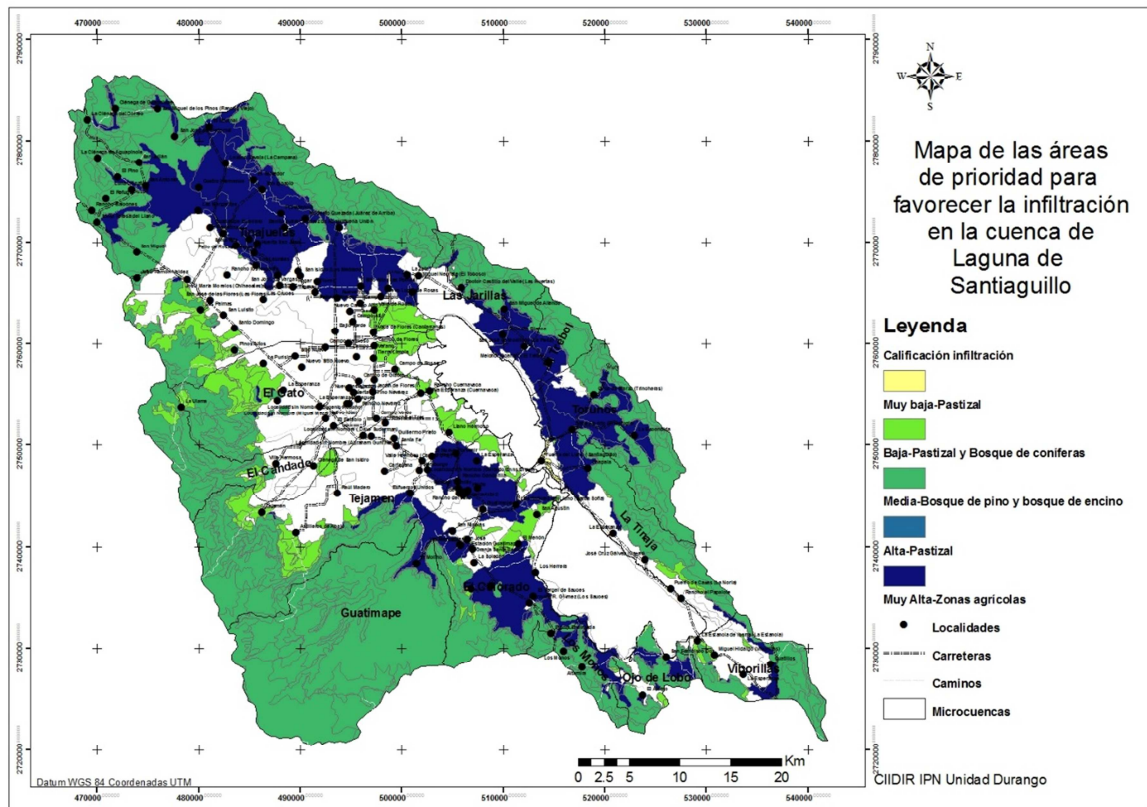


Figura 65. Mapa de calificación de la infiltración de la cuenca.

Metas

Menor presión al acuífero de la cuenca, reduciendo en 60 puntos porcentuales la explotación, pasando de una sobreexplotación del orden de 318% a 258%.

Disminución en el coeficiente de escurrimiento.

Mayor infiltración al acuífero

VII. Conclusión y Recomendaciones

Las condiciones de un uso de agua sustentable no son viables, por la cantidad de inversión económica que requeriría la tecnificación en los riegos, sin embargo se puede reducir considerablemente la presión que se ejerce sobre el acuífero si se lleva a cabo lo estipulado en el plan de gestión de la presente investigación.

Dado que el trabajo se realizó con base en los volúmenes anuales concesionados, se desconoce realmente los volúmenes extraídos anualmente, la ausencia de esta información no permite conocer la condición real del acuífero. Es por ello que se recomienda llevar a cabo trabajos de investigación que establezcan los niveles freáticos en la zona, con ello se podría realizar un análisis más profundo del acuífero y sus niveles de abatimiento que permitan hacer proyecciones.

Se desconoce de igual manera la batimetría de la Laguna Norte, dato que permitiría conocer el volumen con el cual se cuenta dentro de este cuerpo de agua, llevar a cabo estudios de batimetría anuales conducirían a conocer volúmenes azolvados dentro de ella, factor que influye en la velocidad de evaporación.

VIII. Bibliografía

- Anónimo. (2006). *Revista Ambientum* . Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de <http://www.ambientum.com/revistanueva/2005-09/aguas.htm>
- Ayala L. (4 de Agosto de 2010). *Explorock. Blog de las Geociencias y Exploración*. Recuperado el 16 de Junio de 2013, de <http://explorock.wordpress.com/2010/08/04/depositos-sedimentarios/>
- Bea M., Montesinos, S., Morugan, C., y Moraleda, S. (2010). Análisis comparativo de las superficies regadas en los acuíferos del campo de Montiel y la mancha occidental. *Revista de teledetección Vol. 34*, 22-28.
- Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). *Ley de Aguas Nacionales*. México; DF: Diario Oficial de la Federación.
- Campos D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Universitaria Potosina.
- Castells X. E. (2012). *Generalidades, conceptos y origen de los residuos*. Madrid: Diaz de Santos.
- Collen E. A. (2008). *WWF International*. Recuperado el 21 de 10 de 2014, de http://www.wwf.org.au/crawl_publications.cfm?1361/2010-and-Beyond-Rising-to-the-Biodiversity-Challenge
- Comisión Nacional del Agua. (2004). *Estadísticas del Agua en México*. México, D.F.
- CONAGUA. (2002). *Determinacion de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Santiago, Estado de Durango*. México, D.F.
- CONAGUA. (2009). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero (1001) valle de santiago*. México D.F.: Diario oficial de la federacion del 28 agosto 2009.
- CONAGUA. (2011). *Análisis de alternativas de manejo de la demanda y la disponibilidad del agua de la cuenca alta del río Mezquital, estado de Durango*. Durango.
- Consejo Insular de Aguas La Palma. (2014). *Consejo Insular de Aguas La Palma*. Recuperado el 12 de 10 de 2014, de http://www.lapalmaaguas.es/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=58
- Duarte E. (2014). Uso del agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I). *Revista del Plan Agropecuario*, 52-55.

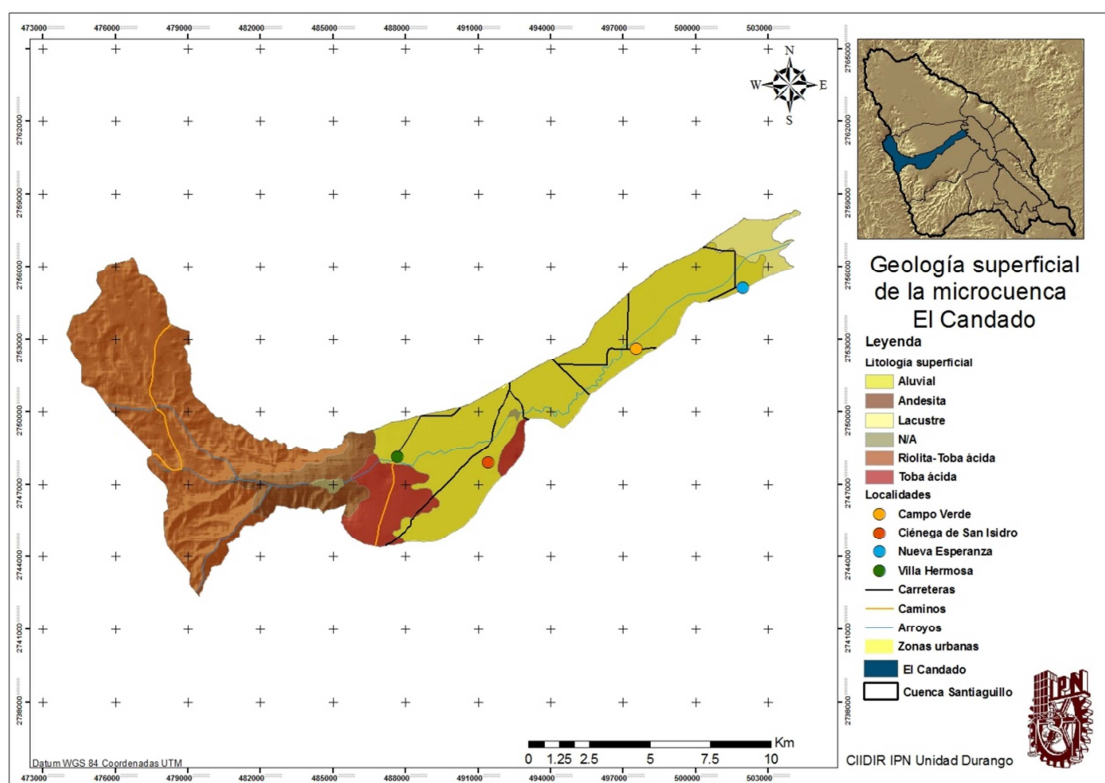
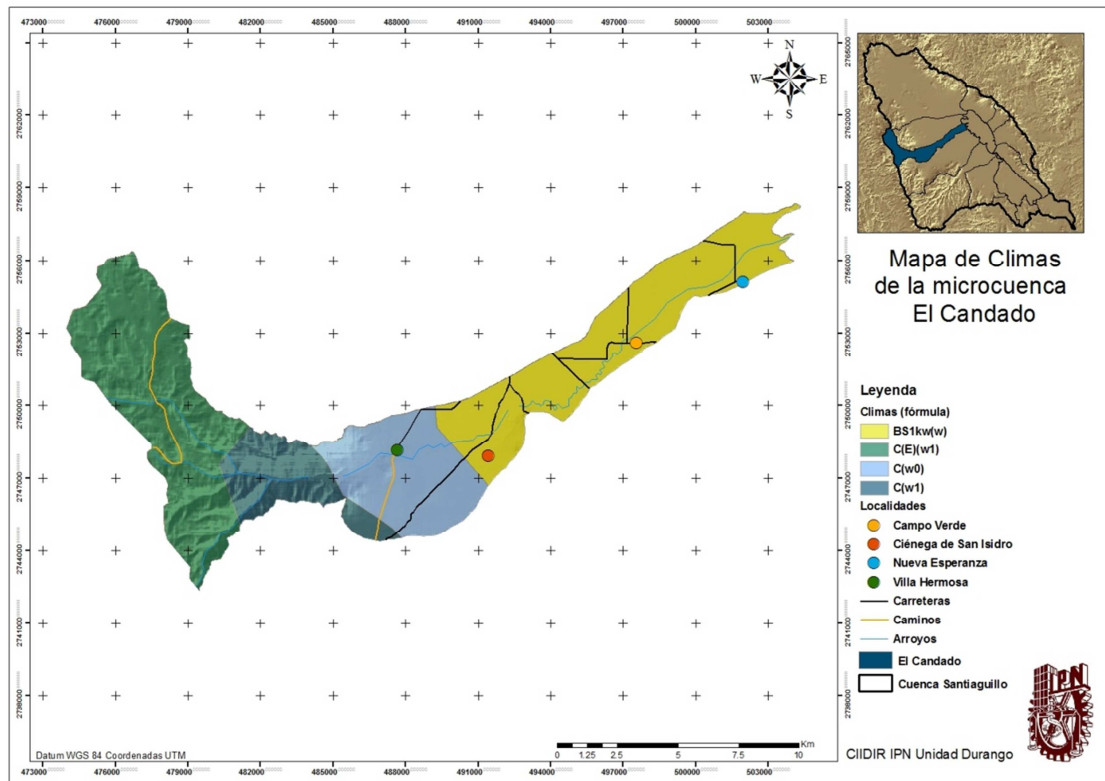
- Esteller M., Quentin E. y Díaz-Delgado C. (2002). Uso de sistema de información geográfica para la determinación de parámetros utilizados en la construcción de mapas de vulnerabilidad de acuíferos. *Hidrogeología, Vol.2 No1*, 17-30.
- Goettsch C., Mittermeier R., Farrel T., Harrison I., Uppgren A., Brooks T. (2010). Agua dulce. La esencia de la vida. Serie de libros de conservación de CEMEX.
- Griem W. (2005). *geovirtual*. Recuperado el 20 de junio de 2013, de <http://www.geovirtual.cl/Geoestructural/gestr04f.htm>
- Guerrero M. (3 de diciembre de 2009). Obtenido de <http://bosquedeconiferasmbg.blogspot.mx/2009/12/fauna.html>
- INEGI. (2004). *Guía para la interpretación de cartografía, Edafología Aguascalientes México*.
- INEGI. (2005). *Guía para la Interpretación de cartografía, Climatológica. Aguascalientes México*
- LAN. (2012). *Ley de Aguas Nacionales*. México, D.F.
- Lerner D. N., Issar A. S., y Simmers I. (1990). Groundwater Recharge A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. *International contribution to Hydrology*.
- Ley de Aguas Nacionales. (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. México, D.F.
- Longwell C. R. y Flint R. (1981). *Geología Física*. México: Limusa.
- Lugo H. (2006). *Planeación del agua. Un enfoque social y sistémico. Agua, un derecho social*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Manzano M., y Custodio E. (2005). El acuífero de Doñana y su relación con el medio natural. En F. García Novo, & C. .. Marín Cabrera, *Doñana: Agua y Biosfera* (págs. 133-142). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- MARENA. (s.f.). *Estrategia de protección para las aguas subterráneas en la subcuenca oriental del acuífero de Managua*. Managua: Ministerio de ambiente y los recursos naturales.
- Matus O., Faustino J. y Jimenez F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. *Serie técnica, boletín técnico / CATIE No. 38*, 1-21.

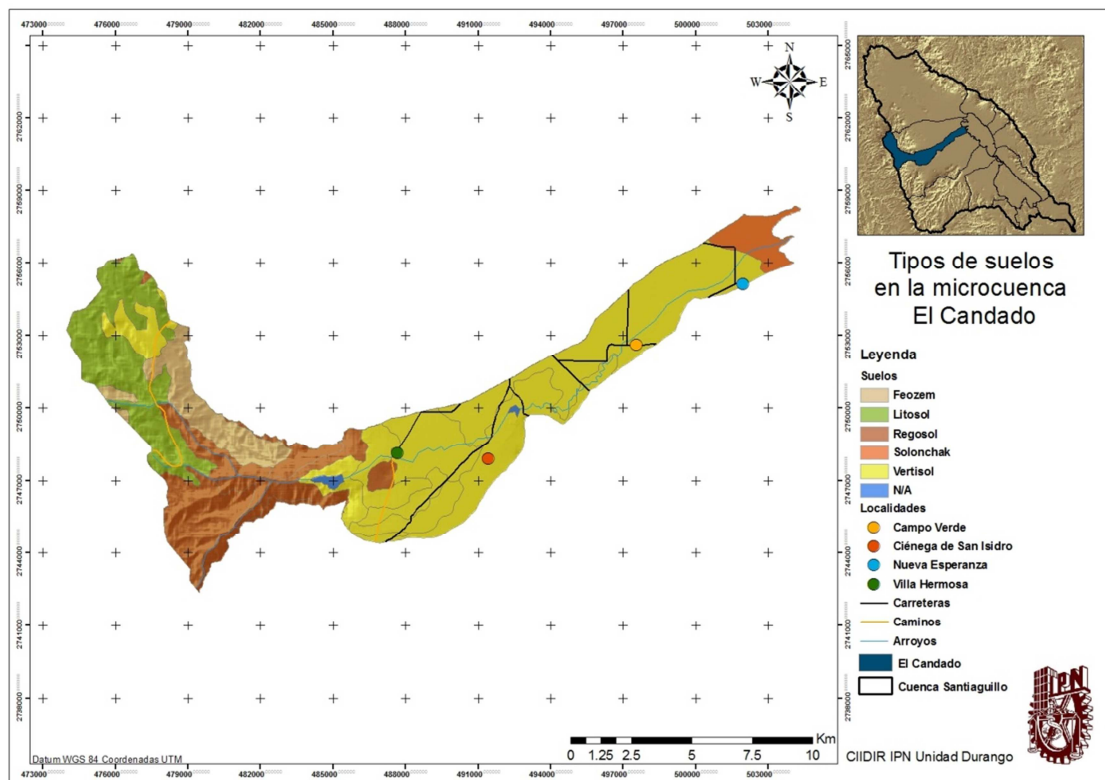
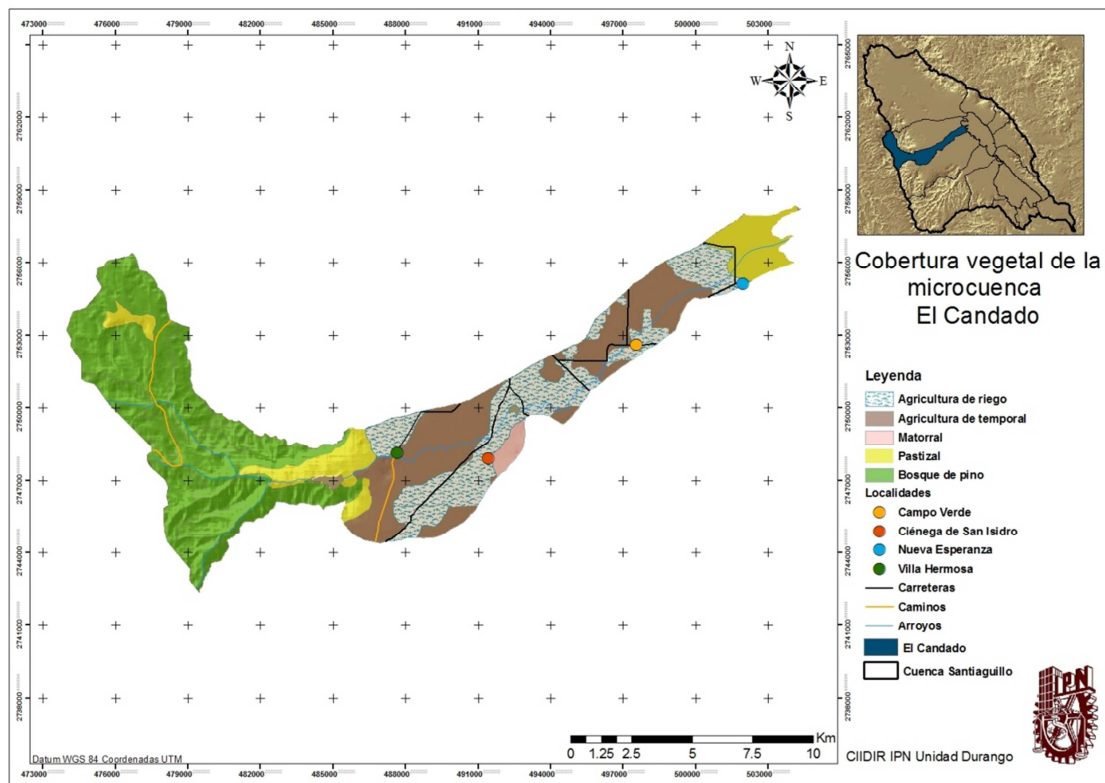
- Molina Garza R. (2013). Recuperado el 16 de 06 de 2013, de <http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/documents/alluvialfanslecture.pdf>
- NOM-011-CONAGUA. (2000). SEMARNAT. México, D.F.
- Pierce S. A., Sharp Jr J. M., Guillaume J. H., Mace R. E. y Eaton D. J. (2012). Aquifer-yield continuum as a guide and typology for science-based groundwater management. *Hydrogeology Journal*.
- Ramakrishna B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias*. San Jose, Costa Rica: IICA.
- Rivera N. (2008). *Visión Socio Ambiental de la Gestión del Agua en la Ciudad de Durango en los Últimos Treinta Años*. Durango, Durango, México.
- Ruelas L. C. y Chávez J. (2006). La aplicabilidad del enfoque de planeación colaborativa en el manejo del agua: un estudio de caso en México. *Ingeniería hidráulica en México, Vol XXI, No 3*, 57-68.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). NOM-011-CONAGUA-2000.
- SEMARNAT. (2008). *Resultado de los estudios de disponibilidad media anual de aguas superficiales*. México D.F.: Diario Oficial de la Federación 10 de enero 2008.
- Silva M. C. (1981). *Unidades del Suelo*. México D.F.: Compañía Editorial Continental.
- Shiklomanov, Igor, World Water resources at the beginning of the 21st century, PHIUNESCO, 2002.
- Tarbut E. J. y Lutgens F. K. (2006). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Pearson.
- Vargas, S. (1998). El uso del agua: un enfoque crítico de la relación población-ambiente-recursos. *Papeles de población*, 177-192.
- Velez Otálvaro M. V. y Vásquez Ariza L. M. (2004). Métodos para determinar la recarga en acuíferos. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 51-62.
- Villegas J. C. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Escuela de ingeniería Antioquia. No 1*, 73-79.
- Walton W. C. (1970). *Ground Water Resource Evaluation*. Tokio: McGraw-Hill Kogakusha.

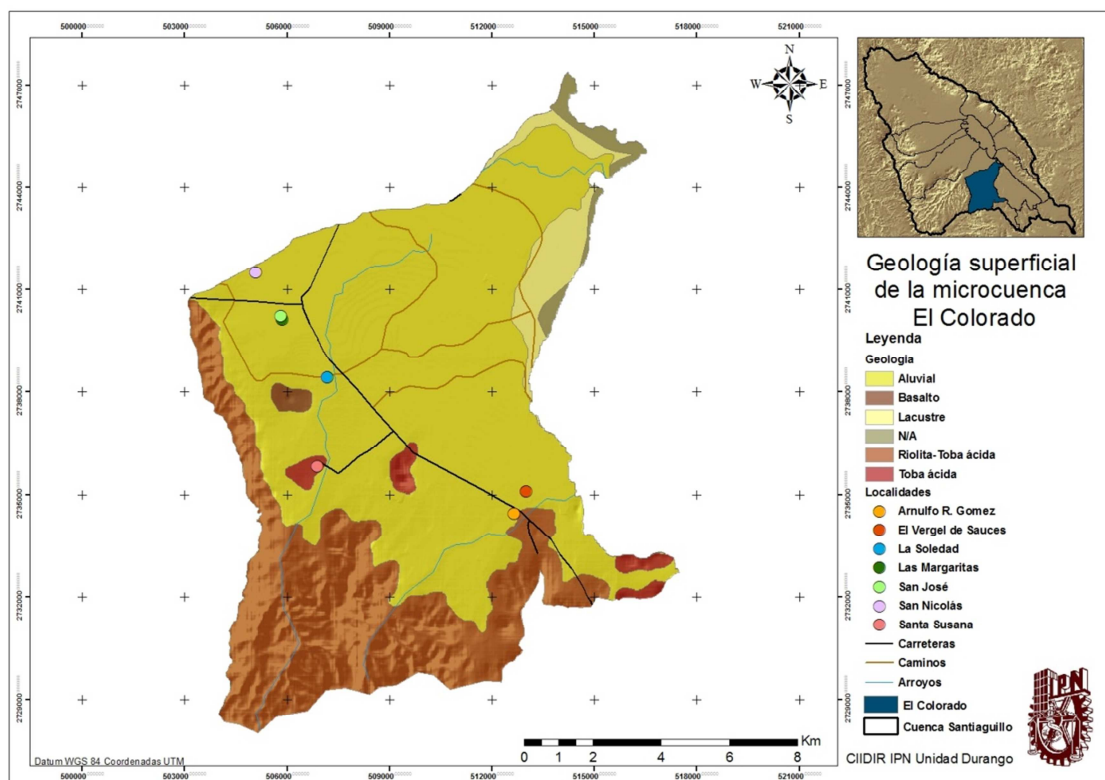
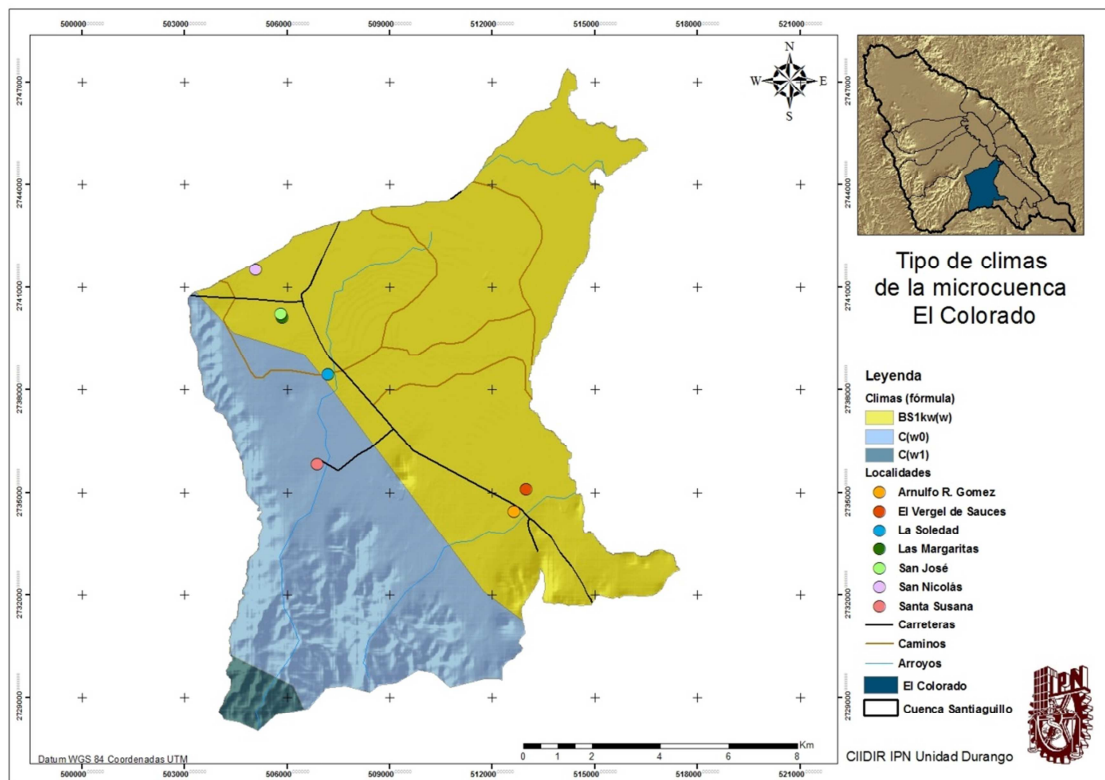
Wikipedia. (1 de septiembre de 2014). *Wikipedia*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Bosque_de_pino-encino_\(Puebla\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Bosque_de_pino-encino_(Puebla))

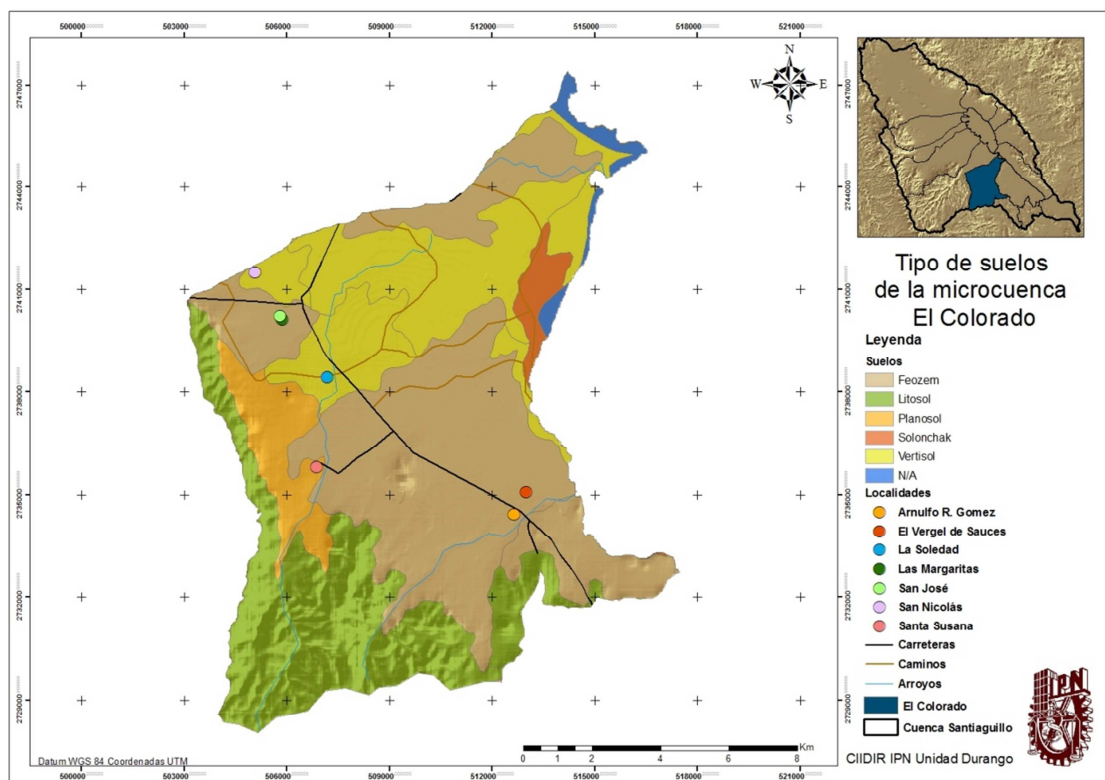
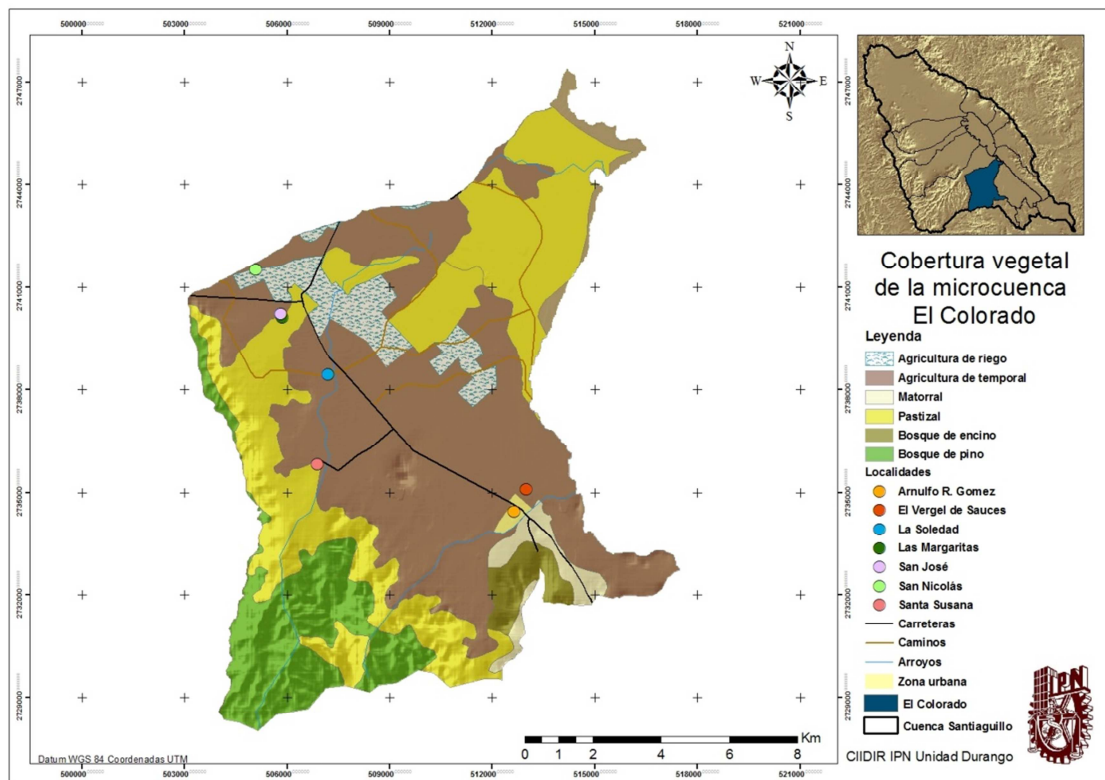
IX. Anexos

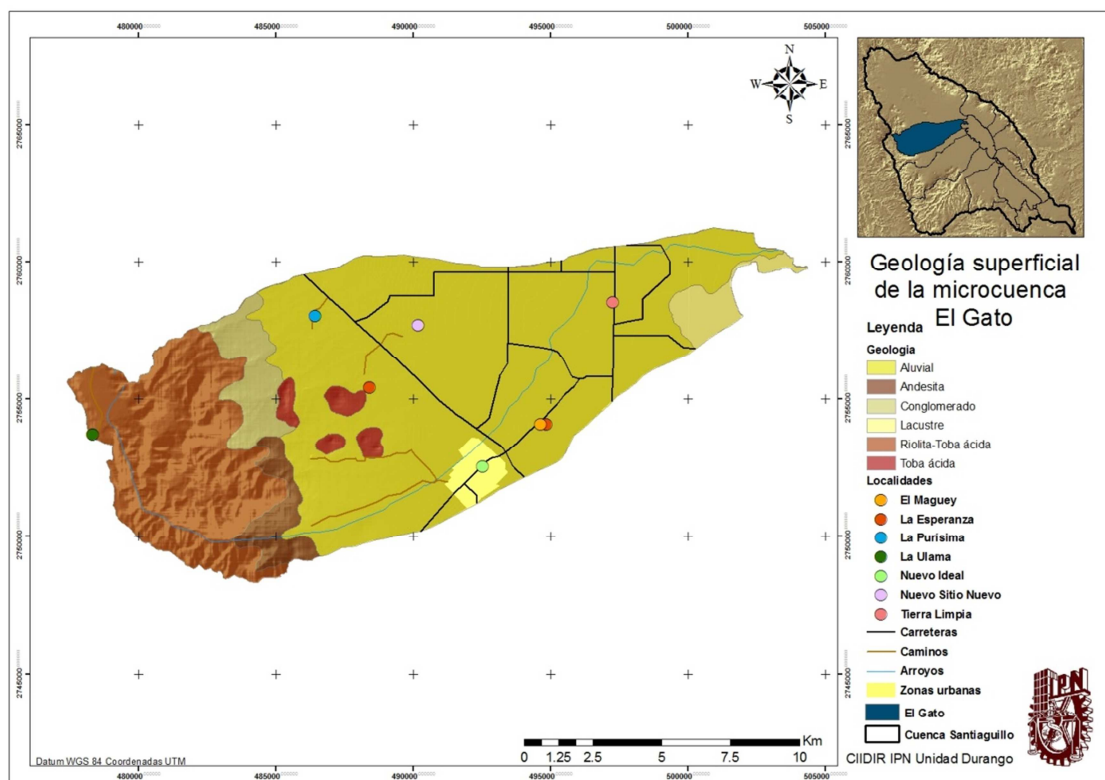
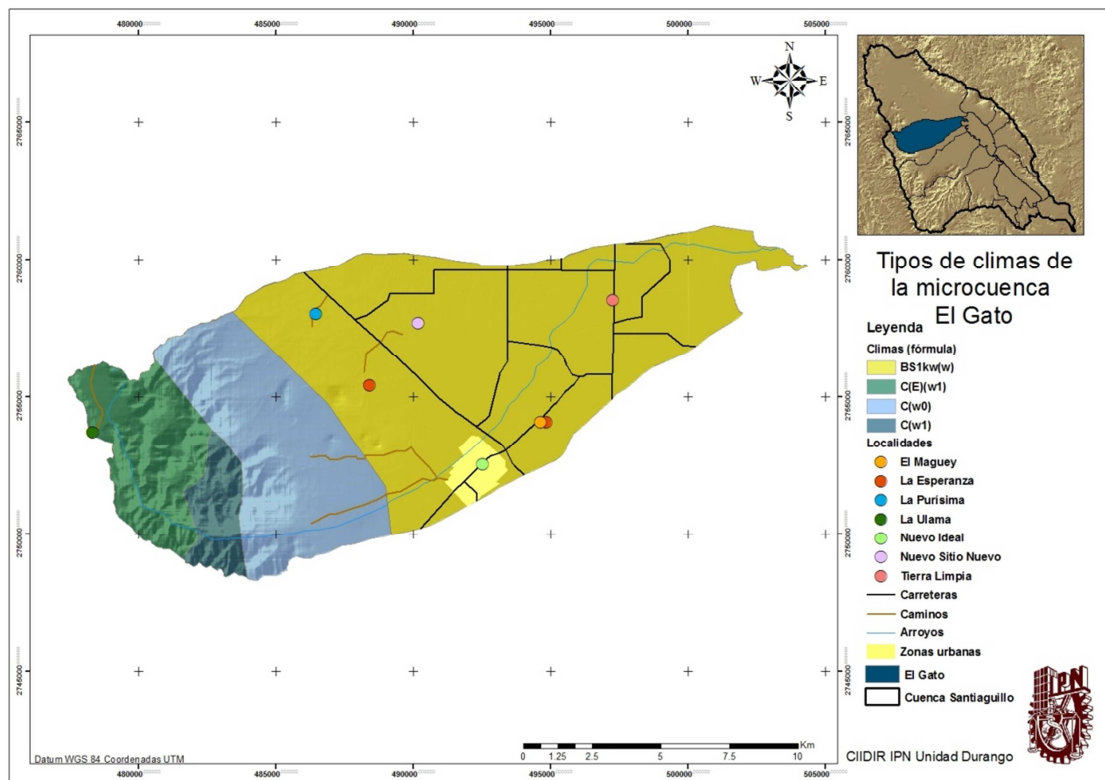
Anexo 1 cartografía de las microcuencas.

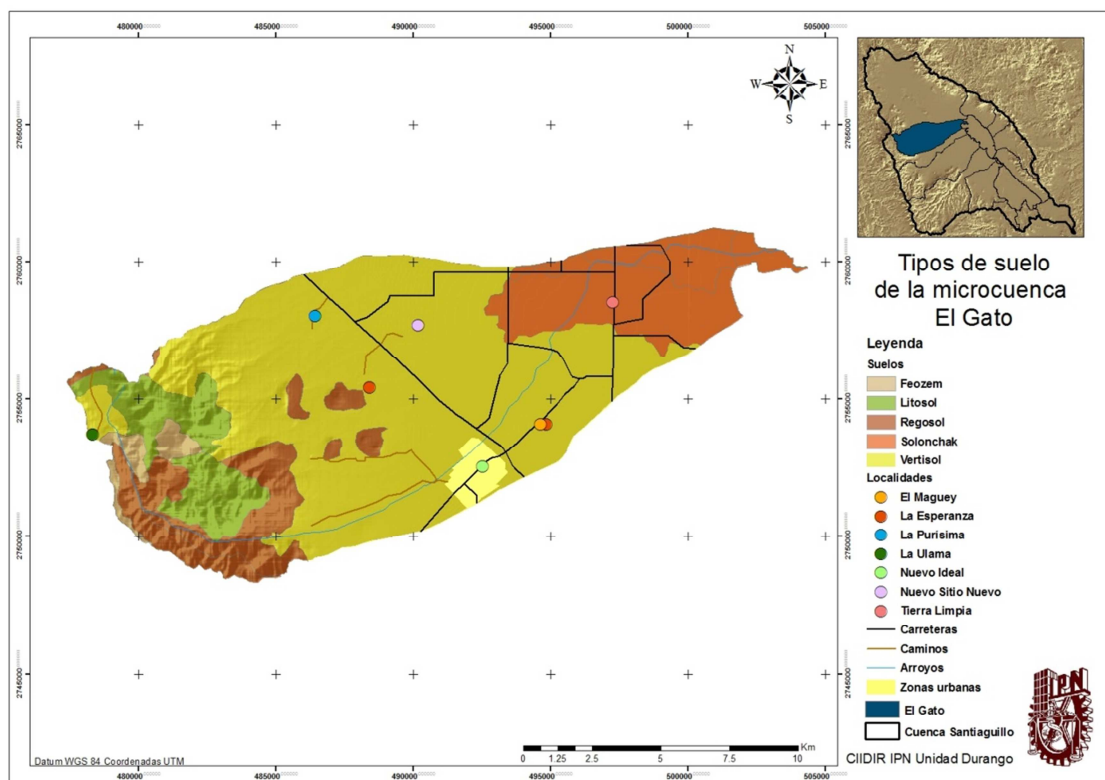
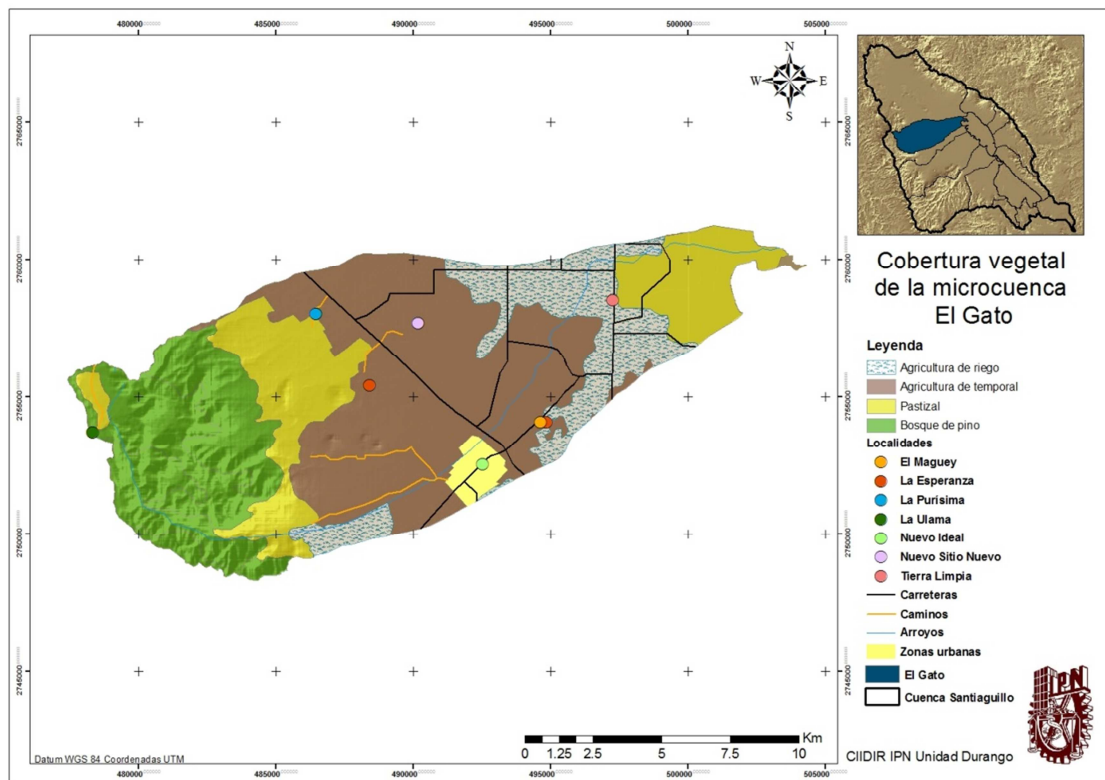


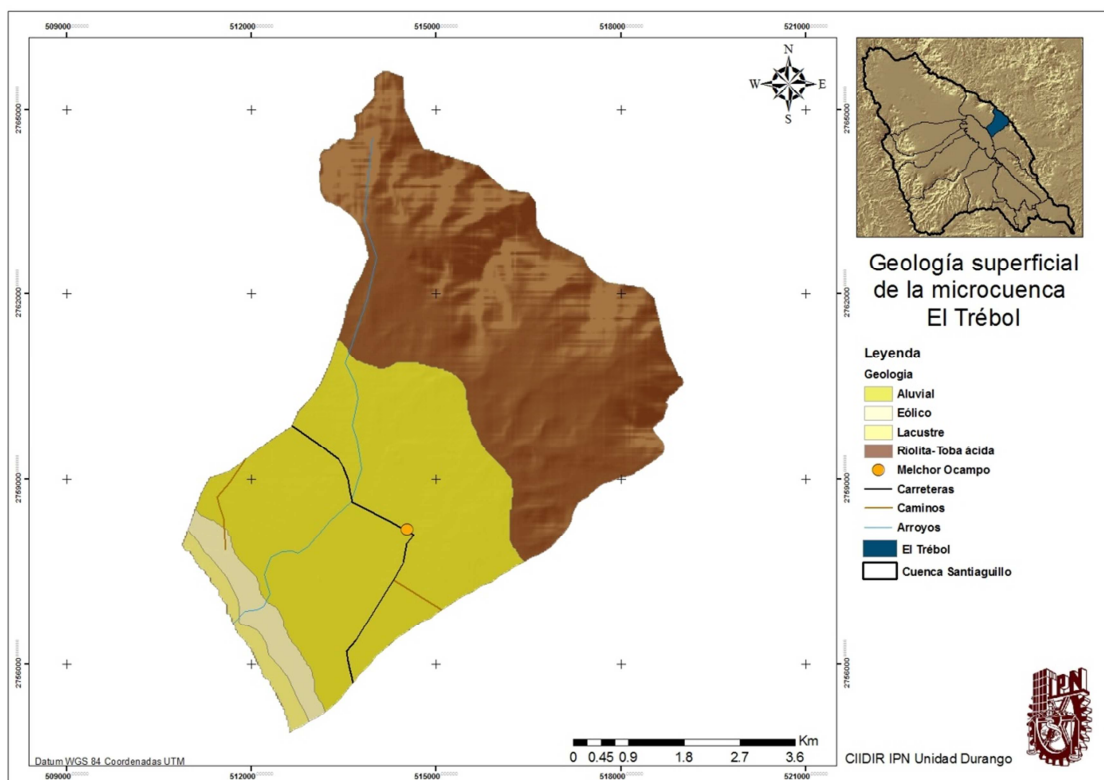
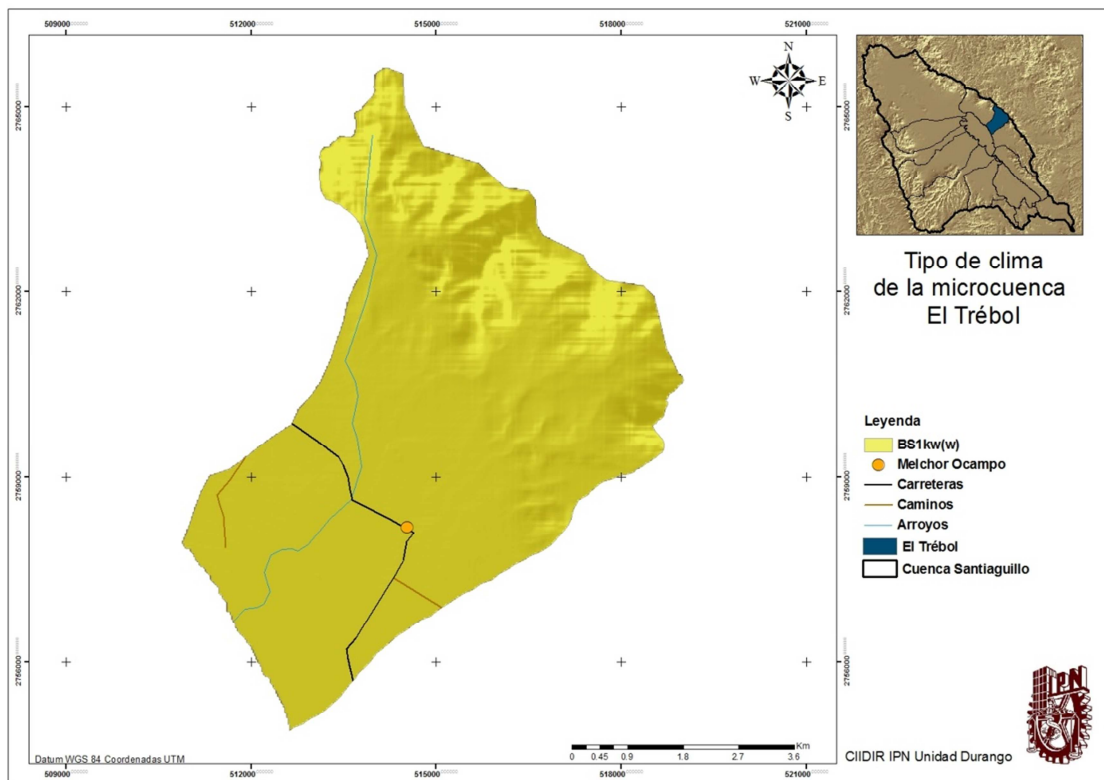


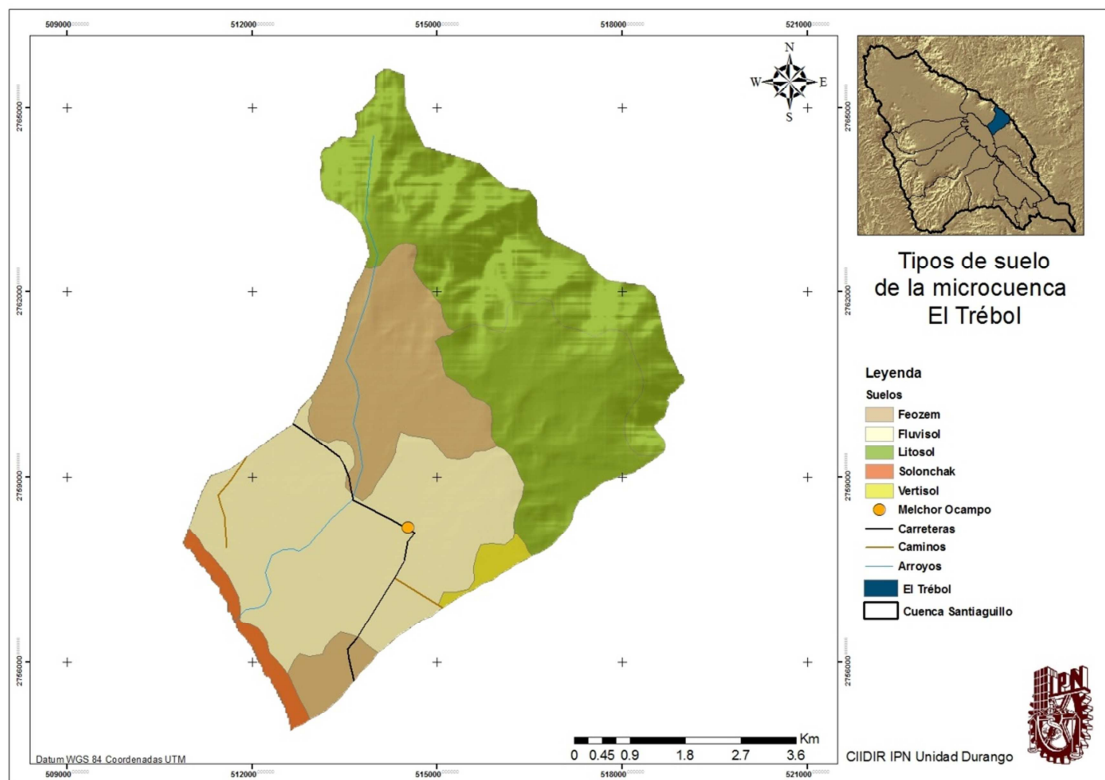
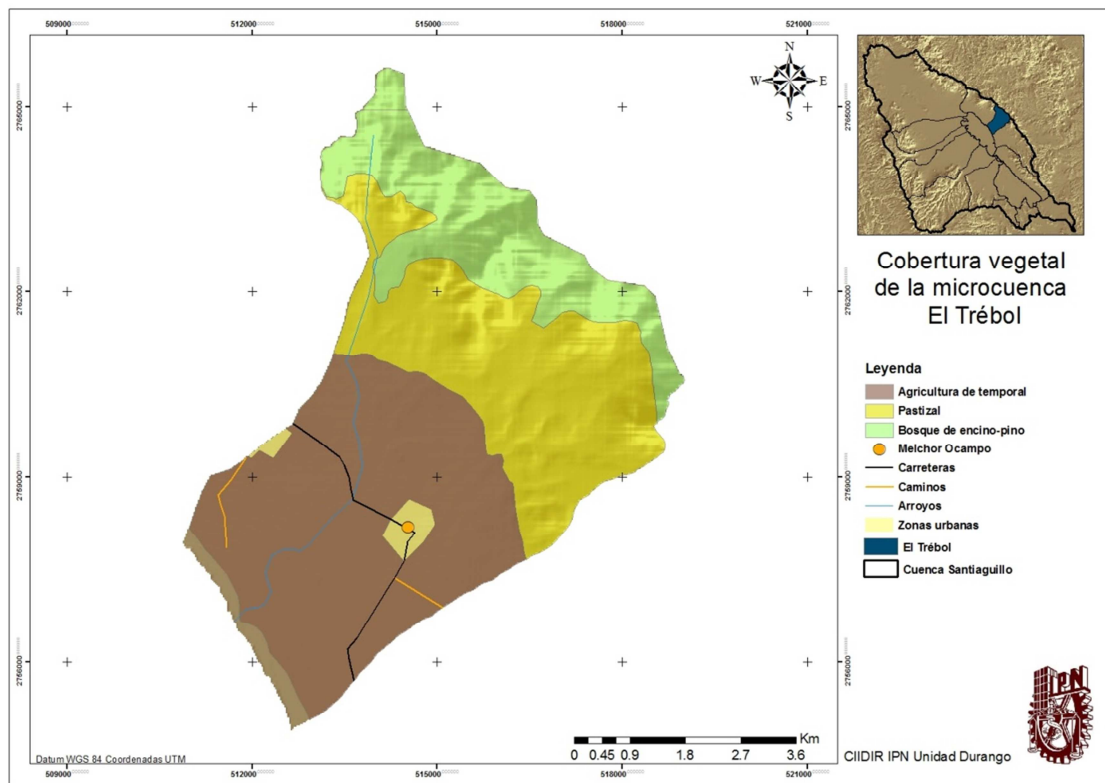


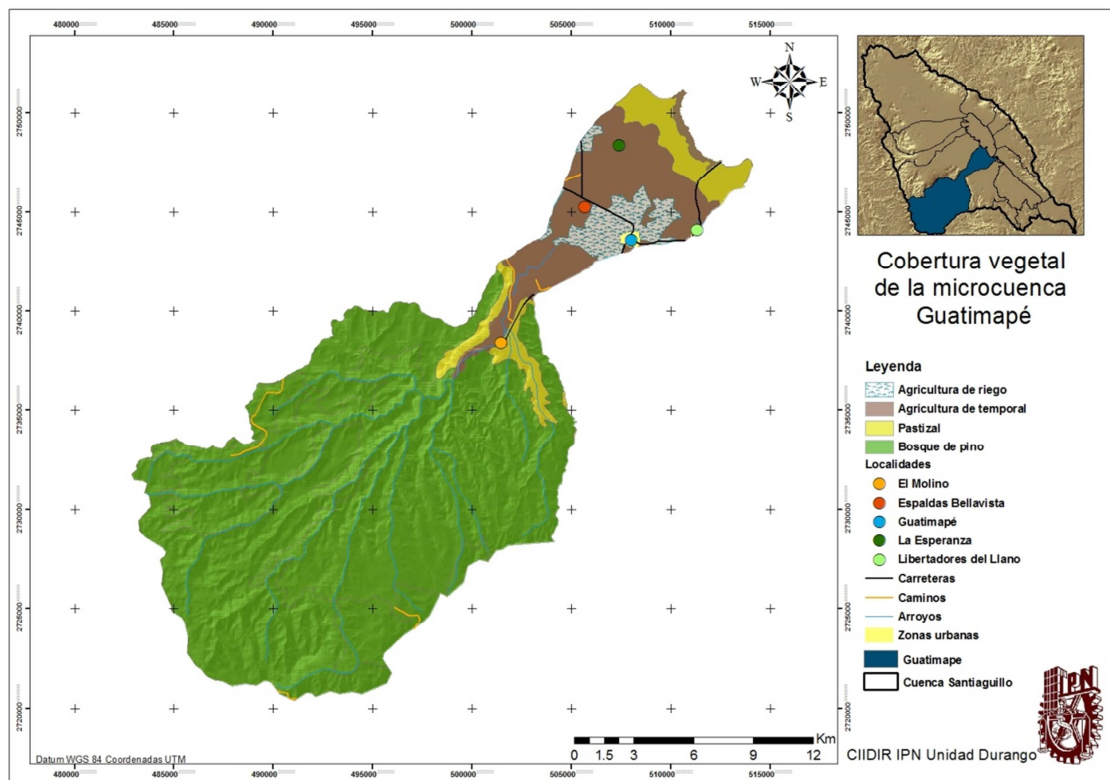
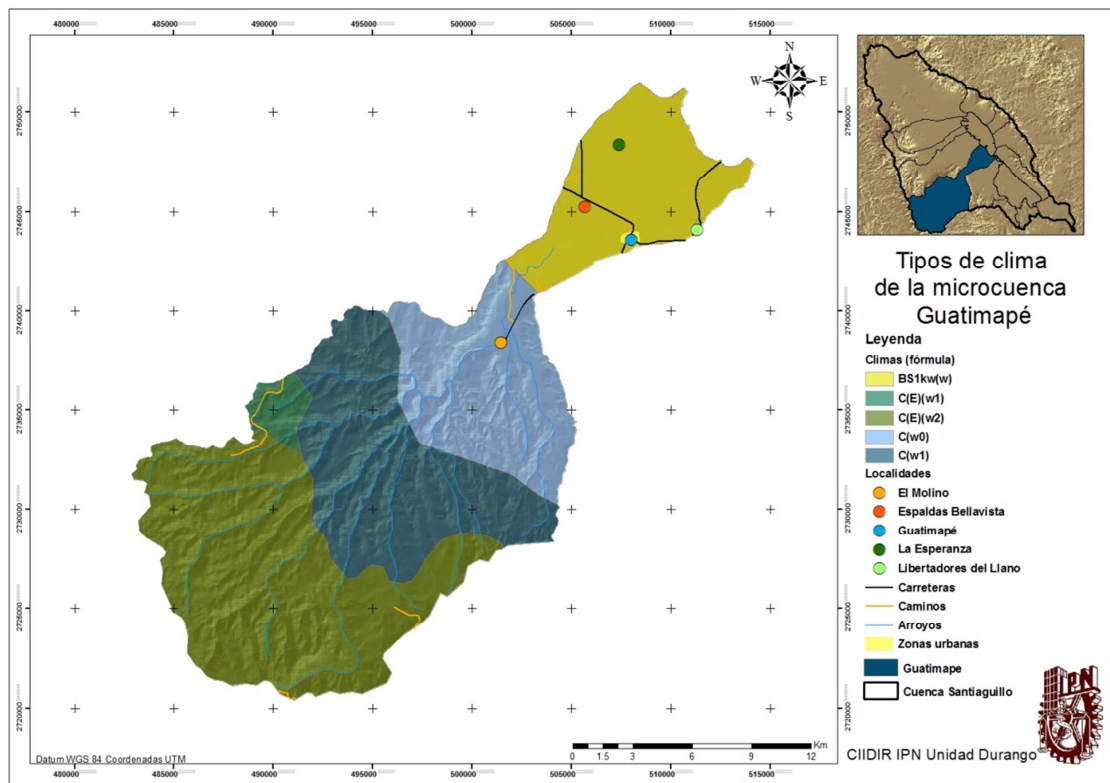


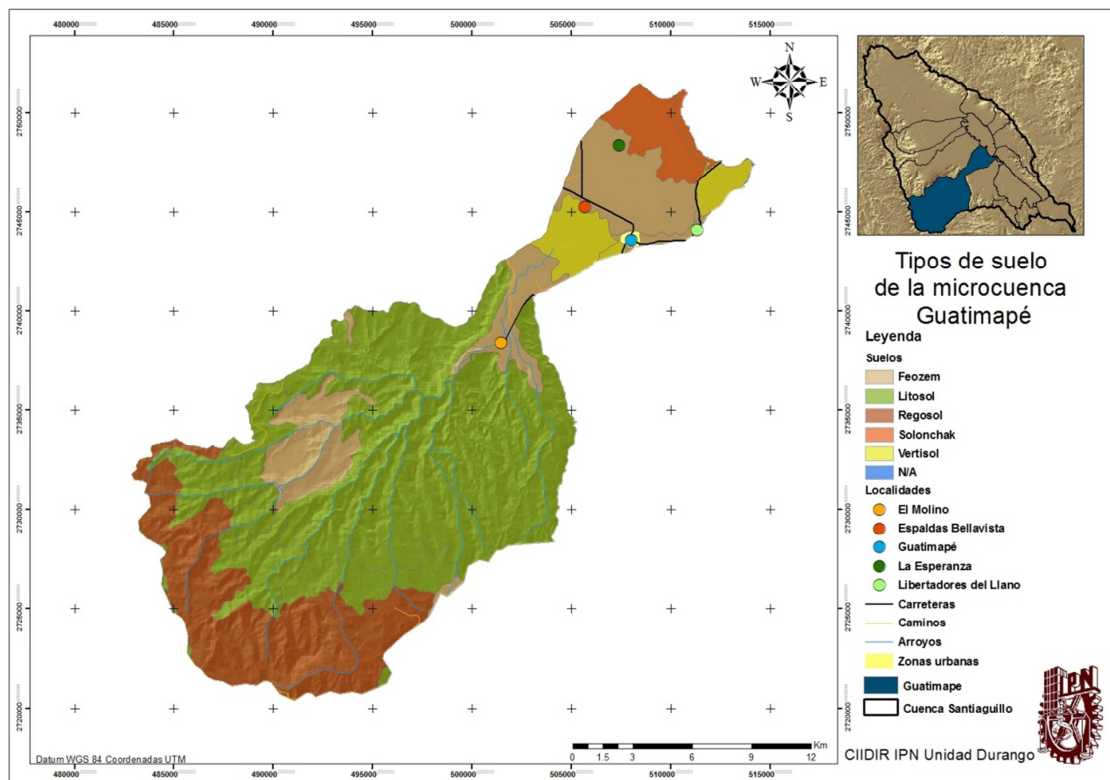
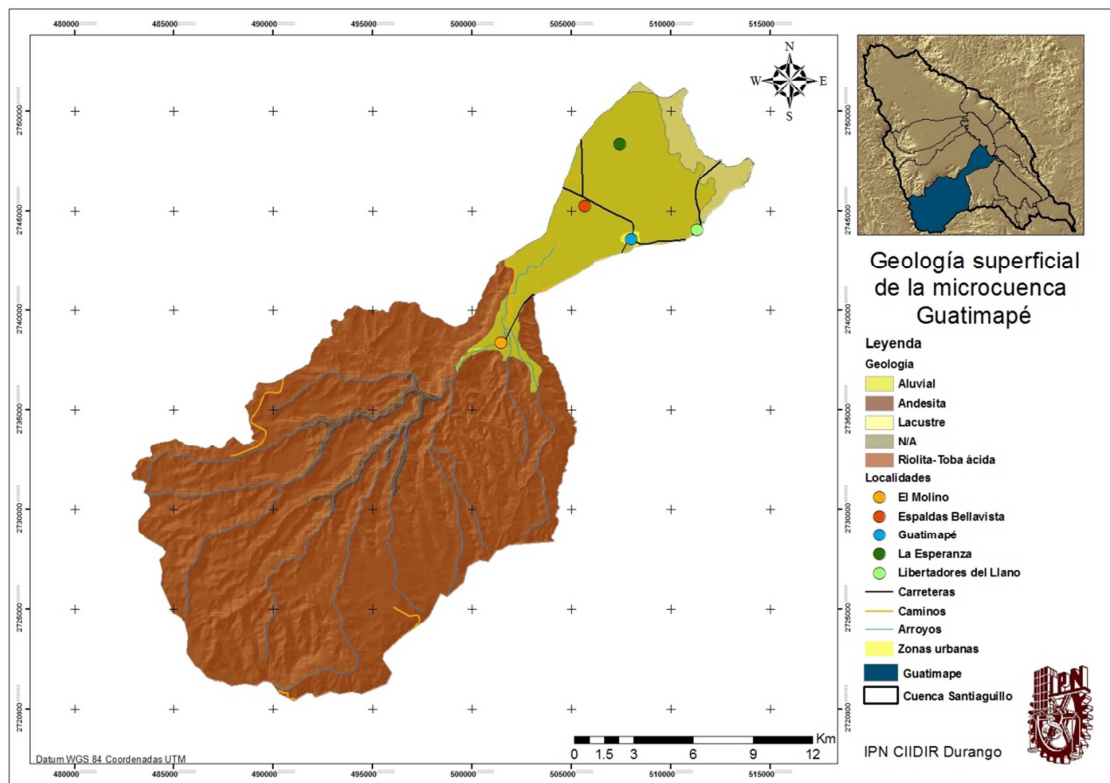


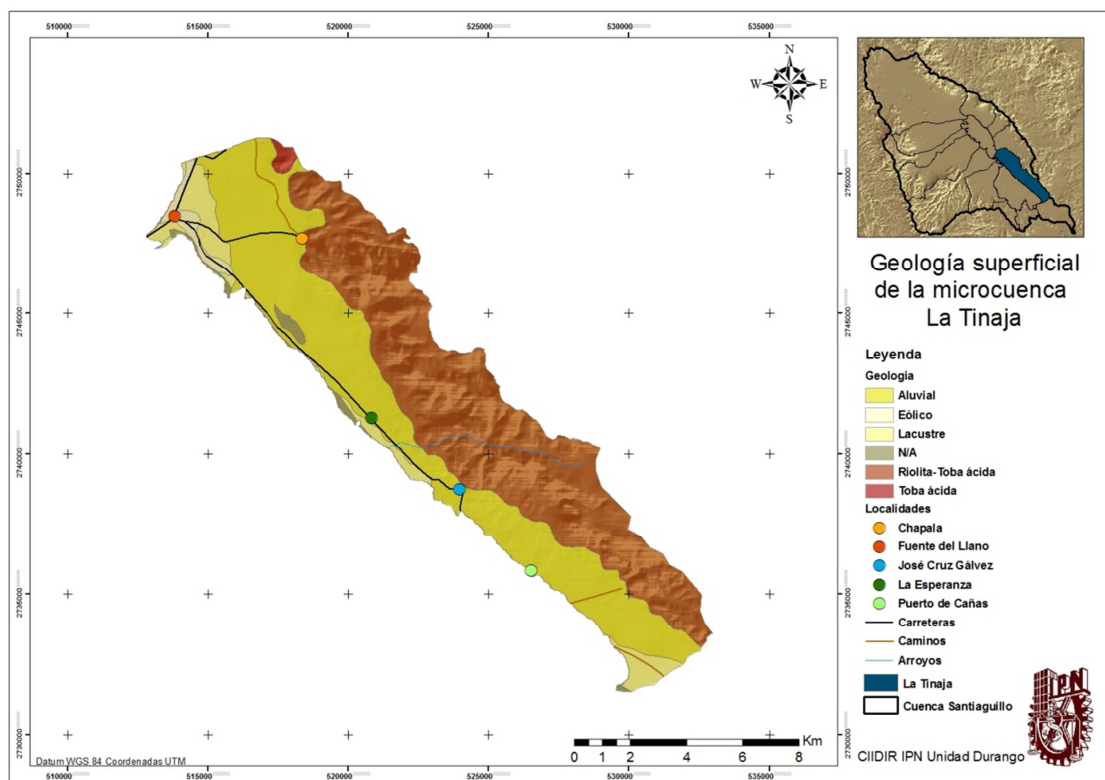
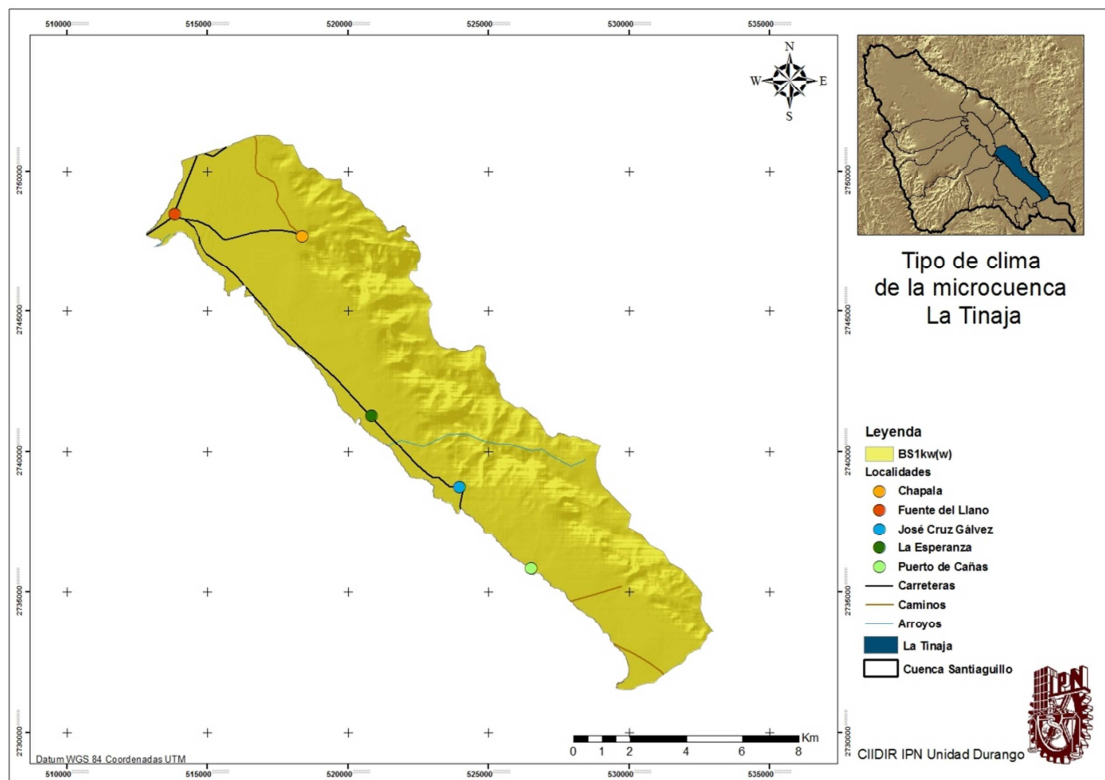


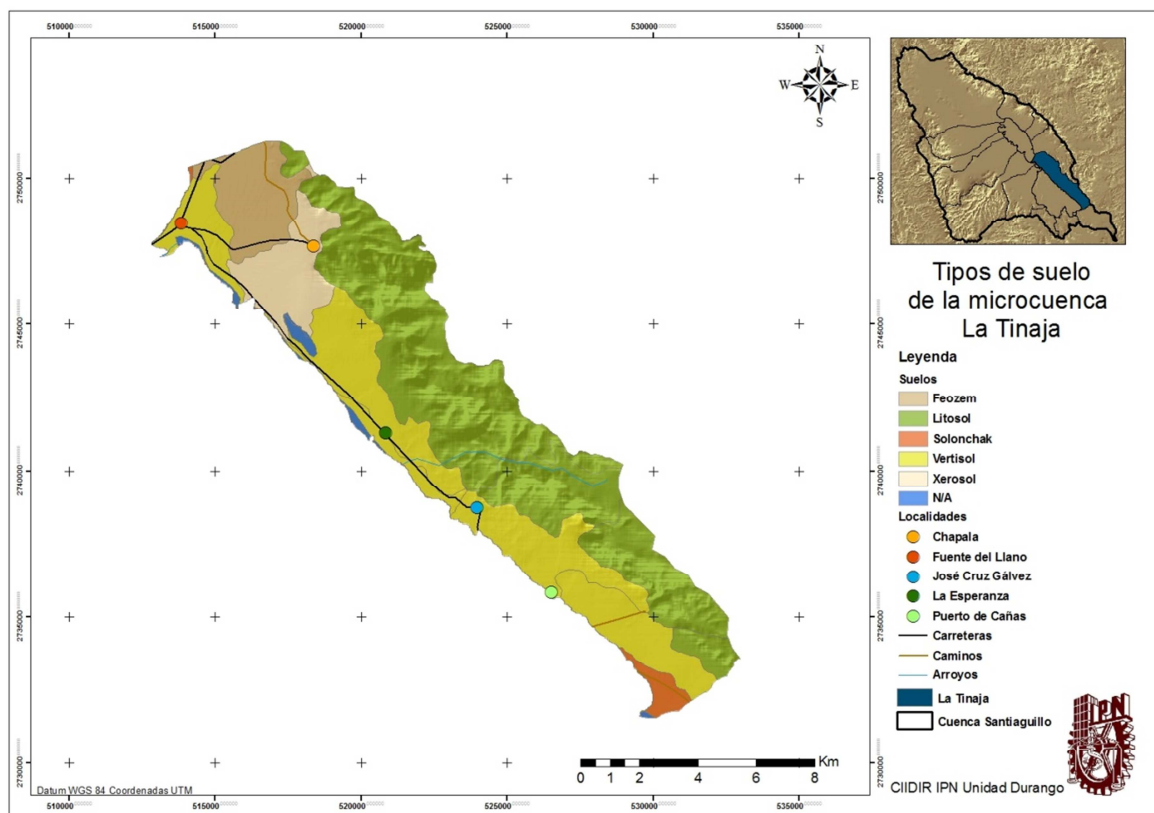
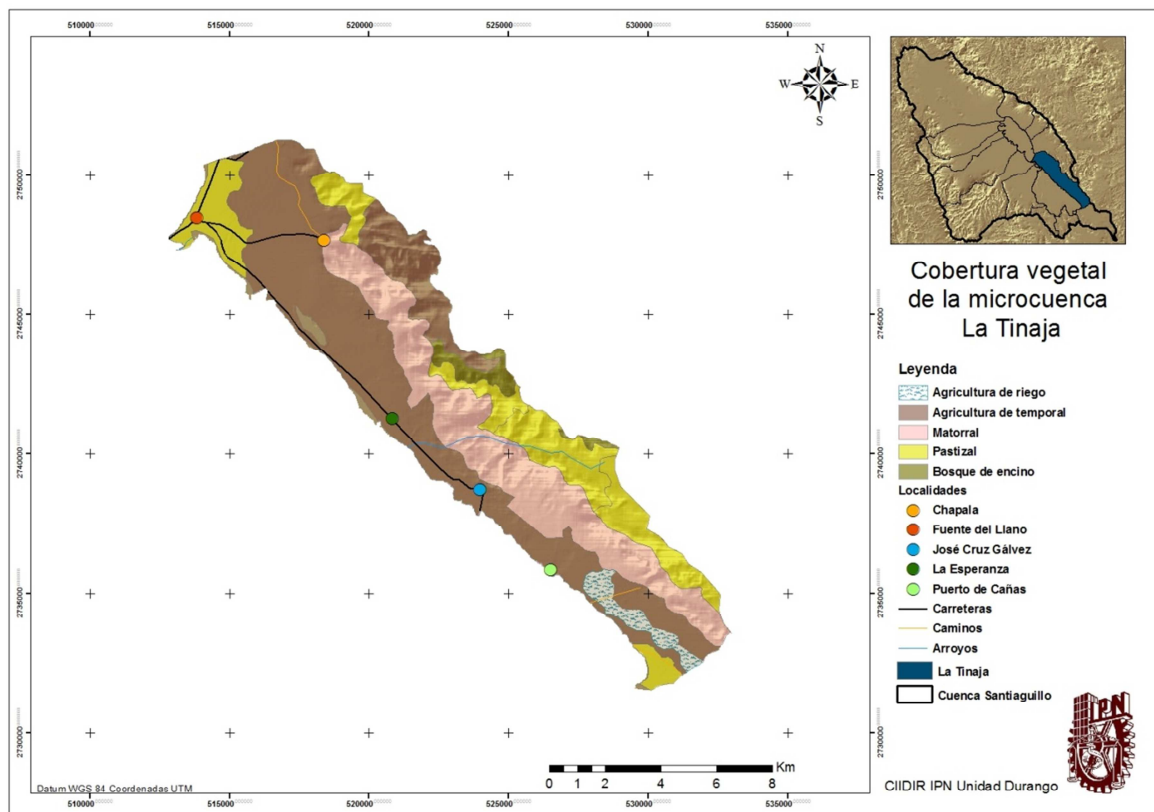


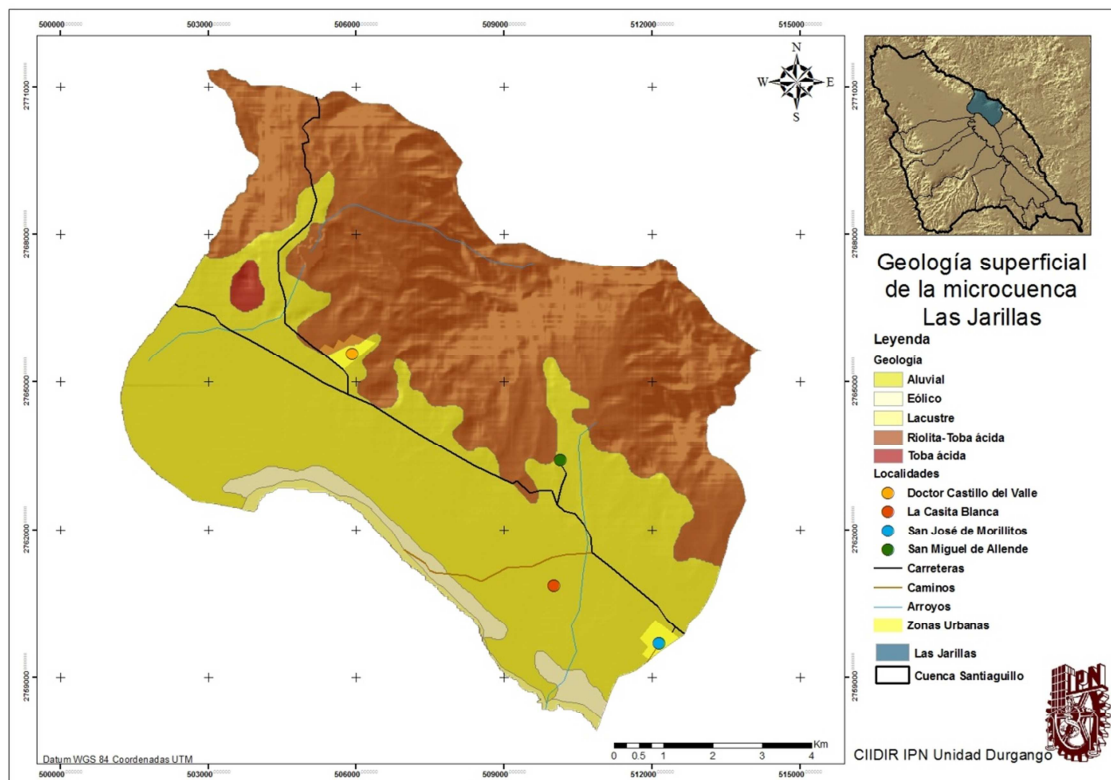
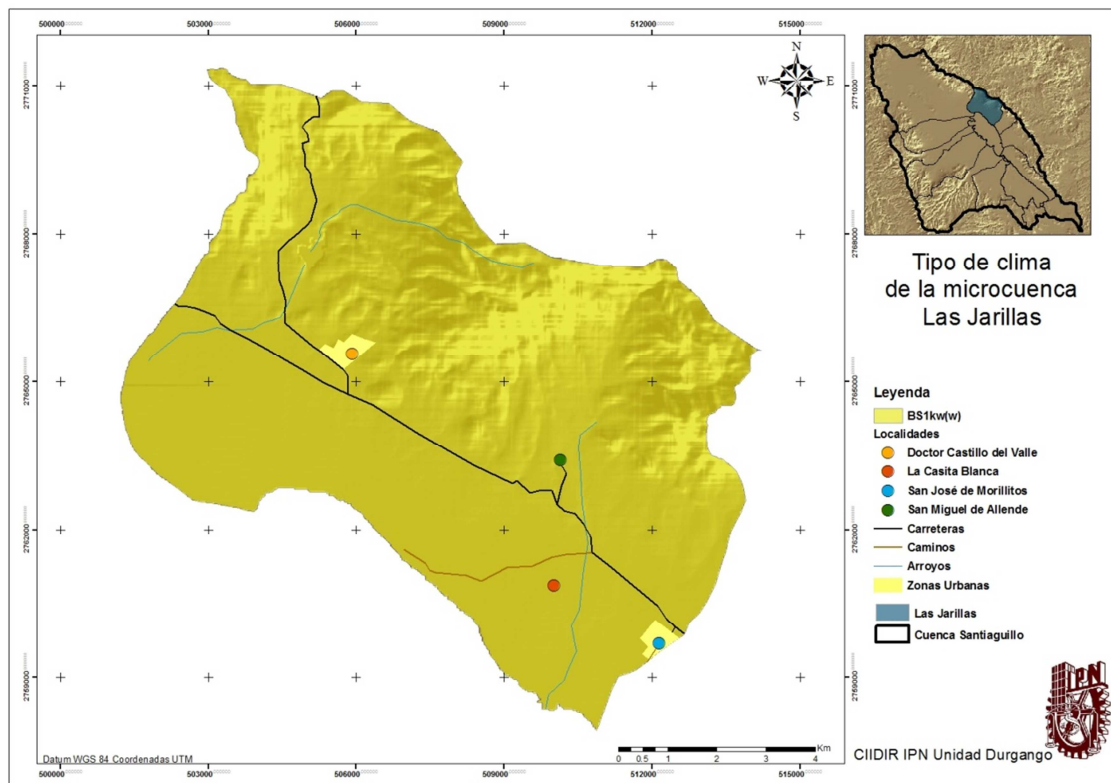


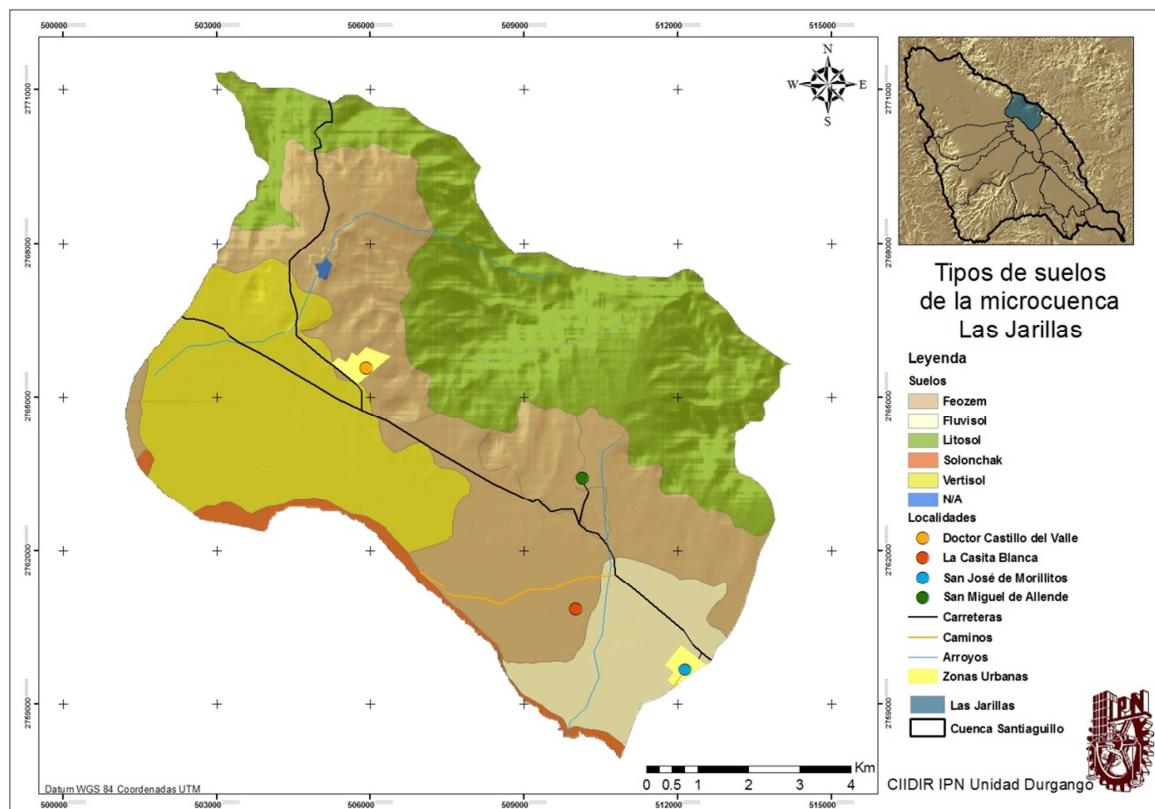
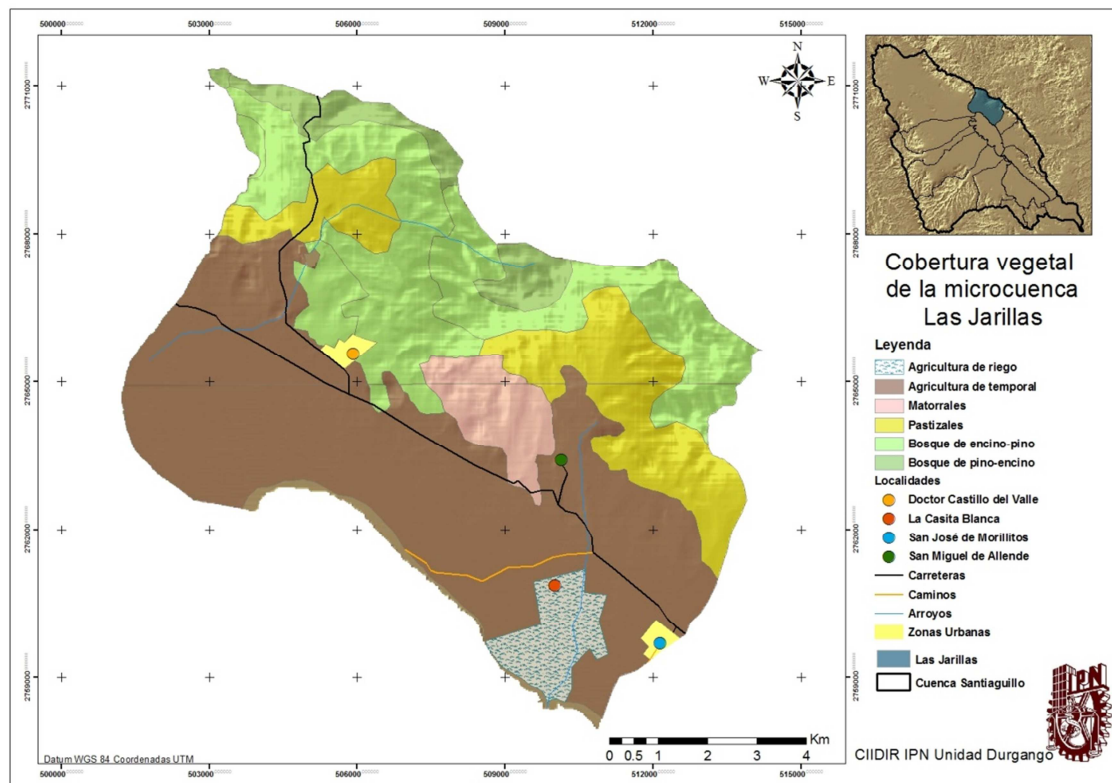


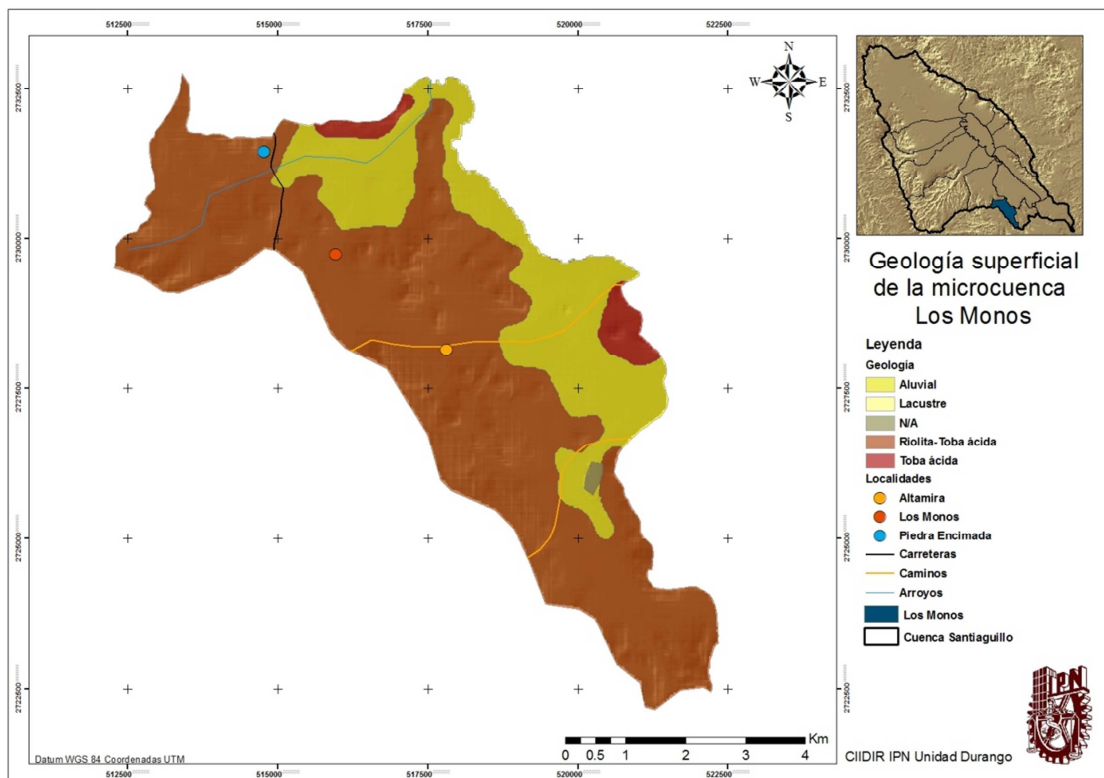
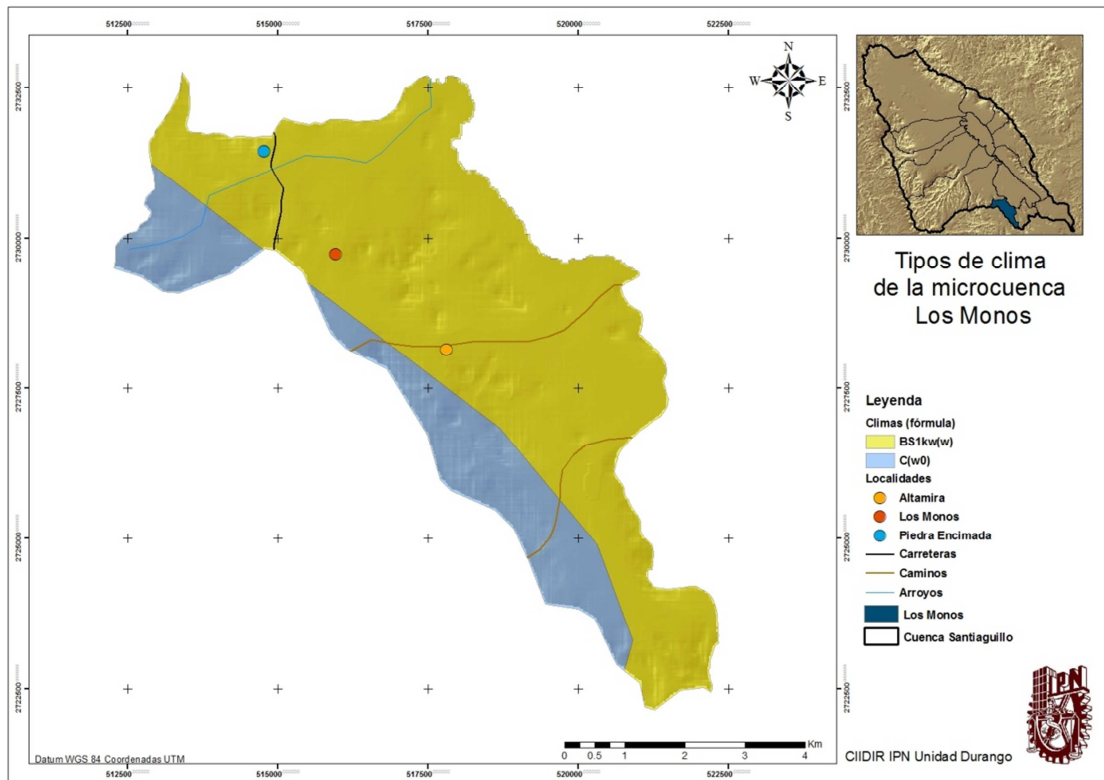


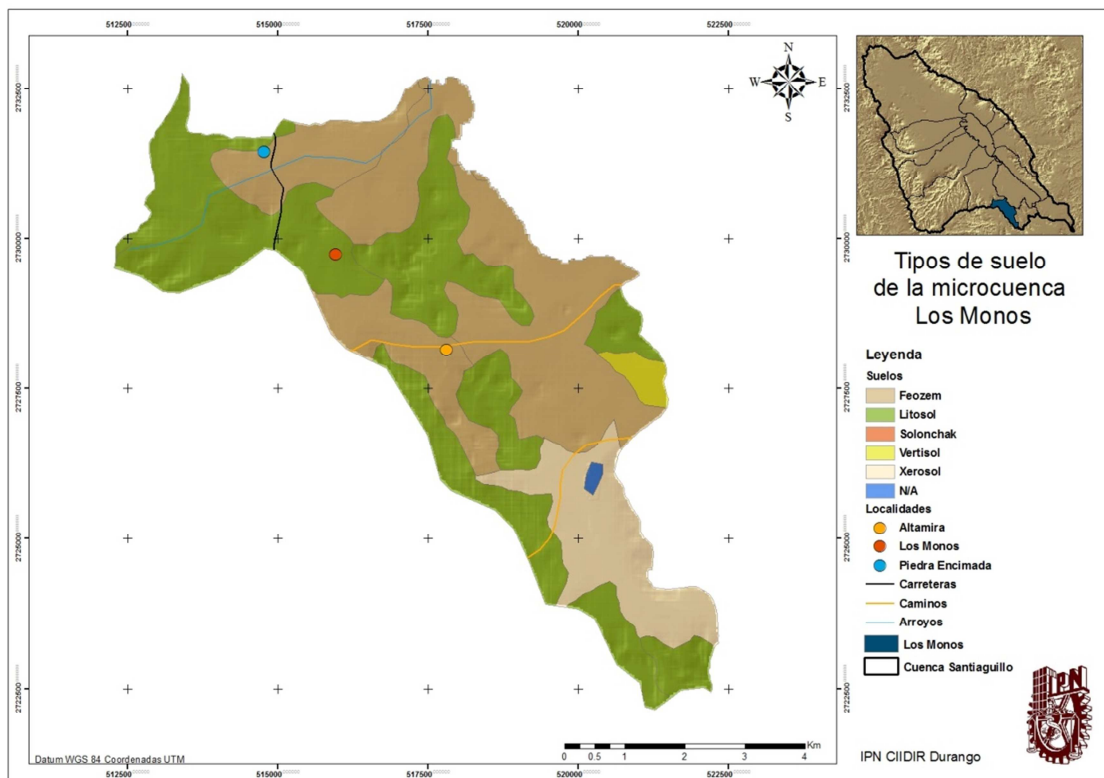
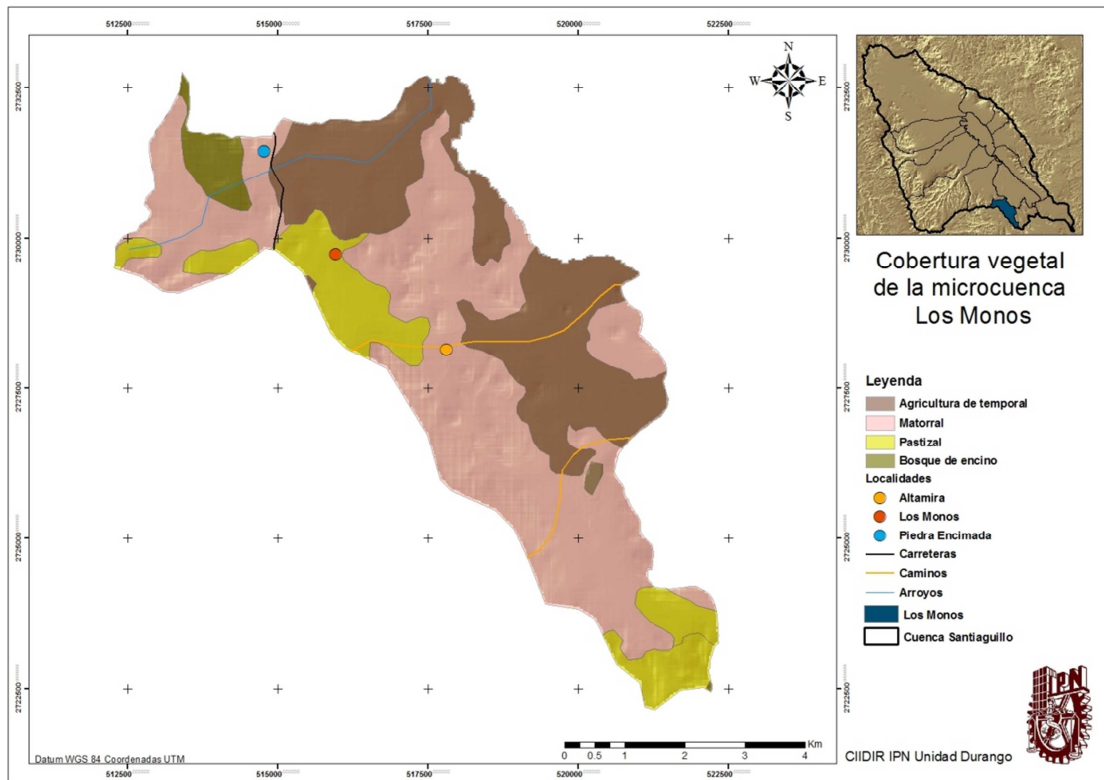


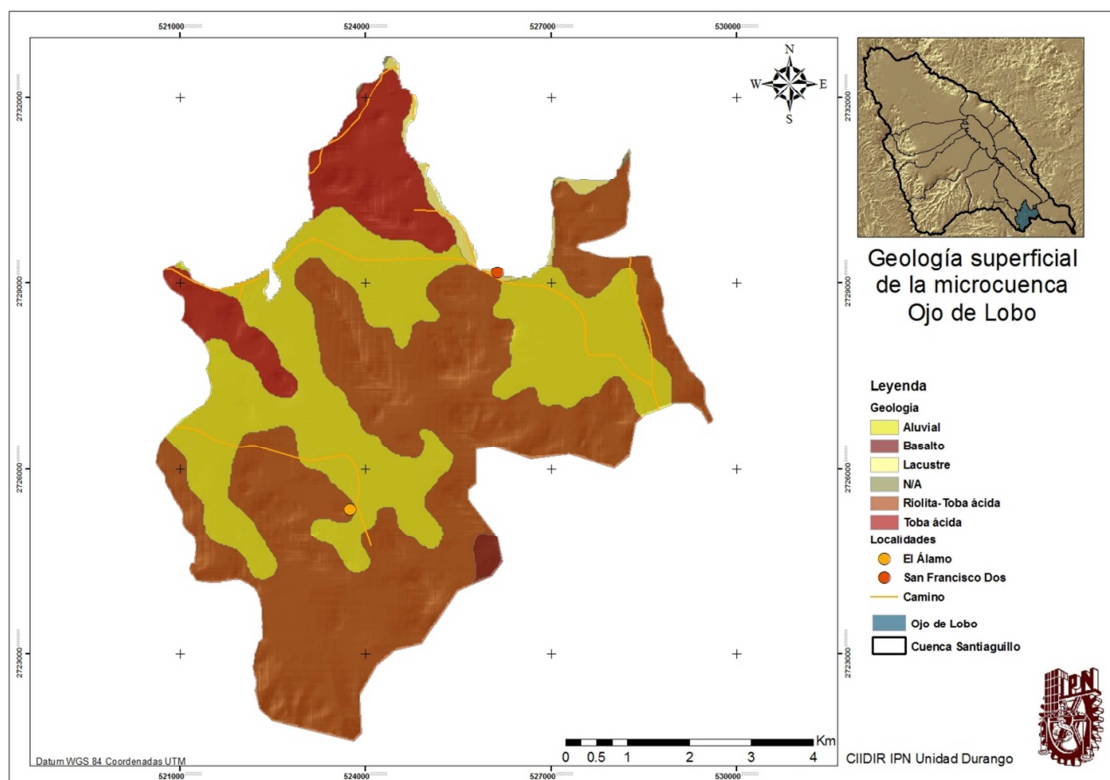
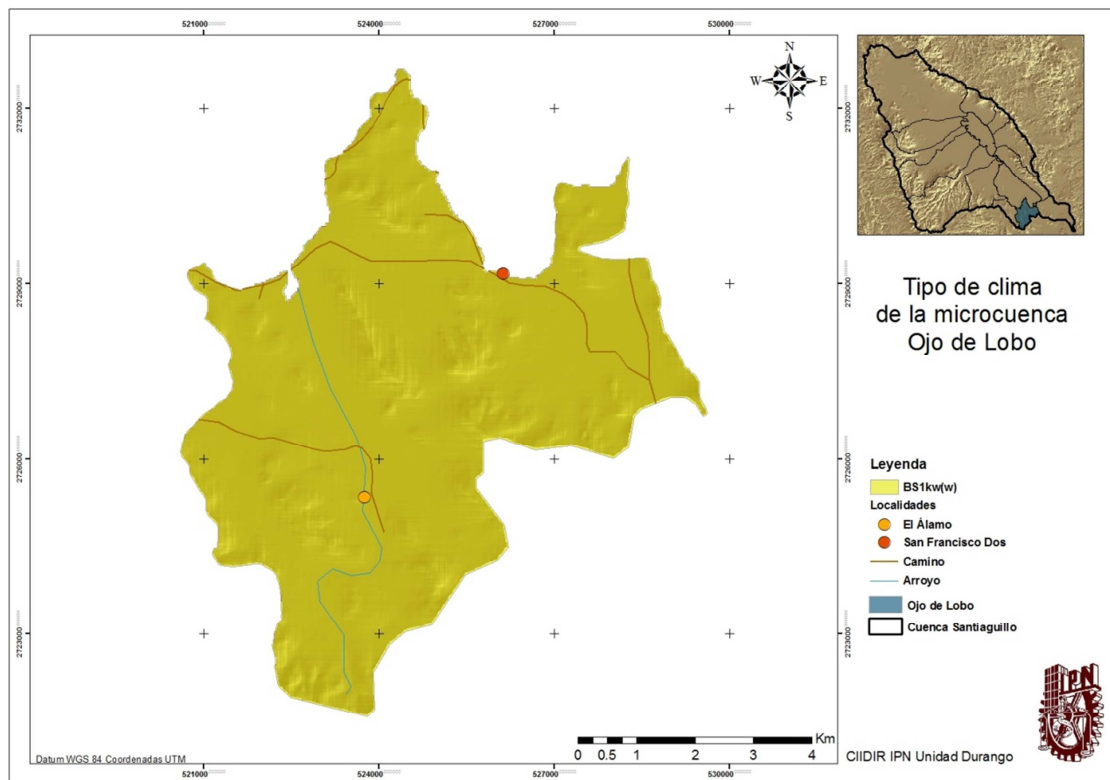


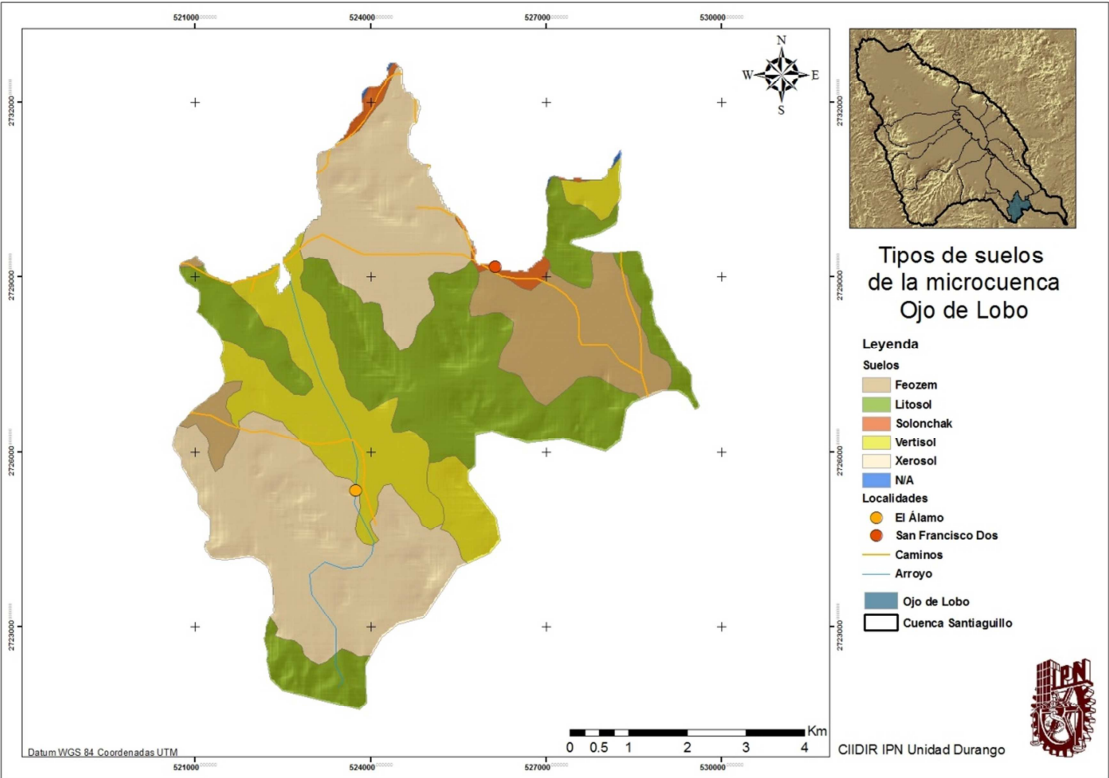
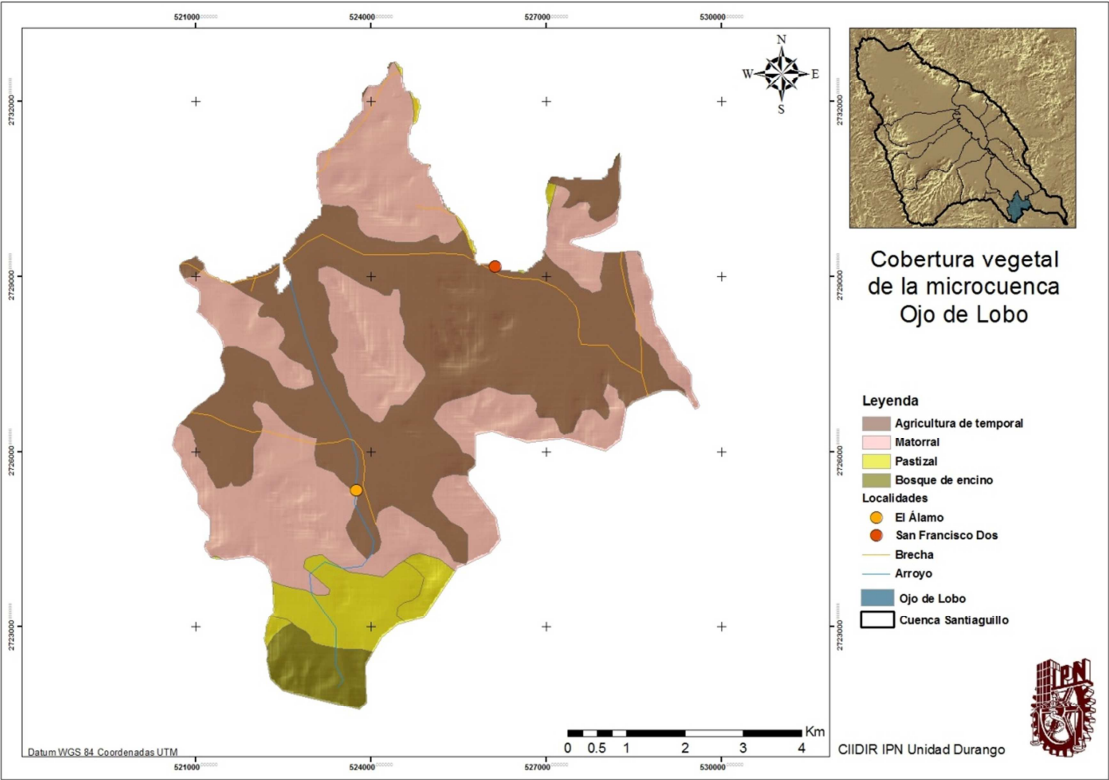


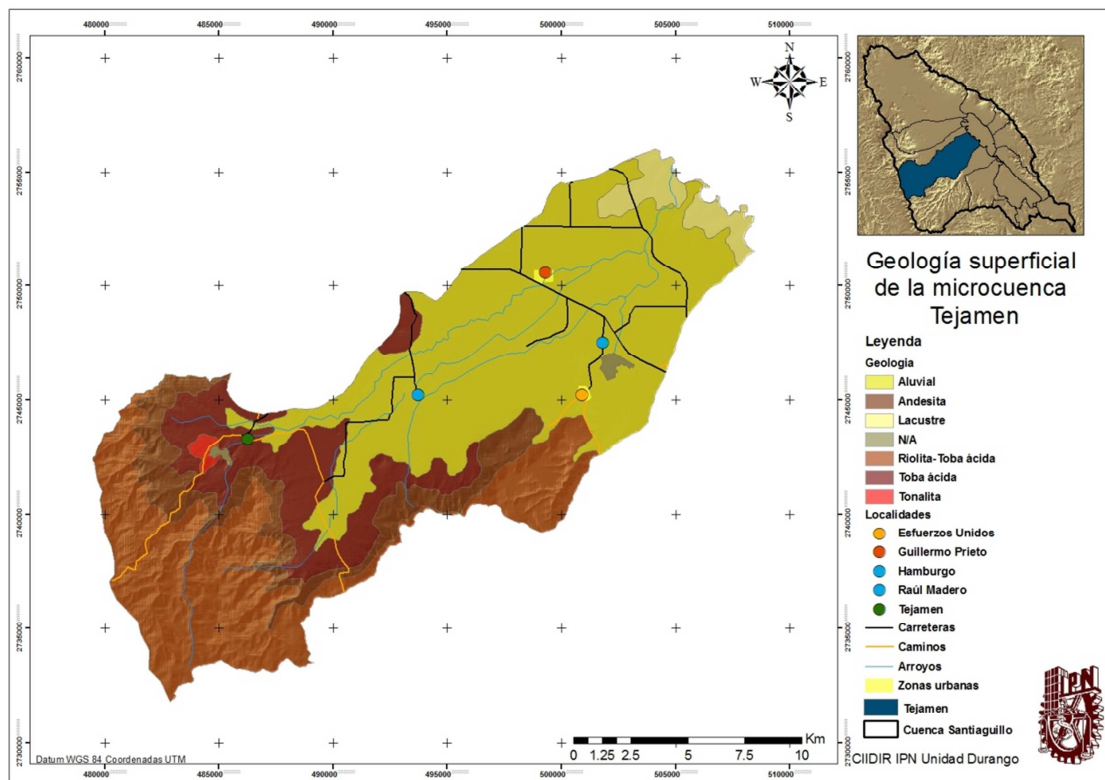
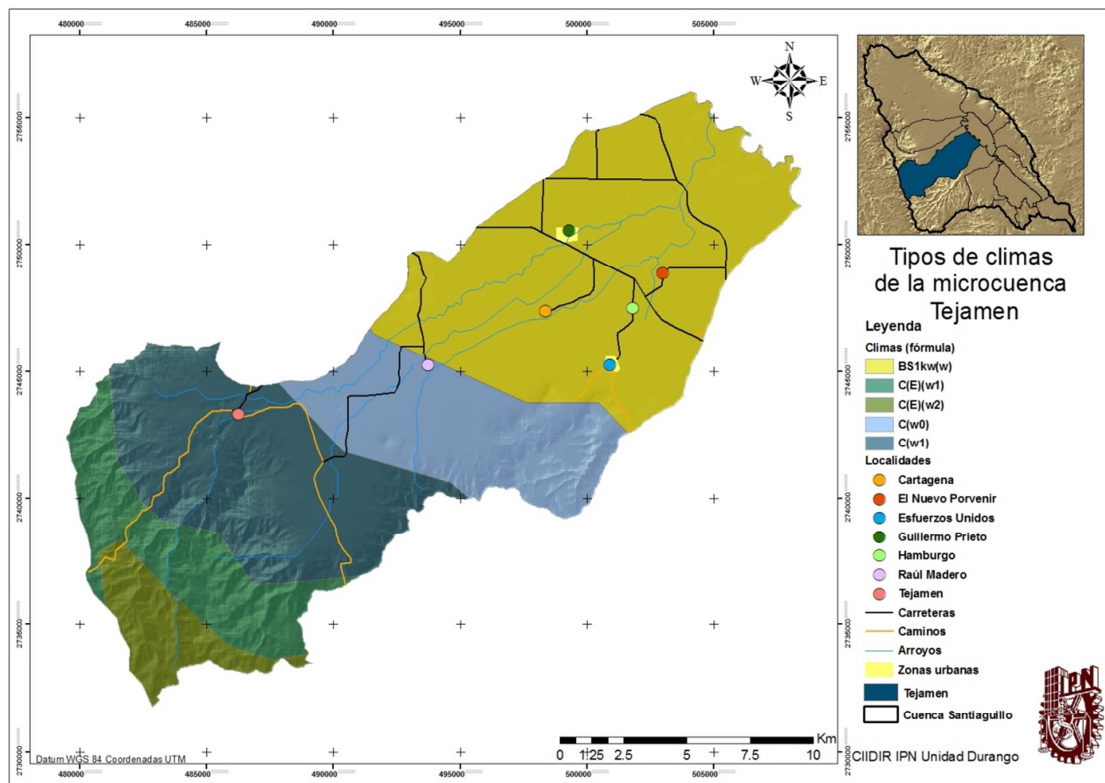


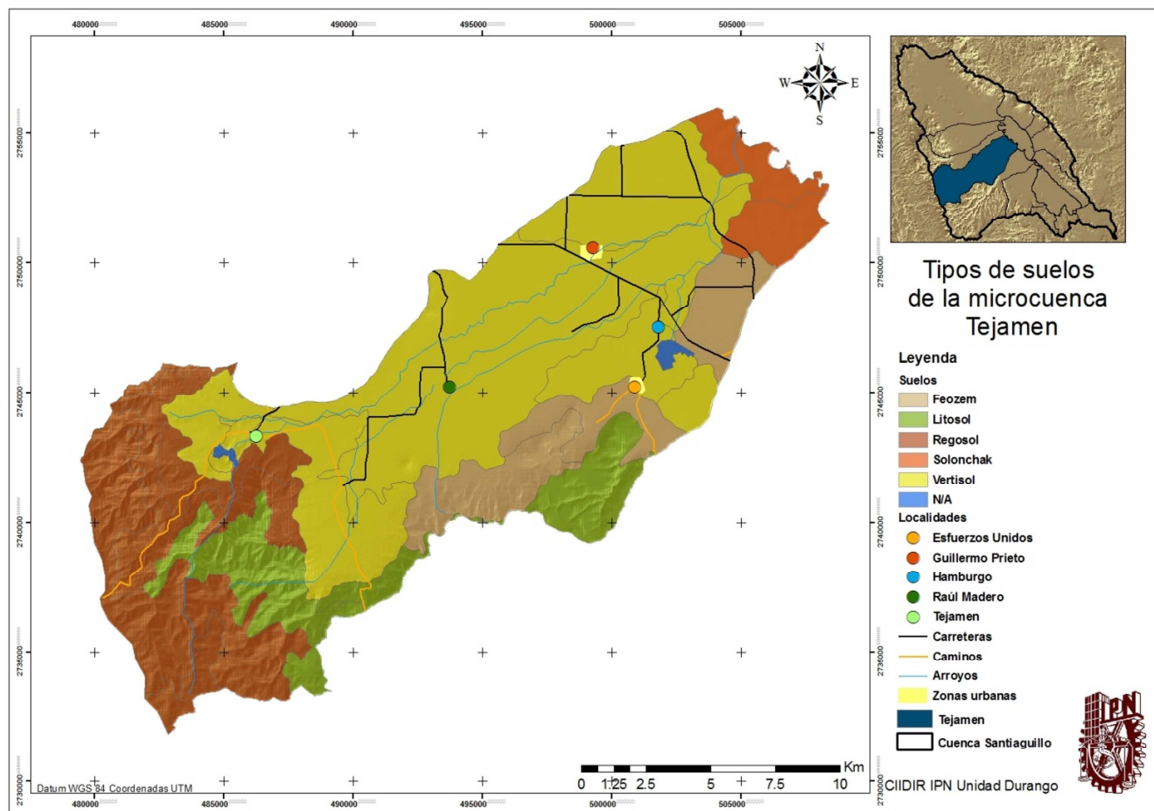
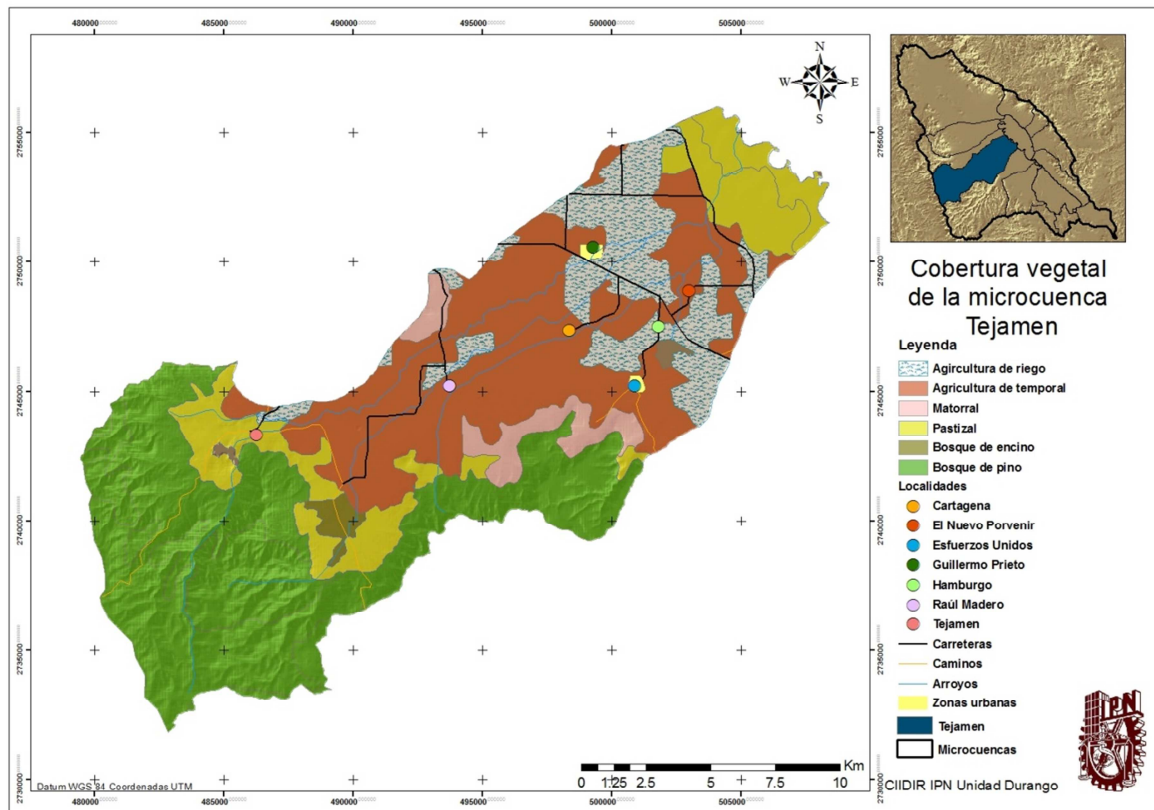


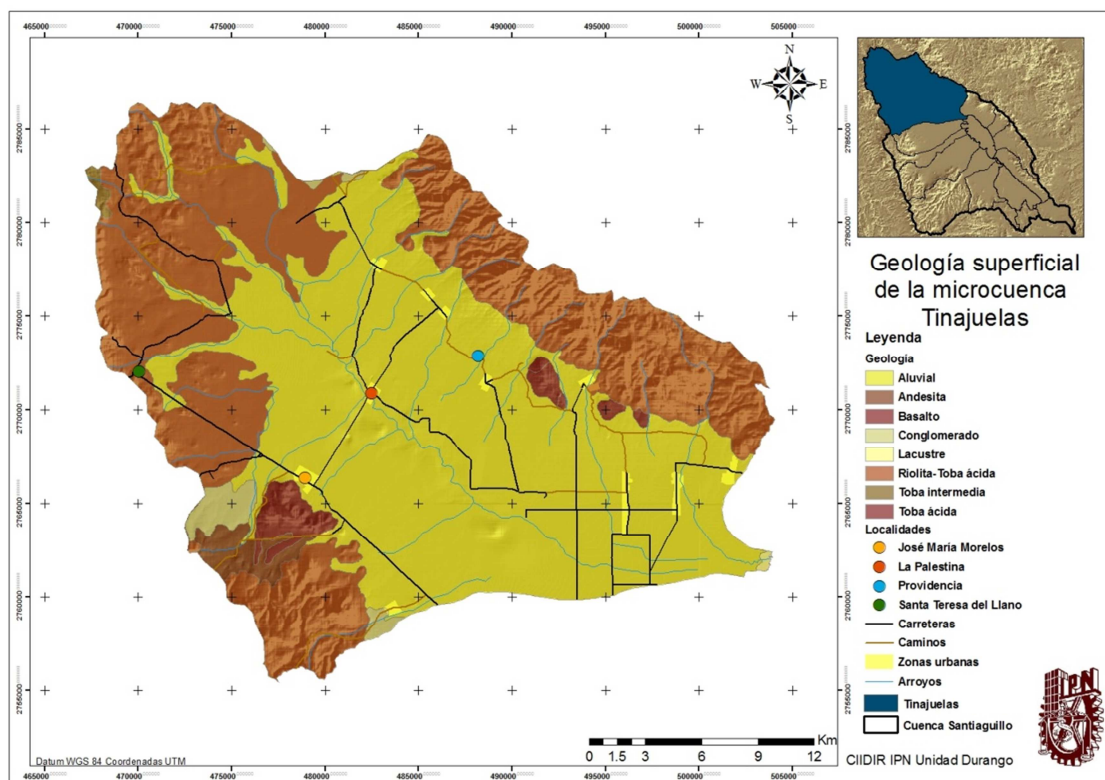
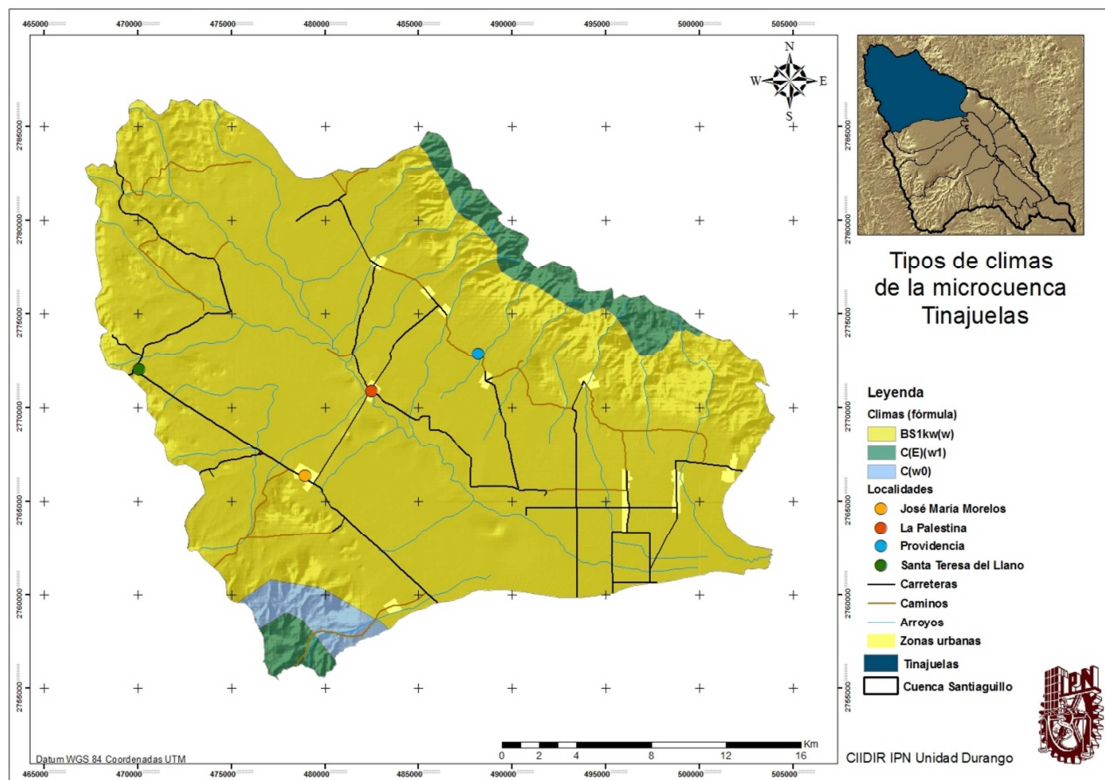


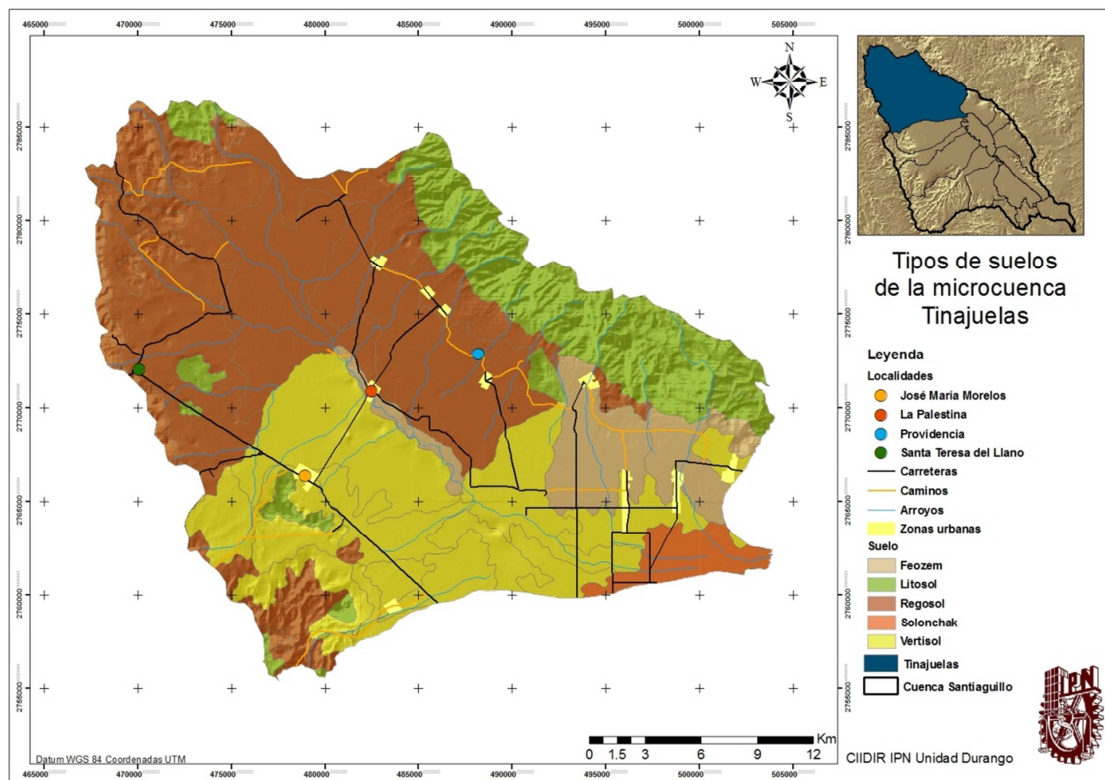
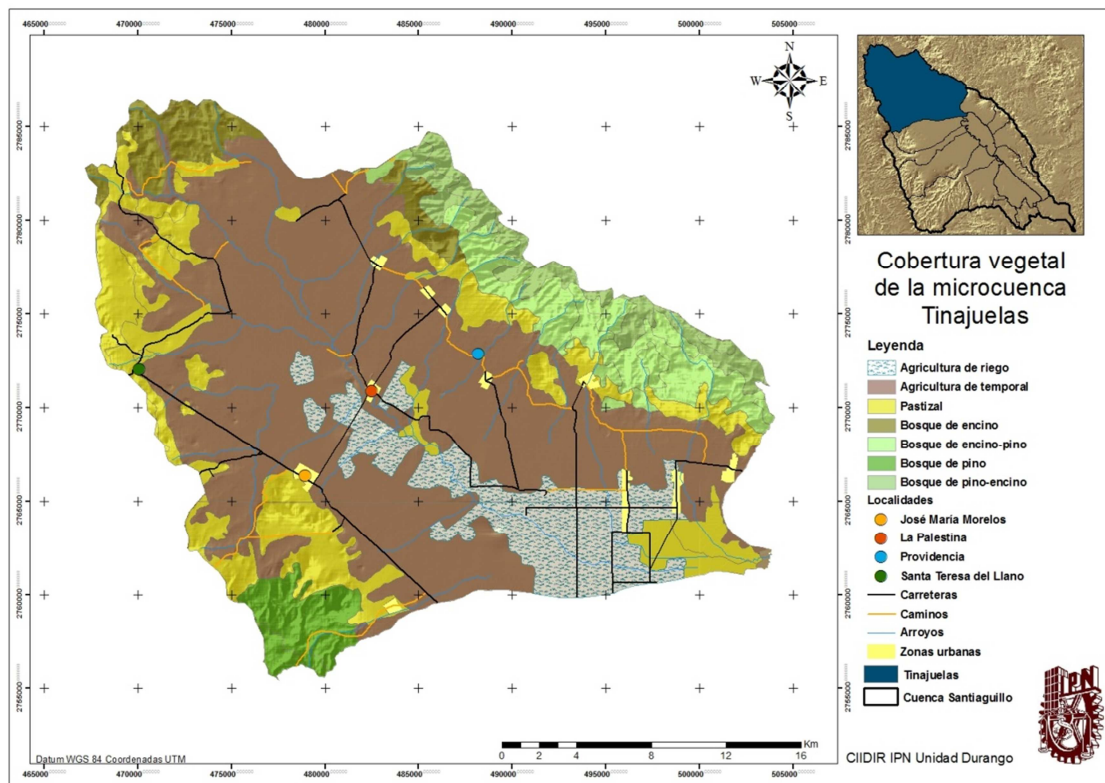


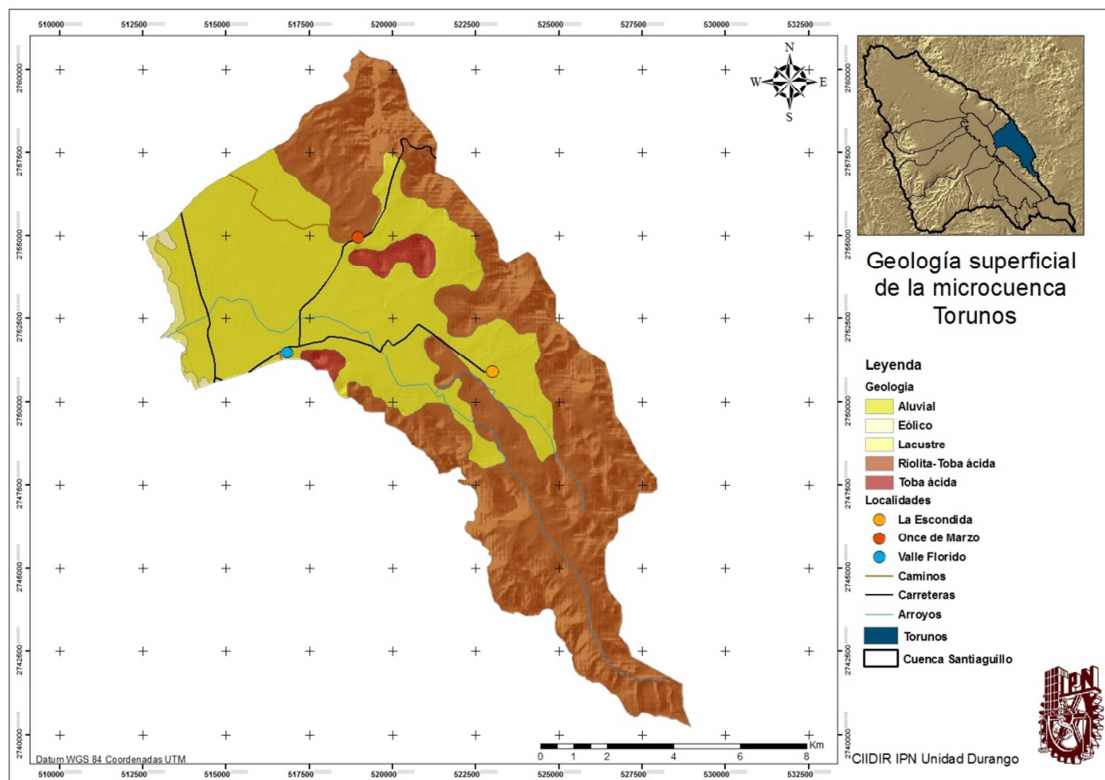
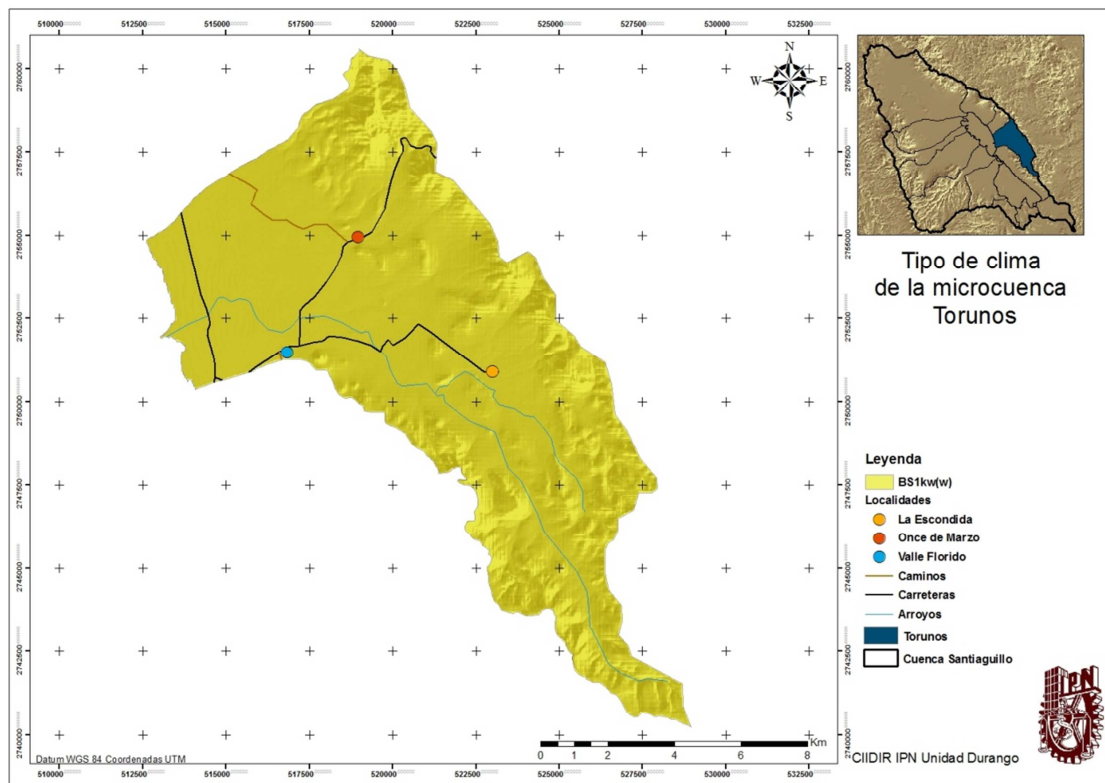


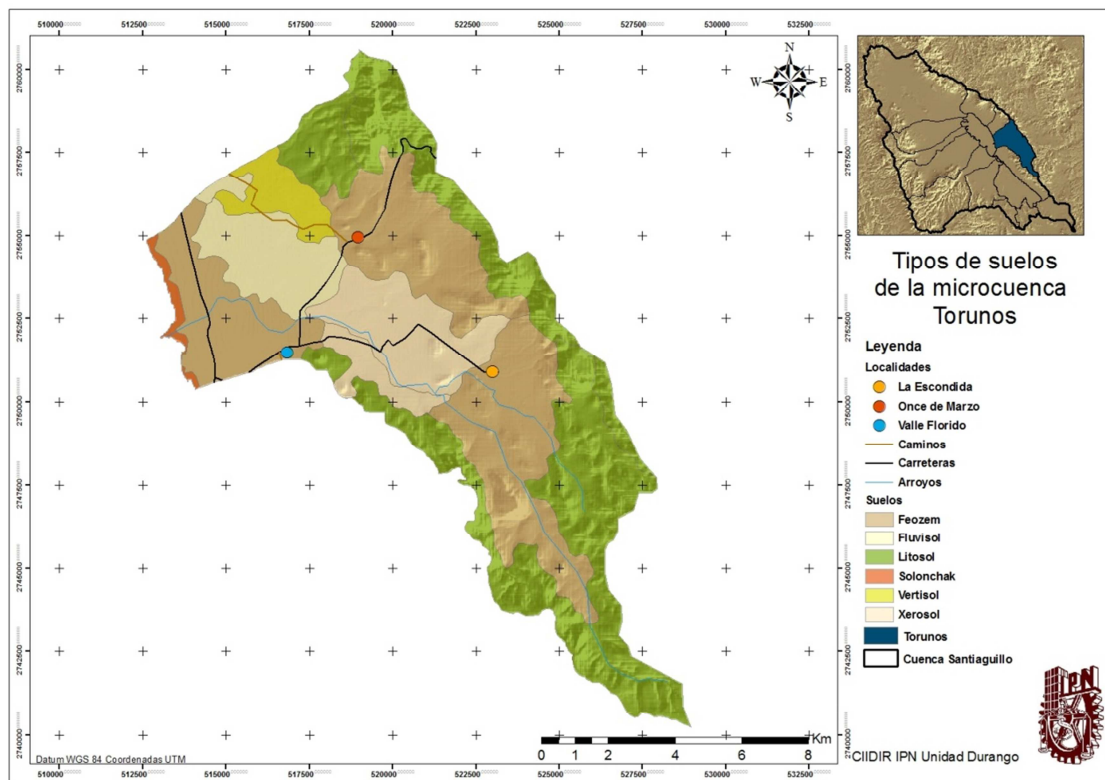
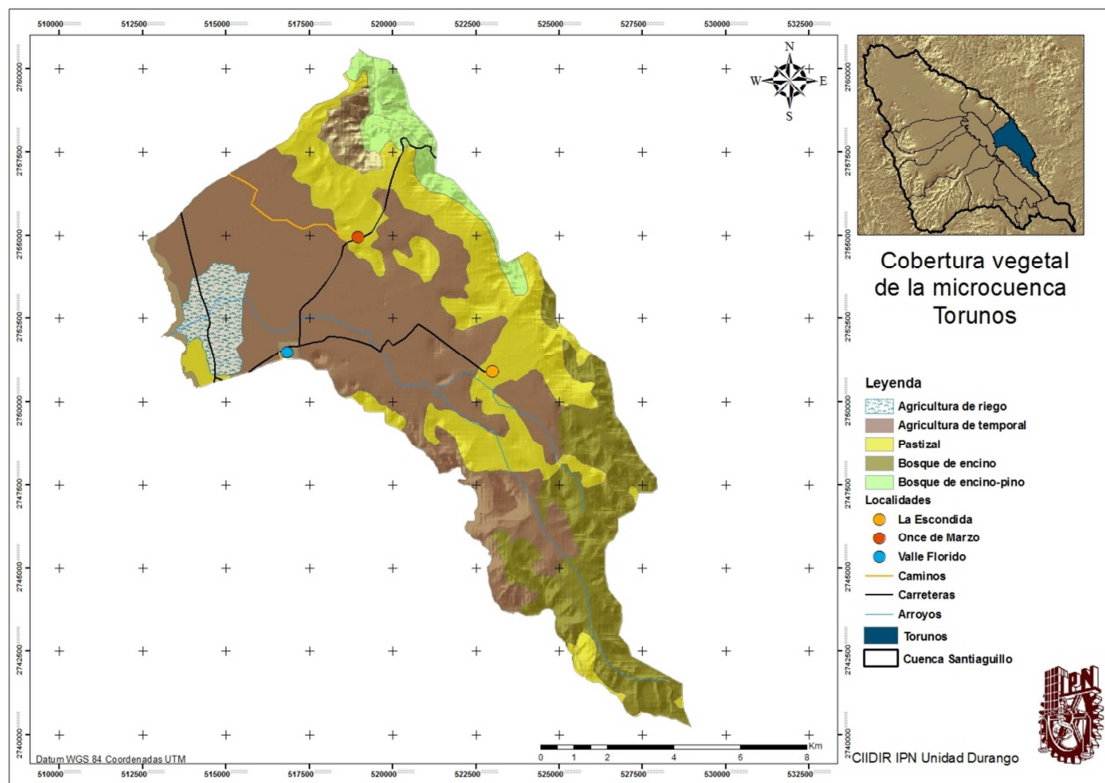


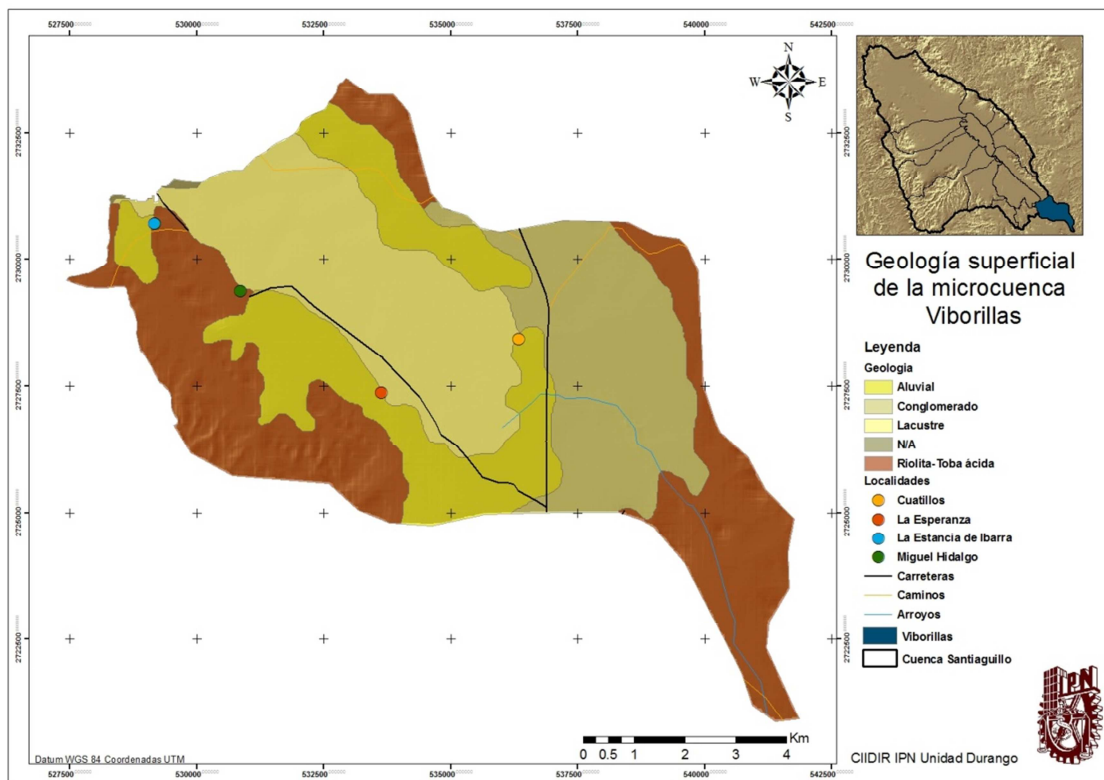
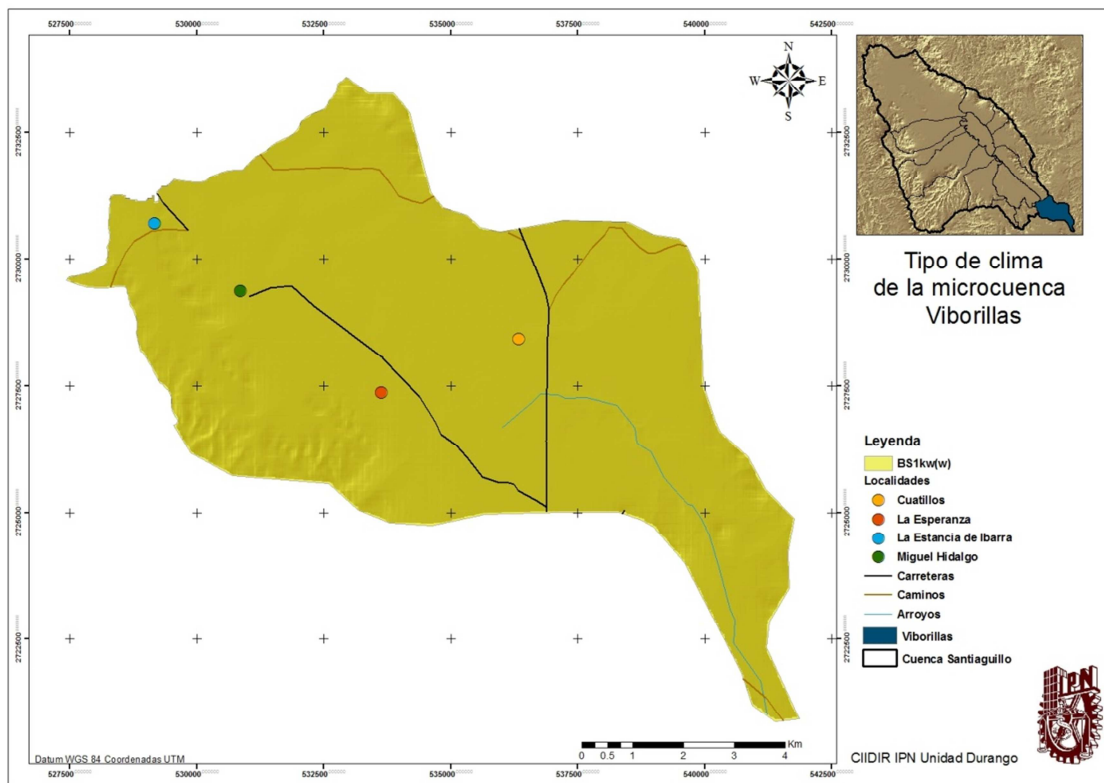


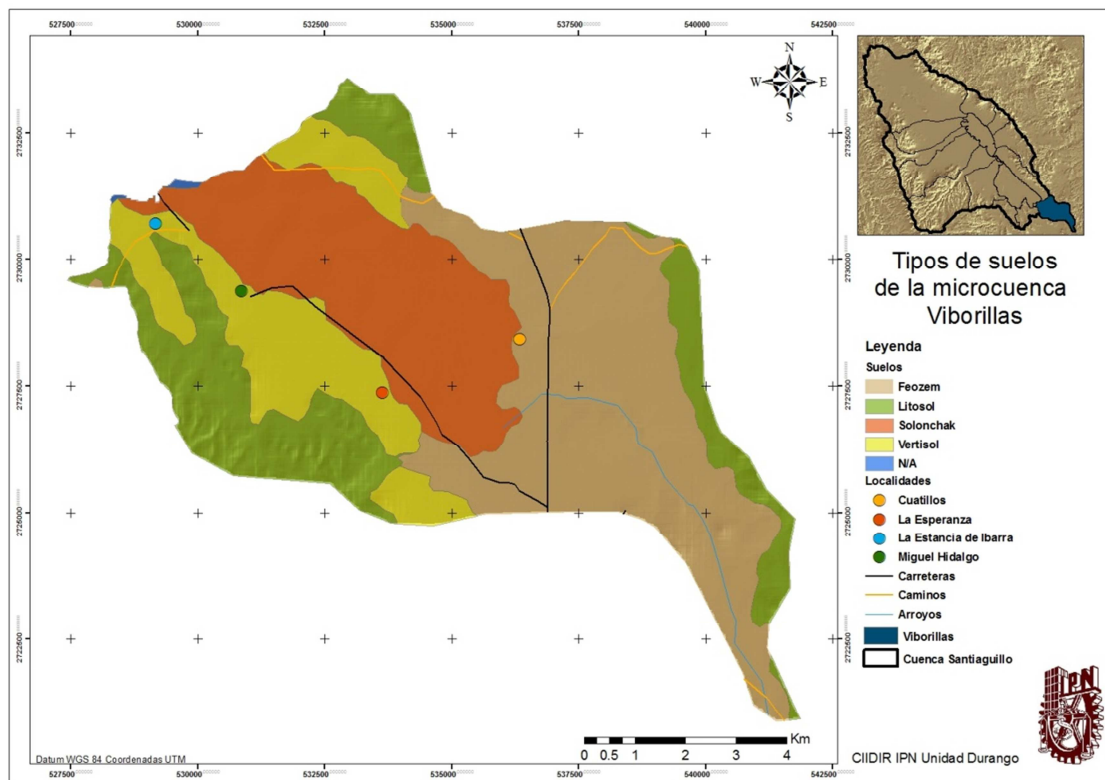
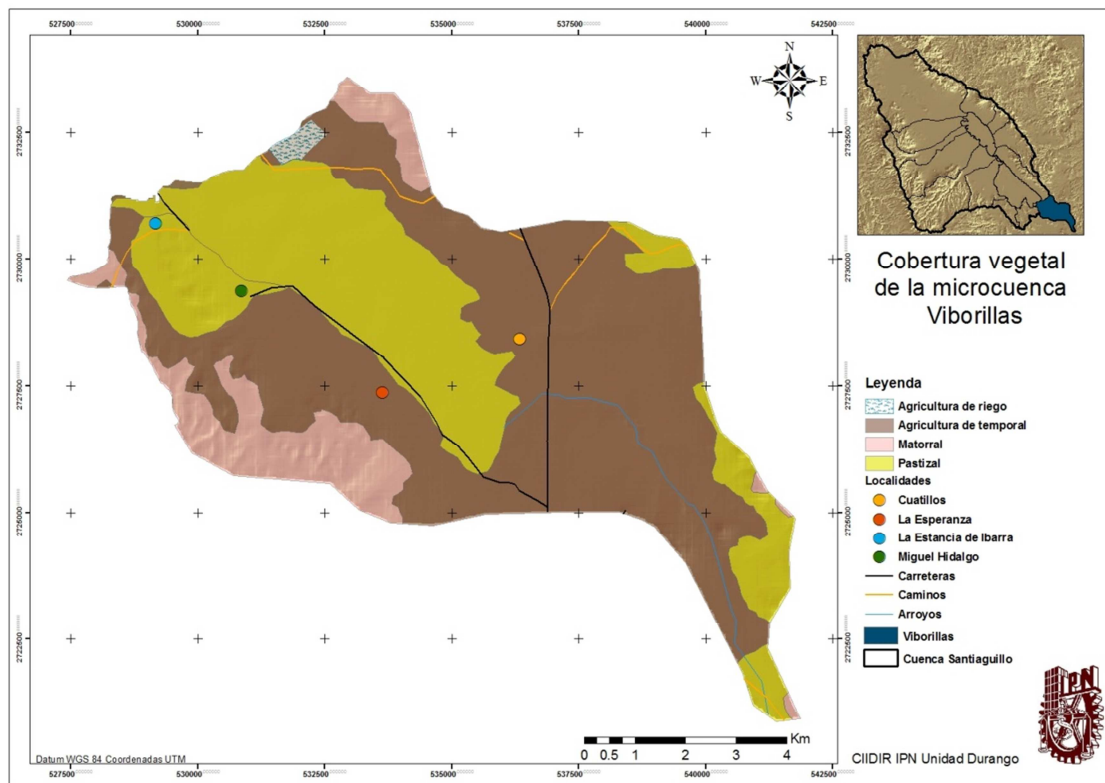












Toda la información presentada fue proporcionada por el INEGI

Anexo 2 Mapas de disponibilidad actual per cápita y para el desarrollo, tanto superficial y subterráneo.

Superficial

