



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Química
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

**Estudio Comparativo de la Dinámica Ecosistémica de tres Cauces
Periurbanos de la Ciudad de Querétaro**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestra en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Leticia Felix Cuencas

Dirigida por:

Dr. Raúl Francisco Pineda López

Dr. Ricardo Pérez Munguía

Santiago de Querétaro, Qro. Noviembre 2011



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Química
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Estudio Comparativo de la Dinámica Ecosistémica de tres Cauces Periurbanos de la Ciudad de Querétaro

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestra en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Leticia Felix Cuencas

Dirigido por:

Dr. Raúl Francisco Pineda López

Co-Dirigida por:

Dr. Ricardo Pérez Munguia

SINODALES

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Presidente

Dr. Ricardo Pérez Munguia
Secretario

M. en C. Patricia Roitman Genoud
Vocal

Dr. Oscar Ricardo García Rubio
Suplente

Dra. Perla Edith Alonso Eguía Lis
Suplente

Biol. Jaime Ángeles Ángeles
Director de la Facultad de Ciencias Naturales

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Firma

Firma

Firma

Firma

Campus UAQ-Aeropuerto
Querétaro, Qro.
Noviembre 2011
México

DEDICATORIA

*A mi familia, esposo, hijas, padres, hermana y cuñado,
por su amor y apoyo incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

A la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, a la cual debo mi formación, a mis profesores y compañeros por compartir sus conocimientos y experiencias, dándome una nueva perspectiva de comprender y percibir las cosas.

Al Dr. Raúl Pineda, por el apoyo y confianza para el desarrollo y terminación d la Maestría y el proyecto de Tesis.

A mis asesores Ricardo Pérez, Paty Roitman, Oscar y Perla por su tiempo y enseñanzas y consejos.

A todos mis compañeros de la Maestría por su grata convivencia, apoyo, buenos momentos y su aporte en los conocimientos adquiridos durante todo este proceso. Elda, Luis y Nydia gracias por todo.

Muy en particular quiero agradecer a aquellos compañeros y amigos quienes me ayudaron incondicionalmente durante la realización de este estudio: Chiva por el apoyo con tus habilidades en todo, Jess aunque no sea bióloga por tu acompañamiento en las salidas a campo y demás ayuda; gracias a las dos sobre todo por aguantarme y nunca dejarme sola. Ulises por tu apoyo y tiempo con la identificación de los bichos, Javier por tu apoyo con información.

A mi familia, papá, mamá, Lulú, Paco, gracias por todo. Sin su apoyo no hubiera sido posible terminar con este estudio.

A mis hijas Ana Paula y Fernanda, por su amor y ser mi mayor motivación para concluir un logro académico más.

Finalmente a mi esposo, Jesús Ruiz, por su amor, ayuda, buenos consejos y por ser parte de mi vida. Te amo y gracias.

Gracias

RESUMEN

En la actualidad, la gran mayoría de las cuencas del planeta se encuentran bajo la influencia humana, causando alteración en los ecosistemas y sistemas fluviales, lo que ha llevado a la urgente necesidad de elaborar estudios que nos indiquen la situación actual y alteraciones a que han sido sometidos estos sistemas, y a reconsiderar modelos para el manejo adecuado de los mismos, con la finalidad de mantener los servicios ecosistémicos y mejorar el estado y funcionamiento de las cuencas. La ciudad de Querétaro, debido a su dinamismo socioeconómico, ha tenido como consecuencia un crecimiento poblacional acelerado, generando procesos de transformación en sus zonas periurbanas, provocando severos deterioros de los ecosistemas, incremento de riesgos naturales y, por lo tanto alteraciones en la estructura y funcionamiento de las cuencas. En este contexto, se llevó a cabo la evaluación del estado actual y funcionamiento geomorfológico de tres unidades de escurrimiento periurbanos pertenecientes al Área Natural Protegida Zona Occidental de Microcuencas. Con el presente estudio se generó información de las características físicas, biológicas y sociales de los cauces principales de tres microcuencas a través del conocimiento de la morfometría de los arroyos, el estado de conservación o deterioro y la calidad ambiental visual, asimismo, se hizo un análisis de la estructura y composición de la vegetación riparia y la integridad biótica de macroinvertebrados acuáticos. A partir de estas evaluaciones, se llevó a cabo la validación social de los resultados y, basados en las prácticas, manejos y necesidades de los habitantes que tienen influencia directa sobre los arroyos en estudio, se elaboró en coordinación con ellos una propuesta de manejo para cada unidad de escurrimiento. El entendimiento de las condiciones de las unidades de escurrimiento de las tres microcuencas brindó al presente estudio una visión clara, no sólo de las características geomorfológicas y biológicas, problemáticas y potencialidades que tienen las microcuencas, sino también de los retos y las complejas interacciones que existen en una sociedad en proceso de transformación, así como sus vínculos con el territorio y el uso y manejo de sus recursos naturales.

(Palabras clave: arroyos, plan de manejo, diagnóstico comparativo, conservación y manejo sustentable)

ABSTRACT

The vast majority of the world watersheds are under human influence, that causes high levels of disturbance in ecosystems and rivers, which has led to the urgent need for studies that indicate the current situation and changes in those systems, to reconsider the appropriate management in order to maintain ecosystem services and enhance the status and functioning of watersheds. The city of Querétaro, due to their socio-economic dynamism, has led to rapid population growth, resulting in their transformation processes in peri-urban areas, causing severe damage to ecosystems, increased natural hazards and therefore changes in the structure and functioning of watersheds. In this context, the assessment of the status and operations of three geomorphologic units belonging to the peri-urban stream Protected Natural Area Zona Occidental de Microcuencas was made. The present thesis, obtain information on the physical, biological and social features of three main channels of micro-watersheds through the morphometric analysis of the streams, their conservation condition and visual environmental quality index. It was also performed an analysis of the structure and composition of riparian vegetation and an integrity biotic index based on macro-invertebrates. All results that obtained were socially validated and, based on interaction with micro-watershed inhabitants, a proposal on best management practices was developed to improve conditions of the stream channels and biotic integrity. This thesis improve the understanding of the ecological condition of hydrological units under study, provided a clear view not only of geomorphological and biological characteristics, problems and watershed potential, but also about the challenges and complex interactions in a society in transition between urban and rural environments

(Keywords: streams, management plan, benchmarking analysis, conservation and sustainable management)

CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
III	ANTECEDENTES.....	4
IV	OBJETIVOS.....	13
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2	OBJETIVOS PARTICULARES.....	13
V	ÁREA DE ESTUDIO.....	13
VI	METODOLOGÍA.....	15
6.1	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA FLUVIAL.....	15
6.1.1	Determinación del tipo de cauce o Estado Más Probable (EMP) y morfometría de los cauces.....	15
6.1.2	Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV).....	16
6.2	CARACTERIZACIÓN DE VEGETACIÓN RIPARIA Y MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS.....	18
6.2.1	Estructura y composición de vegetación riparia.....	18
6.2.2	Índice regional de integridad biótica.....	21
6.3	VALIDACIÓN SOCIAL DE LA INFORMACIÓN.....	23
VII	RESULTADOS.....	28
7.1	MICROCUENCA EL NABO.....	28
7.1.1	Descripción.....	28
7.1.2	Diagnóstico físico del sistema fluvial.....	31
7.1.3	Caracterización de vegetación riparia y determinación del Índice de Integridad Biótica basada en asociaciones de Macroinvertebrados.....	42
7.1.4	Validación social de la información.....	45
7.2	MICROCUENCA SANTA MARÍA DEL ZAPOTE.....	52
7.2.1	Descripción.....	52
7.2.2	Diagnóstico físico del sistema fluvial.....	55

7.2.3	Caracterización de vegetación riparia y determinación del Índice de Integridad Biótica basada en asociaciones de Macroinvertebrados.....	65
7.2.4	Validación social de la información.....	69
7.3	MICROCUENCA BUENAVISTA.....	75
7.3.1	Descripción.....	75
7.3.2	Diagnóstico físico del sistema fluvial.....	79
7.3.3	Caracterización de vegetación riparia y determinación del Índice de Integridad Biótica basada en asociaciones de Macroinvertebrados.....	88
7.3.4	Validación social de la información.....	92
7.4	PROPUESTAS DE MANEJO DE LOS CAUCES DE LAS TRES MICROCUENCAS.....	96
7.4.1	Microcuenca El Nabo.....	97
7.4.2	Microcuenca Santa María del Zapote.....	98
7.4.3	Microcuenca Buenavista.....	101
VIII	DISCUSIÓN.....	103
IX	CONCLUSIONES.....	111
X	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparativo de la superficie de Microcuencas dentro de la ZOM.....	14
Tabla 2.	Resultados esperados de la aplicación del Índice de Calidad Ambiental Visual.....	17
Tabla 3.	Relación de los valores del índice de diversidad de Shannon y Wiener con la contaminación del agua (Wilhm y Dorris, 1968 en Dall, 1995)	19
Tabla 4.	Variables de respuesta al ambiente para el IIBAMA.....	22
Tabla 5.	Valores de las categorías de las variables para calcular el IIBAMA.	22
Tabla 6.	Categorías del Índice de Integridad Biótica (IIBAMA).....	23
Tabla 7.	Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 1, Microcuenca El Nabo.	32
Tabla 8.	Calidad Ambiental Visual de la Estación 1, Microcuenca El Nabo.	35
Tabla 9.	Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 2, Microcuenca El Nabo.	36
Tabla 10.	Calidad Ambiental Visual de la Estación 2, Microcuenca El Nabo.	38
Tabla 11.	Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 3, Microcuenca El Nabo.	39
Tabla 12.	Calidad Ambiental Visual de la Estación 3, Microcuenca El Nabo.	41

Tabla 13. Valor de importancia de las especies arbóreas de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca El Nabo.	42
Tabla 14. Índices de riqueza y diversidad de la vegetación riparia de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca El Nabo.	44
Tabla 15. Resultados del Índice de Integridad Biótica basado en Asociaciones de especies de Macroinvertebrados Acuáticos.	45
Tabla 16. Parámetros químicos de las zonas de muestreo de macroinvertebrados acuáticos.	45
Tabla 17. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 1, Microcuenca Santa María El Zapote.	55
Tabla 18. Calidad Ambiental Visual de la Estación 1, Microcuenca Santa María El Zapote.	59
Tabla 19. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 2, Microcuenca Santa María del Zapote.	59
Tabla 20. Calidad Ambiental Visual de la Estación 2, Microcuenca Santa María del Zapote.	61
Tabla 21. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 3, Microcuenca Santa María del Zapote.	62
Tabla 22. Calidad Ambiental Visual de la Estación 3, Microcuenca Santa María del Zapote.	65
Tabla 23. Valor de importancia de las especies arbóreas de la Microcuenca Santa María El Zapote.	65
Tabla 24. Índices de riqueza y diversidad de la vegetación riparia de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca Santa María del Zapote.	67
Tabla 25. Resultados del Índice de Integridad Biótica basado en Asociaciones de especies de Macroinvertebrados Acuáticos.	68
Tabla 26. Parámetros químicos de las zonas de muestreo de macroinvertebrados acuáticos.	69
Tabla 27. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 1, Microcuenca Buenavista.	79
Tabla 28. Calidad Ambiental Visual de la Estación 1, Microcuenca Buenavista.	81
Tabla 29. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 2, Microcuenca Buenavista.	82
Tabla 30. Calidad Ambiental Visual de la Estación 2, Microcuenca Buenavista.	85
Tabla 31. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 3, Microcuenca Buenavista.	85
Tabla 32. Calidad Ambiental Visual de la Estación 3, Microcuenca Buenavista.	88
Tabla 33. Valor de importancia de las especies arbóreas de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca Buenavista.	88
Tabla 34. Índices riqueza y diversidad de la vegetación riparia de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca Buenavista.	90
Tabla 35. Resultados del Índice de Integridad Biótica basado en Asociaciones de especies de Macroinvertebrados Acuáticos.	92
Tabla 36. Parámetros químicos de las zonas de muestreo de macroinvertebrados acuáticos.	92
Tabla 37. Cuadro comparativo de las características morfológicas, físicas y bióticas de los sitios de muestreo de las tres unidades de escurrimiento.	105
Tabla 38. Resultados del análisis de Beta Diversidad para las especies de vegetación riparia de los sitios de muestreo en las tres microcuencas.	108
Tabla 39. Cuadro resumen comparativo de los resultados de las entrevistas grupales semiestructuradas para la validación de datos y obtención de información.	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los tipos de cauce conforme a su posición topográfica y al relieve del paisaje (tomado de Rosgen, 1996).	8
Figura 2. Zona de estudio.....	14
Figura 3. Cuadrante Whittaker modificado. (A) Los números señalados con una bandera en la periferia del cuadrante son aquellos que se marcaron en la cuerda ocupada en el trazo del cuadrante principal.	18
Figura 4. Hipsometría de la microcuenca El Nabo	29
Figura 5. Puntos de muestreo (Estaciones) de la Microcuenca El Nabo.	31
Figura 6. Vista del arroyo La Ladera en la Microcuenca El Nabo.....	33
Figura 7. Sistema de rabión-estaque en el arroyo La Ladera de la Microcuenca El Nabo.	33
Figura 8. Perfil e imagen del arroyo La Ladera (Estación 1).....	34
Figura 9. Tipo de partículas presentes en la estación 1, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	34
Figura 10. Imagen de terraza filtrante y protección vegetal de las riberas en la parte alta del arroyo La Ladera, Microcuenca El Nabo.....	35
Figura 11. Imagen de estanque característico en todo el arroyo La Ladera (Estación 2).....	36
Figura 12. Perfil e imagen del arroyo La Ladera (Estación 2).....	37
Figura 13. Tipo de partículas presentes en la estación 2, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	37
Figura 14. Imagen de sustrato disponible para la epifauna y vegetación presente en las laderas del arroyo La Ladera, Estación 2, Microcuenca El Nabo.....	38
Figura 15. Perfil e imagen del arroyo Las Tortugas (Estación 3), Microcuenca El Nabo.	40
Figura 16. Tipo de partículas presentes en la estación 3, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	40
Figura 17. Imagen de estanque y bosque de <i>Lysiloma microphyllum</i> en arroyo Las Tortugas y laderas (Estación 3), Microcuenca El Nabo.....	41
Figura 18. Vegetación representativa de la Microcuenca El Nabo en donde se pueden observar las especies <i>Myrtillocactus geometrizans</i> , <i>Acacia schaffneri</i> , <i>Zaluzania augusta</i> , <i>Dodonaea viscosa</i> e <i>Ipomoea murucoides</i>	43
Figura 19. Macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de muestreo. Familias de izquierda a derecha: Baetidae, Saldidae, Macrovelidae, Curculionidae, Hydrochidae.....	44
Figura 20. Don Carmen, acompañante e informante clave de la Localidad Mompaní.	47
Figura 21. Material de apoyo para la reunión de validación con habitantes de las localidades San Miguelito y Mompaní de la Microcuenca El Nabo.....	48
Figura 22. Explicación de resultados obtenidos a habitantes de las localidades San Miguelito y Mompaní de la Microcuenca El Nabo.	49
Figura 23. Fotografías del bordo El Nabo y vista del arroyo La Presita.	50
Figura 24. Curva hipsométrica de la Microcuenca Santa María del Zapote.	52
Figura 25. Puntos de muestreo (Estaciones) de la Microcuenca Santa María del Zapote.	55
Figura 26. Imagen arroyo La Víbora, Microcuenca Santa María del Zapote.	56

Figura 27. Presencia de roca madre y pequeña charca en el arroyo La Víbora, Microcuenca Santa María El Zapote.	57
Figura 28. Perfil e imagen del arroyo La Víbora.	57
Figura 29. Tipo de partículas presentes en la estación 1, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	58
Figura 30. Imagen de ausencia de rápidos y sustrato disponible para la epifauna pobre.	59
Figura 31. Imagen de estanque en el arroyo La Estancia.	60
Figura 32. Perfil e imagen del arroyo La Estancia (Estación 2).	60
Figura 33. Tipo de partículas presentes en la estación 2, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	61
Figura 34. Perfil e imagen del arroyo La Estancia (Estación 3).	63
Figura 35. Tipo de partículas presentes en la estación 3, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	64
Figura 36. Vegetación degradada en las laderas del arroyo La Estancia.	64
Figura 37. Vegetación con mayor valor de importancia para la Microcuenca Santa María de Zapote. Izquierda: <i>Prosopis laevigata</i> , derecha: <i>Acacia schaffneri</i> , abajo: <i>Aloysia gratissima</i>	67
Figura 38. Macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de muestreo. Familias de izquierda a derecha: Corixidae, Chironomidae, Halipidae, Libellulidae, Physidae.	68
Figura 39. Material de apoyo para la reunión de validación con habitantes de la Localidad Santa María del Zapote de la Microcuenca Santa María del Zapote.	71
Figura 40. Explicación de resultados obtenidos a habitantes de la Localidad Santa María del Zapote.	72
Figura 41. Presa del Zapote.	73
Figura 42. Curva hipsométrica de la Microcuenca Buenavista.	76
Figura 43. Puntos de muestreo (Estaciones) de la Microcuenca Buenavista.	79
Figura 44. Pendiente y desviación del arroyo La Muerta, Microcuenca Buenavista.	80
Figura 45. Perfil e imagen del arroyo La Muerta (Estación 1).	81
Figura 46. Tipo de partículas presentes en la estación 1, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	81
Figura 47. Imagen panorámica de cauce La Fría, Microcuenca Buenavista.	83
Figura 48. Perfil e imagen del arroyo La Fría (Estación 2).	84
Figura 49. Tipo de partículas presentes en la estación 2, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	84
Figura 50. Vegetación presente en las laderas del arroyo La Fría (Estación 2).	85
Figura 51. Perfil e imagen del arroyo Adjuntas (Estación 3).	86
Figura 52. Tipo de partículas presentes en la estación 3, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo	87
Figura 53. Imagen del arroyo Las Adjuntas cercano ala Localidad La Carbonera, Microcuenca Buenavista.	87
Figura 54. Especies con mayor valor de importancia para la Microcuenca Buenavista. Izquierda: <i>Dodonaea viscosa</i> , centro: <i>Ipomoea murucoides</i> y derecha: <i>Bursera fagaroides</i>	90
Figura 55. Vegetación característica de la Microcuenca Buenavista.	91
Figura 56. Macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de muestreo. Familias de izquierda a derecha: Velidae, Hydrophillidae, Dysticidae, Ceratopogonidade	91
Figura 57. Material de apoyo para la reunión de validación con habitantes de la localidad La Carbonera de la Microcuenca Buenavista.	94
Figura 58. Explicación de resultados obtenidos a habitantes de la Localidad La Carbonera.	94

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Querétaro, localizada en el Municipio con el mismo nombre, es la más dinámica en todo el territorio estatal, ya que en ella se concentran prácticamente todas las actividades económicas del Estado teniendo casi el 44% de los habitantes del Estado y con más del 45% de la Población Económicamente Activa (INEGI, 2010), lo cual es un rasgo que la distingue como en un fenómeno de concentración. Debido a lo antes señalado, la ciudad de Querétaro y su zona conurbada (ZCQ) han mostrado las consecuencias de un crecimiento horizontal explosivo, donde los paisajes naturales combinados con aquellos derivados de las actividades agrícolas y ganaderas tradicionales han sido sustituidos por zonas urbanas, es decir se ha pasado así a un ecosistema urbano dominante rodeado de ecosistemas fragmentados y una interfase agropecuaria, o por mencionarse de otra forma como zonas periurbanas (Municipio de Querétaro, 2009).

Aunado a lo antes señalado, y dada la ocupación por la ciudad de casi la totalidad del valle de Querétaro, la urbanización ha ido aumentando en la periferia del valle hacia el pie de monte, escalando los cerros circundantes e invadiendo parcialmente las barrancas que confluyen en el valle, y que constituyen un importante ecosistema por su alta biodiversidad y por albergar especies que señalan la importancia del estado como corredor de flora y fauna tropicales provenientes del sur y de tipo desértico originarias del norte del país. En la actualidad y considerando los límites de la zona metropolitana, los paisajes naturales muestran un alto grado de fragmentación, mismo que se reduce en algunas áreas bajo protección como El Tángano, algunas secciones de otras como el Parque Nacional El Cimatario y la más importante, en cuanto a su extensión se refiere, decretada como Zona Occidental de Microcuencas (PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ, 2008).

La Zona Occidental de Microcuencas (ZOM), en donde se encuentran los sitios de estudio del presente proyecto, es un área Natural Protegida Municipal la cual fue decretada en el año 2005 (Gaceta Municipal) con categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica. Es el Área Natural Protegida más grande del Municipio de Querétaro con 12,043 ha de superficie y tiene como propósito darle certidumbre a la protección y aprovechamiento de los recursos naturales, a través de diversos mecanismos, como es la gestión integral de microcuencas, que promueva el equilibrio del trinomio constituido por el desarrollo económico, la justicia social y el desarrollo sustentable, (Municipio de Querétaro, 2005).

Esta zona está amenazada por el crecimiento urbano de la ciudad de Querétaro, en especial por la parte sur (desde la comunidad de San Miguelito hasta la comunidad del Zapote). Asimismo, la vialidad primaria conocida como Libramiento Norponiente ha acelerado la urbanización hacia los límites orientales del área (Municipio de Querétaro, 2005).

La ZOM representa un área de gran importancia ambiental, debido a que es la zona alta de las microcuencas occidentales del municipio, son zonas captadoras de agua y de infiltración, es una superficie moderadora del clima de la ciudad de Querétaro, presenta vegetación en buen estado de conservación, son zonas de reservas de tierra agrícola, susceptibles de reconversión productiva y es un elemento de belleza escénica y paisajística del municipio, entre otros.

Debido a la cercanía con la zona urbana de Querétaro, estas zonas están bajo manejo urbano, lo que ha llevado al deterioro de los ecosistemas, ello demanda la necesidad del desarrollo de estudios que permitan conocer el estado de alteración y las causas que la han provocado. En específico, los trabajos relacionados con los sistemas ribereños y el recurso hídrico han adquirido gran importancia para la población por los servicios sociales y ambientales que ofertan. Pero, por otro lado, las inundaciones y avenidas, han sido un fenómeno periódico en lo que hoy es la Zona Conurbada de Querétaro. En la actualidad siguen representando un problema que llega a hacer crisis en ciertos años y áreas definidas de la misma. Las inundaciones han afectado las zonas agrícolas del Bajío Queretano, así como el poniente y suroeste de la zona urbana de Querétaro. El Gobierno del Estado de Querétaro menciona que este fenómeno de inundaciones se encuentra relacionado al contenido de humedad y a la saturación de los suelos alrededor de la ciudad; al nivel de cuerpos de agua y a otros factores no propiamente climáticos. Este problema se debe principalmente a deficiencias en el drenaje natural de las zonas bajas de la ciudad, así como a la insuficiencia de la infraestructura de drenes y drenaje subterráneo, que probablemente no se ha incrementado en paralelo al notable crecimiento de la mancha urbana y al incremento que se ha presentado en la intensidad de la precipitación (PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ, 2008).

Adicionalmente, no existen estudios suficientemente detallados ni observaciones sistemáticas en la zona, así como los impactos a los ecosistemas y la biodiversidad en la ZMQ no han sido investigados y evaluados con extensión y detalle. Por ello, es necesario que, los actores gubernamentales, privados y ciudadanos organizados definan y acuerden, primero, un modelo de ciudad a la que se aspira, con base en el bienestar de la población, el empleo, la calidad de vida, y la conservación de recursos amenazados como el agua, antes de consideraciones urbanísticas; y reforzar mediante ordenamientos y otros instrumentos legales, de seguimiento y de participación, las políticas y acciones que lleven a alcanzarlo, ya que no ha habido claridad en cuanto a las

zonas y los tipos de terreno hacia los cuales planear el crecimiento, (PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ, 2008).

Para enfrentar la problemática relacionada con el recurso agua, de acuerdo a lo que se menciona en el documento “Perspectiva del medio ambiente urbano: GEO Zona Metropolitana de Querétaro, elaborado por PNUMA, SEDESU Y CONCYTEQ (2008), se requiere urgentemente un plan integral, realista y coordinado, en un marco interinstitucional, metropolitano y de largo plazo, que aborde, como algunas de sus prioridades: al abastecimiento, el uso y el tratamiento del agua en toda la ciudad; la conservación y rehabilitación de las zonas de recarga y los cuerpos de agua; así como el control de inundaciones (PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ. 2008). Todo lo antes descrito se tiene que fundamentar en estudios detallados dentro de las zonas que soporten los planes, ordenamientos y demás instrumentos para la adecuada toma de decisiones.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La larga y compleja historia de ocupación y apropiación de los recursos naturales, ha conducido a un importante grado de *desarrollo* de algunas cuencas del país, pero también ha suscitado en un alto costo ambiental, así como el incremento de la vulnerabilidad de las mismas (Cotler *et al.*, 2006).

La ciudad de Querétaro, debido a su situación histórica y dinamismo socioeconómico, es un territorio que posee grandes potencialidades para ofrecer un gran soporte para el desarrollo económico y social. Este desarrollo ha sido muy significativo en los últimos años, teniendo como consecuencia un crecimiento poblacional acelerado y una tendencia (dinámica) de dispersión de la urbanización muy marcada. Ello ha generado procesos de transformación como grandes cambios de uso de suelo de zonas forestales y agrícolas a importantes centros industriales, urbanos y de servicios; provocando con ello un severo deterioro de los ecosistemas, pérdida de servicios ambientales, incremento de riesgos ambientales como las inundaciones, así como alteración en la estructura y función de las microcuencas.

En la actualidad existe una fuerte presión sobre los recursos naturales de las zonas periurbanas de la ciudad de Querétaro derivado del crecimiento urbano, a pesar de esto la ciudad posee relictos de vegetación característica de un paisaje de alta heterogeneidad espacial y ecológica y, por lo tanto, altamente diversa (Pineda y Hernández, 2000), particularmente en las zonas de conservación ecológica. Sin embargo, hasta el momento no existen estudios específicos de la dinámica ecosistémica de los cauces periurbanos que indiquen su estado actual, que permitan

establecer procesos de manejo, con la finalidad de mantener o mejorar la funcionalidad hidrológica del sistema.

Se requiere generar la información que justifique la conservación de las microcuencas de las zonas protegidas del Municipio y disminuir el impacto de su pérdida de funcionalidad sobre la ciudad de Querétaro. Esto es, se deben disminuir riesgos y controlar los escurrimientos torrenciales que afectan los centros de población de la zona occidental del valle de Querétaro. Por ello, se propone hacer la caracterización y análisis comparativo del estado y funcionamiento actual de tres cauces de diferentes unidades de escurrimiento del área protegida Zona Occidental de Microcuencas. Con la finalidad de generar información para la toma de decisiones que permita resolver, prevenir o minimizar impactos ambientales y sociales derivados de las pautas de desarrollo de la zona.

III. ANTECEDENTES

La gestión del agua es equivalente a la gestión de conflictos entre seres humanos y de éstos con el entorno. Un sistema de gestión del agua y de sus cuencas de captación se crea para evitar dichos conflictos, prevenirlos y solucionarlos. El ser humano debe aprender a vivir con estos conflictos y enfrentarlos adecuadamente, sabiendo además que la escasez relativa de agua se incrementará constantemente con el tiempo, producto del crecimiento económico, demandas sociales y cambios climáticos. En cuencas donde se asientan poblaciones o que abastecen a zonas urbanas estos conflictos se agudizan. Estas cuencas son a veces denominadas en forma simplificada como “*cuencas urbanas*” (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Así, la interacción de los centros urbanos, las cuencas, los ríos, las lluvias y las zonas de pendiente debe ser considerada adecuadamente para prevenir riesgos así como para garantizar el abastecimiento de agua para el consumo humano, una de las claves para lograr un desarrollo sustentable o sostenible (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Por lo antes mencionado, se han llevado a cabo varios proyectos relacionados con evaluaciones ambientales en cuencas urbanas, como es el caso de Piedemonte Andino de Santiago de Chile, en donde estudiaron seis microcuencas en diferentes fases en proceso de urbanización y en donde la gestión territorial se realiza sobre un Plan Regulador Metropolitano, sin embargo este tipo de instrumentos no han podido controlar la expansión geográfica de la ciudad (Romero, *et al*, 2004).

El estudio llevado a cabo por Romero *et al* (2004), consideró cuatro temas ambientales principales. En primer lugar se llevaron a cabo estudios comparativos entre 1989 y 2003 de la distribución y dinámica espacio-temporal en biomasa vegetal, humedad en el suelo, productividad vegetal y temperaturas superficiales, para elaborar una clasificación integrada de la calidad del estado ambiental de las cuencas. En segundo lugar se analizaron las áreas totales de impermeabilización y los coeficientes de escorrentía para comprender los efectos de la urbanización de cuencas sobre los regímenes hídricos, escurrimiento superficial de las aguas y generación de inundaciones.

Como tercer tema se hizo un análisis de la ecología del paisaje y como último tema se presentaron las Áreas Sensitivas Ambientales (ASA), con el propósito de obtener criterios específicos que contribuyan a incluir su protección y manejo como condicionantes para la urbanización. Las ASA corresponden a áreas que concentran las cubiertas vegetales de mayor superficie, complejidad, diversidad y conectividad, y por ello, las que generan la mayor cantidad y calidad de servicios ambientales.

Las Áreas Críticas Ambientales (ACA) son aquellas en que la pérdida o deterioro de sus estructuras y funciones, son responsables del deterioro de su calidad ambiental y de los servicios ambientales que deberían ofrecer a la ciudad, ante lo cual no sólo corresponde preservarlas, sino que además iniciar planes de restauración o rehabilitación (Romero *et al*. 2004).

Derivado de los resultados obtenidos en el estudio se menciona que las cuencas y subcuencas son sistemas ambientales que brindan la posibilidad de evaluar las características particulares de cada sector, en relación con el conjunto, y disponer de criterios que permitan comparar la conveniencia y pertinencia no sólo de urbanizar, en este caso, el piedemonte andino, sino que además, cómo, cuándo y dónde hacerlo. Los niveles de impacto de la urbanización no pueden ser aislados ni desacoplados de los procesos naturales hidrológicos, climáticos, geomorfológicos y biogeográficos que afectan a las cuencas, y dependen especialmente del tipo y fase del desarrollo urbano, lo que se expresa tanto en los porcentajes de las superficies totales urbanizadas, como en la densidad y diseño de las urbanizaciones (Romero *et al*. 2004).

La urbanización de las áreas que resultaron ambientalmente sensitivas se consideró como la principal responsable de la pérdida de la calidad y salud ambiental de la cuenca de Santiago, algo que, de acuerdo a los resultados obtenidos, aún constituye una oportunidad que salvaguardar. Ello, sin considerar aún todo el potencial paisajístico, cultural y simbólico que le otorga el piedemonte cordillerano, a través del su carácter andino, una ventaja competitiva irrepetible y única a la capital de ese país (Romero, *et al*, 2004).

Otro de los documentos que hacen referencia al estudio en cuencas urbanas es el denominado “Gestión de Cuencas y Ríos vinculados con Centros Urbanos” de Axel Dourojeanni y Andrei Jouravlev de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, en donde hacen un análisis de las situaciones de conflicto por el uso del agua y de las cuencas que abastecen a poblaciones y por la alteración de cursos de agua causada por asentamientos humanos.

En este documento presentan un análisis de las diferentes modalidades de gestión de cuencas, dedican especial atención a los aspectos operativos de gestión de cuencas con énfasis en la participación de gobiernos locales en dichos procesos. Igualmente presenta pautas para la creación de entidades de cuenca. Se presenta un análisis de opciones técnicas de gestión de cuencas con especial énfasis en alternativas para manejo de cuencas de captación de agua con fines de uso poblacional, así como de manejo de cursos de agua que atraviesan zonas urbanas. Se enfatiza la necesidad de rehabilitar cursos de agua por el alto valor que tienen para la conservación de la biodiversidad, la recreación de la población urbana, la mitigación de efectos de inundaciones y el control de contaminación hídrica (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

La mayoría de los estudios que se han desarrollado sobre hidrología en cuencas urbanas, son los relacionados con las inundaciones en las ciudades, por lo que Tucci *et al* (2000) en Ruberto *et al* (2006) menciona que uno de los principales desafíos para los tomadores de decisiones de los usos de suelo es el de anticiparse y controlar los impactos antes que los mismos se produzcan. En una ciudad, los impactos de la urbanización sobre el drenaje pueden producir efectos para los cuales el costo de control sea tan alto que su control se torne casi inviable.

Para anticiparse a este problema en las ciudades, es necesario estimar el hidrograma para los futuros escenarios con base en indicaciones del desenvolvimiento urbano de modo que los controles puedan ser previstos, tanto en el propio planeamiento como en las áreas de amortiguamiento para la contención del aumento de las lluvias (Ruberto, 2006).

De acuerdo a lo antes mencionado, el creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos ha venido demandando el desarrollo de sistemas y métodos, que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas (Pérez, Pineda y Medina, 2007), que conjuguen elementos estructurales y funcionales para conocer el estado aproximado de sus procesos ecológicos. Al respecto Pérez *et al* (2007) exploran aspectos que permiten un mejor entendimiento de los ecosistemas lóticos y que complementan y/o validan la información obtenida a través de la

aplicación de los índices de integridad biótica, la geomorfología de ríos, la determinación del estado más probable y la determinación de la calidad ambiental.

Cabe mencionar que la definición de los sistemas lóticos sólo como flujos de agua que van de la cabecera a la boca de una cuenca (dimensión longitudinal) es limitada. Los movimientos verticales y laterales del agua, la energía, los materiales y los organismos; influyen sobre el carácter de los corredores lóticos, incluyendo sus entornos riparios (Pérez *et al*, 2007).

Asimismo, los cambios de esos factores en el tiempo son especialmente críticos en la comprensión de estos sistemas. Las relaciones entre los puntos clave de los sistemas lóticos permiten reconocer algunos de los parámetros que afectan la estabilidad de las corrientes: ancho del canal, profundidad del canal, velocidad del flujo, descarga, pendiente, materiales del fondo del canal, entrada de sedimentos y la distribución del tamaño de las partículas del sedimento (Rosgen, 1996; Rosgen y Silvey, 1998). Estas variables no son independientes entre sí, sino que interactúan en la conformación del cauce y permiten estimar el tipo de cauce esperado de acuerdo con su posición topográfica y con el relieve del paisaje, a lo que se le conoce como “estado más probable”.

En 1996, Rosgen, basado en la sinuosidad del cauce, en el movimiento de la corriente y las relaciones del ancho y la profundidad del cauce, en la pendiente y el tipo de sustrato, propuso un modelo de clasificación de las corrientes para determinar el estado más probable del sistema (Figura 1). De acuerdo a lo establecido por Rosgen, desde el punto de vista hidrológico, si una corriente no ha sufrido alteraciones provocadas por el hombre (que suelen ser suficientes para modificar su estado más probable), los procesos de disipación de la energía siguen siendo ordenados por las fuerzas geomórficas y, en consecuencia, el río conserva su resistencia a la alteración.

Asimismo, Rosgen y Silvey (1998) han encontrado que los tipos de arroyos están relacionados con la topografía de las cuencas, de manera que encontrar un tipo de cauce en un intervalo topográfico diferente al esperado, debiera ser motivo de atención, ya que podría significar una alteración de la condición natural (Figura 1).

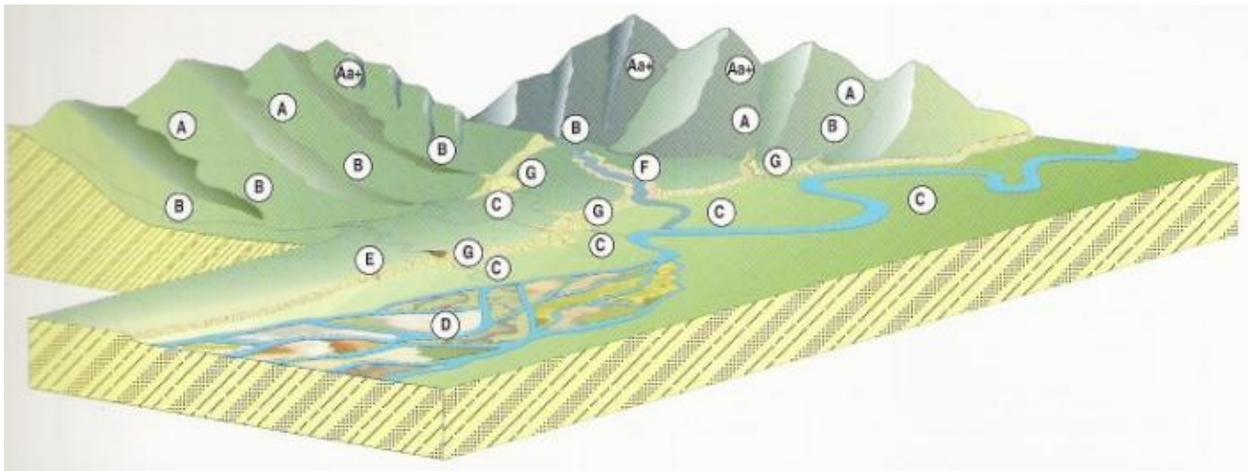


Figura 1. Clasificación de los tipos de cauce conforme a su posición topográfica y al relieve del paisaje (tomado de Rosgen, 1996).

En cuanto al Índice de Calidad Ambiental Visual, este protocolo se diseñó para monitorear la calidad ambiental con base en los componentes de la estructura del hábitat que disipan energía (Barbour *et al.*, 1999), tomando en consideración diez criterios a calificar. En su conjunto este protocolo es una forma de evaluar las posibilidades de asentamiento de la biota, calificando en forma individual a cada variable, lo que permite estimar aquellas situaciones en las que se encuentre algún grado de degradación.

Aunado a lo anterior, en México las aguas corrientes han sido negativamente impactadas por lo que es difícil encontrar arroyos y ríos prístinos en la actualidad. En 1998, la red de medición de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales informó que 75% de nuestros ríos y arroyos presentan algún grado de contaminación (CNA/SEMARNAP, 1999). Los impactos más comunes sobre estos ambientes son alteraciones en la forma física, cambios en la descarga de agua y la introducción de materia orgánica, y presencia de sustancias químicas (Lindegard, 1995).

Diversos estudios han identificado la biota que puede tolerar esos impactos, a la que se le ha denominado biota indicadora de alteraciones. Para el monitoreo de la biota en los sistemas acuáticos se han diseñado distintos índices; entre los más comunes están los índices de diversidad, los índices de similitud y los índices bióticos (Pérez *et al.*, 2007).

En 1981, Karr propuso el uso de los Índices de Integridad Biótica (IIB, o IBI por sus siglas en inglés) para entender la calidad de los sistemas acuáticos, suponiendo que las propiedades de los ecosistemas acuáticos son el resultado de fuerzas evolutivas que están interactuando en la configuración de los ecosistemas. En 1987, este mismo autor presentó una definición de la integridad biótica como: “La capacidad de soportar y mantener una comunidad adaptada,

integrada y balanceada, con una composición, diversidad y organización funcional comparable con el hábitat natural de la región”. Uno de los grupos más utilizados para este tipo de índices que generen información con respecto a la calidad de los arroyos son los macroinvertebrados acuáticos (Pérez *et al*, 2007).

Otro de los aspectos que representan una gran importancia en cuanto a estudios en ambientes lóticos es la vegetación riparia, la cual es una de las comunidades vegetales con menor grado de estudio en cuanto a su estructura y composición de especies (Pineda y Díaz, 2001). En zonas con climas secos, como es el caso del área de estudio, y dada la escasez de agua por la baja precipitación que impera, la gente ha eliminado en gran parte la franja de vegetación a ambos lados de los ríos plantando en su lugar otro tipo de especies dentro de terrenos escarpados o cultivos anuales en terrazas y planicies, por lo que la extensión de los bosques en estas áreas se ha visto reducida (Pineda y Díaz, 2001).

Existen sitios en donde se observa claramente influencia de la vegetación circundante, ya que en ocasiones cuando el cauce de los ríos es dinámico no existe franja de bosque ripario como tal y domina el tipo de vegetación presente o dominante en la zona con las especies características de ese tipo de vegetación (Pineda y Díaz, 2001).

Cabe destacar que los servicios ecológicos que presentan las comunidades vegetales son considerados de gran importancia, pues una comunidad conservada sirve de filtro entre el río y los ambientes adyacentes impidiendo el flujo al torrente del río de agroquímicos y productos orgánicos utilizados como insumos agrícolas y de desechos agropecuarios, además de amortiguar algunos de los procesos de sedimentación de los lechos de los ríos. Estos servicios ecológicos mantienen la calidad del agua y proveen protección contra las inundaciones y la erosión (Timoney *et al*, 1997).

Sin embargo, la vegetación riparia es, probablemente, la vegetación más intensamente transformada por la actividad humana y la menos conocida. Las características de los suelos propios del medio ribereño son tales que, en casi todos aquellos valles en los que la accesibilidad es suficiente, los bosques riparios han sido eliminados, fragmentados o profundamente modificados y reducidos a una estrecha franja junto al cauce (Ministerio del Medio Ambiente de España) (Caldera, 2007).

Entre las principales amenazas para la conservación de este tipo de ecosistemas se encuentran su sustitución por cultivos agrícolas y forestales, el encauzamiento de los tramos sobre los que se

asientan, la construcción de infraestructuras hidráulicas y la contaminación por especies invasoras (Caldera, 2007).

Dada la importancia ecológica y las problemáticas que presentan estas comunidades vegetales se ve necesaria la adopción de medidas encaminadas a la protección y regeneración de estos ambientes, por lo que es imprescindible contar con un conocimiento real del estado de la vegetación riparia (Caldera, 2007).

Una de las características más conspicuas de la biodiversidad es que no se distribuye de manera homogénea, por lo que los patrones espaciales de la diversidad de especies y los procesos asociados a los mismos han sido objeto de estudio desde diferentes escalas y enfoques, tales como la ecología de comunidades (e.g. Krebs 1978; Begon et al. 1990), la biogeografía (Simberloff 1983; Murguía 2005a) y más recientemente desde la perspectiva de la macroecología (Gaston y Blackburn 2000), e integrando varios enfoques (e.g. Magurran 1989). El denominador común en todos estos estudios finalmente subyace en el conocimiento de las áreas de distribución de las especies y su arreglo espacial.

No obstante lo anterior, el conocimiento de la estructura y composición de la vegetación de un área en particular y de manera aislada no es suficiente, actualmente se están desarrollando metodologías para expresar el reemplazo espacial de la identidad de las especies entre dos o más áreas, i.e. una medida de la diferencia en la composición de especies entre dos o más ensamblajes locales o regionales, para lo cual se calcula la β -diversidad. Se han propuesto una variedad de definiciones y conceptos asociados con la diversidad beta. Muchos de estos conceptos se traslapan (ejemplos: Whittaker, 1960, 1972, 1977; Routledge, 1977, 1984; Cody, 1986; Colwell & Coddington, 1994; Blackburn & Gaston, 1996; Loreau, 2000; Pharo et al., 1999), tales como: recambio a través de gradientes, recambio espacial, una medida de la diferencia entre muestras, distancia ecológica, una función del cambio de hábitat, el grado en que las distribuciones de especies se traslapan, complementariedad en la composición de las especies. En resumen, como se ha reconocido desde hace tiempo, la diversidad beta captura un aspecto fundamental del patrón espacial de la diversidad, y su estudio es primordial para entender los patrones geográficos de riqueza de especies (Whittaker, 1960, 1972; Cody, 1975; Wilson & Shmida, 1984; Shmida & Wilson, 1985; Gaston & Blackburn, 2000).

En particular en el Estado de Querétaro, se han llevado a cabo diversos estudios en donde se abordan los problemas desde una perspectiva de riesgo; es decir, de probabilidad o posibilidad de que ocasionen efectos adversos irreversibles o de gran trascendencia, a fin de orientar la acción pública con atención a las prioridades y a criterios de vulnerabilidad y de protección a los seres

humanos, ecosistemas y recursos más sensibles (PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ, 2008). No obstante estos documentos están basados en inferencias que se han llevado a cabo a través de mapas y documentos históricos, y el procesamiento de datos en sistemas de información geográfica, los cambios y el deterioro de las áreas naturales que han sufrido en los cuatro municipios conurbados (PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ, 2008), es decir, a través de la recopilación de datos y no en base a estudios e investigaciones *in situ*.

En el 2009 se generó el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de Estado de Querétaro. Este tipo de instrumentos surgen con la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (Estocolmo 1972) en donde se marcó un hito a nivel global en cuanto a la necesidad de planear el uso de los recursos naturales y de regular el crecimiento de los asentamientos humanos. A partir de entonces, son diversos los países que utilizan el ordenamiento del territorio, con diferentes denominaciones, como un instrumento de planificación y regulación de las actividades productivas, conservación sobre sus recursos naturales y de mejora para la calidad de vida.

El Ordenamiento Ecológico como un instrumento básico para la planeación ambiental, pretende ser de utilidad para resolver, prevenir y minimizar conflictos ambientales y sociales derivados de las políticas de desarrollo. Por lo tanto, este marcado desarrollo en el Estado requiere del cuidado de los recursos naturales vistos desde tres grandes líneas de acción: conservación, restauración y aprovechamiento sustentable; bajo una visión conjunta que vincule el cuidado de los recursos naturales con todo el contexto sociopolítico, cultural y económico que esto representa para el Estado, (SEDESU, 2009).

Por otro lado, entre los trabajos que se han hecho dentro del área de estudio destacan el Estudio Técnico Justificativo de la Zona Occidental de Microcuencas el cual se llevó a cabo con la finalidad de que se llevara a cabo la declaratoria como Área Natural Protegida, también se tienen los Planes Rectores de Producción y Conservación de las microcuencas de Santa María del Zapote (García, 2006) y de Buenavista (García, 2007), así como el Plan de Manejo de la microcuenca El Nabo (Universidad Autónoma de Querétaro, 2003), en donde se presenta un diagnóstico de las características físicas, bióticas y socioeconómicas de las microcuencas, así como se muestran propuestas de proyectos dentro de las mismas.

Uno de los estudios que vale la pena señalar es el llevado a cabo por la Universidad Autónoma de Querétaro en 2005, quienes con la finalidad de establecer modelos de manejo integral en las microcuencas para el rescate de la cuenca Lerma-Chapala, establecieron una Red de Campesinos Microcuenqueros, conformado por representantes de las Microcuencas Bravo, San

Pedro, San Miguelito-El Nabo, en los municipios de Corregidora, Huimilpan y Querétaro, en donde se unieron líderes comunitarios de las microcuencas Tlacote El Bajo, Santa Rosa Jáuregui y Buenavista; así como se integraron a los trabajos realizados por la red las autoridades municipales, estudiantes de la UAQ, investigadores y organizaciones civiles.

El objetivo de la formación de esta Red fue establecer vínculos entre diversos actores que confluyen en la microcuenca tanto en términos de intervención técnica como de gestión. Esto ha servido como un espacio de intercambio en donde se reflejan las múltiples realidades de cada miembro, en donde cada uno se mira y reflexiona sobre si mismo y su realidad inmediata y da herramientas para crear posibilidades de realidad diferentes a las ya creadas (Roitman, 2005).

Dentro de este estudio y después de varios intercambios algunas de las reflexiones finales destacan que sigue apareciendo falta de capacitación y acompañamiento técnico, problemas técnicos que no han sido resueltos como el que mencionó Don Genaro de la localidad de San Miguelito, quien dijo lo siguiente: *aunque la gente haga el esfuerzo, el agua se ha llevado las piedras por la pendiente ¿Qué respuestas me pueden dar? ¿qué podríamos hacer?*. Mencionaron que es necesario ir corrigiendo las fallas y una manera de hacerlo es viendo lo que otros han hecho para poder relativizar o evaluar la propia realidad (Roitman, 2005).

Lo antes señalado nos muestra un avance en la situación social en dos de las microcuencas a trabajar, lo que señala un interés por parte de los habitantes y una apertura para llevar a cabo trabajos relacionados con la conservación y el buen manejo de los recursos naturales, basados en un modelo de gestión integral de cuencas.

IV. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado actual y funcionamiento geomorfológico de los cauces hidrológicos de tres unidades de escurrimiento periurbanos para establecer los procesos del manejo que permitan mejorar su funcionamiento hidrológico, conservar su diversidad biológica y disminuir los riesgos naturales.

4.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Hacer la caracterización estructural (física y biológica) de las unidades de escurrimiento a través del conocimiento del estado de conservación y deterioro de las riberas y la calidad ambiental visual y del hábitat de los arroyos y sus cauces.
- Evaluar el estado actual de los ecosistemas de los arroyos a través de la estructura y composición de la vegetación y la aplicación del índice de integridad biótica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.
- Llevar a cabo un diagnóstico comparativo de las características que diferencian el uso y manejo de las tres unidades de escurrimiento.
- Establecer una propuesta de manejo de los cauces y sus zonas circundantes para promover la conservación y buen uso de los mismos.

V. ÁREA DE ESTUDIO

La Zona Occidental de Microcuencas (ZOM) se localiza al centro-occidente del Municipio de Querétaro (figura 2), fisiográficamente se encuentra en el extremo norte de la provincia del Eje Neovolcánico, en la subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. Forma parte de la Región Hidrológica No. 12 denominada Lerma-Santiago (RH12), a su vez está delimitada por la subcuenca del Begoñas y Pericos y a la Subregión La Laja, ambos aportando al Río Querétaro y constituyendo las tierras altas de las Microcuencas de Puerto de Nieto, Buenavista, Potrero, Santa Rosa Jáuregui, El Nabo, Tlacote El Bajo, La Víbora y Santa María el Zapote, (Municipio de Querétaro, 2005).

Como coordenadas extremas de la Zona Occidental de Microcuencas en cuanto a su latitud se refiere se tienen en el sur $X = 338376$ y $Y = 2284258$, norte $X = 342767$ y $Y = 2306408$, longitud en el este $X = 333917$ y $Y = 2291572$ y Oeste $X = 346706$ y $Y = 2292623$; así como presenta un rango de altitud que va de los 1850 a los 2720 msnm.

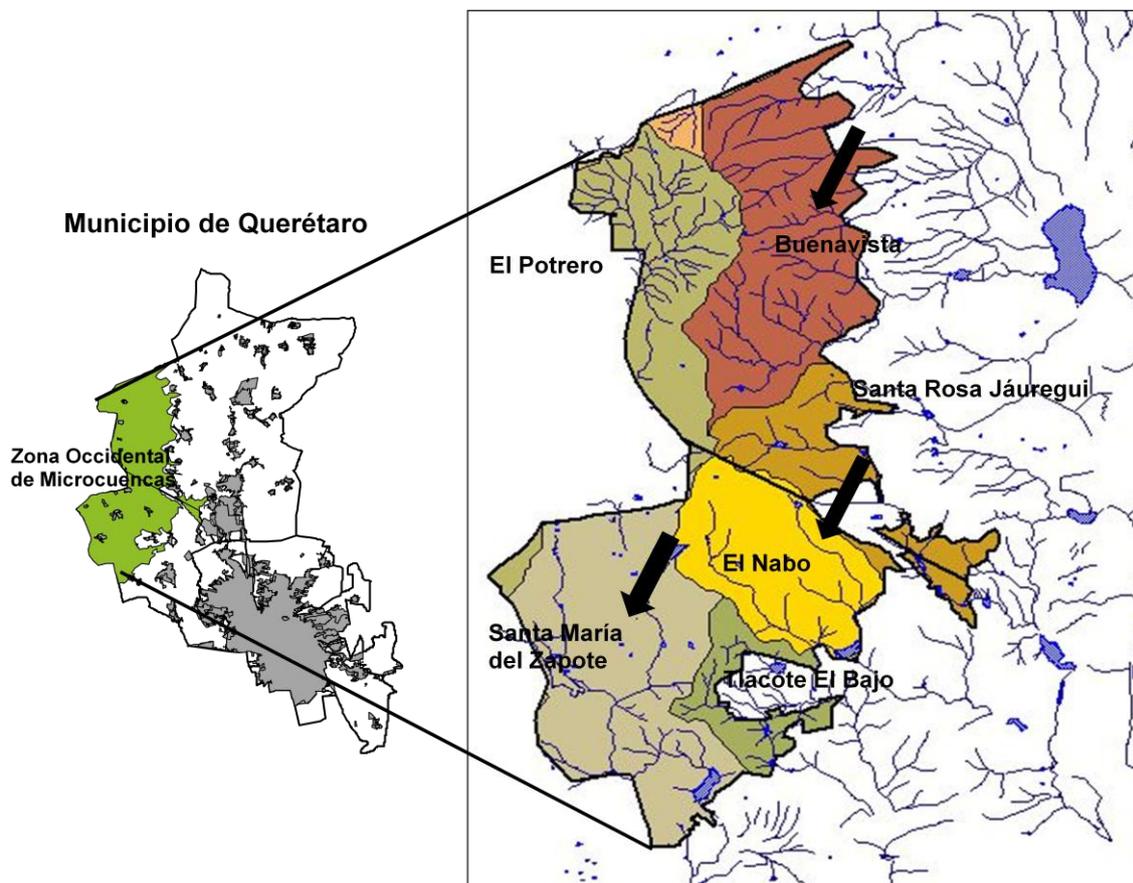


Figura 2. Zona de estudio.

El presente estudio abarca las zonas de cabecera de tres de las microcuencas que forman parte de la ZOM: El Nabo, Buenavista y Santa María del Zapote (tabla 1).

Tabla 1. Comparativo de la superficie de Microcuencas dentro de la ZOM.

Microcuencas	Superficie (ha)	Porcentajes (%)
El Nabo	1,790.332	14.87
Buenavista	2,938.527	24.40
Santa María del Zapote	3,226.049	26.79

VI. METODOLOGÍA

Este trabajo se basa en una visión integral de obtención, análisis e interpretación de información, tomando en consideración aspectos bióticos, físicos y sociales, además de un análisis previo para la selección de las unidades de escurrimiento a trabajar y la elaboración de la cartografía.

Con la finalidad de llevar a cabo el análisis comparativo, se determinaron criterios basados en las características de conservación y manejo de tres unidades de escurrimiento pertenecientes a tres microcuencas dentro de la ZOM, entre las que destacan: el estado natural de la vegetación, características de los cauces, características sociales y económicas de las poblaciones cercanas, presión urbana sobre las zonas y estudios o acciones llevadas a cabo en las zonas.

Estas características se determinaron en el análisis de cartografía e información documental, así como recorridos de campo de reconocimiento de las microcuencas y para identificar los factores ambientales y sociales que prevalecen en la zona de estudio.

6.1. DIAGNÓSTICO FÍSICO DEL SISTEMA FLUVIAL

Para llevar a cabo la caracterización estructural de las unidades de escurrimiento se llevó a cabo la determinación del tipo de cauce o estado más probable, la morfometría, el índice de calidad ambiental visual y el índice simplificado de calidad del agua de los arroyos.

I. Determinación del tipo de cauce o Estado Más Probable (EMP) y morfometría de los cauces

Para determinar el tipo de cauce y el estado más probable se aplicó la metodología propuesta por Rosgen y Silvey (1998), la cual se basa en diez elementos que están estrechamente relacionados y que interactúan entre sí.

A continuación se enlistan los parámetros que de acuerdo a los autores se emplean para a la determinación del tipo de cauce:

- a. Ancho de la máxima ribera (AMR).
- b. Profundidad media.

- c. Tasa ancho /profundidad.
- d. Profundidad máxima (máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).
- e. Ancho del área de inundación (AAI) (distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima).
- f. Tasa de confinamiento (TC).
- g. Diámetro promedio de las partículas del sedimento.
- h. Pendiente (diferencias del nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros).
- i. Sinuosidad (tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle).
- j. Orden de la corriente.

Cualquier cambio en alguna de estas variables, implica una serie de ajustes en la dinámica del río o arroyo y la afectación de las otras variables, resultado en una alteración en los patrones del mismo (Rosgen, 1994).

II. Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

Se aplicó el protocolo diseñado por Barbour *et al* (1999), con el propósito de monitorear la calidad ambiental con base en los componentes de la estructura del hábitat que disipan energía, como la sinuosidad, los materiales del sustrato y de las riberas, la presencia de puntos de retención de sedimentos y flujos del agua, condiciones de la vegetación de las riberas y de la zona riparia y la condición de la planicie de inundación.

El protocolo toma en cuenta trece criterios, que se califican en un tramo representativo de río, considerando como representativo el equivalente a 40 veces el ancho del cauce. La aplicación de los criterios de evaluación se hace con base en la topografía del lugar de estudio. Así, este último factor se le dividió en dos grandes categorías: como de gradiente alto cuando los sitios tienen pendiente de moderada a alta, típica de zonas de montaña; o como de gradiente bajo en sitios con pendiente suave, propia de valles. Los criterios de evaluación son los siguientes:

1. *Sustrato disponible para la epifauna*. Cantidad y variabilidad de sustratos disponibles para el asentamiento de macroinvertebrados (se califica en ambos gradientes).
2. *Embebimiento*. Cantidad de sustratos que se encuentran cubiertos por partículas finas o por algas filamentosas. (se califica para el gradiente alto).
3. *Caracterización del sustrato de los estanques*. Califica la heterogeneidad del fondo de los estanques (se califica para el gradiente bajo).

4. *Patrones de velocidad / profundidad.* Presencia de cuatro patrones de velocidad / profundidad: suave- somero, suave-profundo, rápido-somero y rápido-profundo (se califica para el gradiente alto).
5. *Variabilidad de los estanques.* Variabilidad en el tamaño y profundidad de los estanques. Con cuatro patrones: estanques pequeños-someros, estanques pequeños-profundos, estanques grandes-someros y estanques grandes-profundos (se califica para el gradiente bajo).
6. *Gradiente de sedimentación.* Califica la acumulación anómala de sedimentos (se califica en ambos gradientes).
7. *Estatus de flujo.* Forma como la corriente toca las riberas (se califica en ambos gradientes).
8. *Alteraciones del canal.* Evidencias de modificaciones y/o alteraciones en el canal como resultado de obras construidas por el hombre (se califica en ambos gradientes).
9. *Frecuencia de rabiones.* Frecuencia en la presencia de rabiones en el tramo bajo de estudio. Se considera la representación proporcional entre la distancia promedio entre los rabiones y el ancho del canal (se califica para el gradiente alto).
10. *Sinuosidad del canal.* Tasa entre la longitud de la línea máxima de profundidad y la longitud del canal en línea recta (se califica para el gradiente bajo).
11. *Estabilidad de las riberas.* Proporción que ocupan en el tramo las evidencias de erosión y/o fallas de las riberas (se califica para ribera izquierda y derecha).
12. *Protección vegetal de las riberas.* Estima la proporción de las riberas del cauce que se encuentran con vegetación ribereña nativa (se califica para ribera izquierda y derecha).
13. *Ancho de la zona de vegetación riparia.* Ancho de la zona de amortiguamiento proporcionado por la vegetación nativa de la zona riparia en ambas riberas (se califica para ribera izquierda y derecha).

El protocolo considera cuatro categorías para calificar a cada variable en forma independiente, y la suma total de puntos indica la categoría de la calidad ambiental visual del cauce bajo de estudio (tabla 2).

Tabla 2. Resultados esperados de la aplicación del Índice de Calidad Ambiental Visual.

Categoría	Intervalo	Calificación
Óptimo	16-20	200-166
Subóptimo	11-15	165-113
Marginal	6-10	112-60
Pobre	0-5	59-0

Este protocolo es una forma de evaluar las posibilidades de asentamiento de la biota, calificando en forma individual a cada variable, lo que permite estimar aquellas situaciones en las que se encuentre algún grado de degradación, (Pérez Munguía, et al 2007).

6.2. CARACTERIZACIÓN DE VEGETACIÓN RIPARIA Y MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Con la finalidad de evaluar el estado actual de los ecosistemas de los arroyos se determinó la estructura y composición de la vegetación riparia, así el Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos.

6.2.1. Estructura y composición de vegetación riparia

Se llevó a cabo un estudio de la vegetación comparando la vegetación riparia de tres cauces, en donde se establecieron sitios de muestreo usando cuadrantes de Wittaker o de evaluación de parcelas multiescala utilizadas para monitoreo de vegetación, donde en extensiones de 20m x 50m se ubican parcelas de diferentes tamaños para poder evaluar tamaños y edades de la vegetación.

Para estimar los componentes de diversidad a distintas escalas se trazó un cuadrante Whittaker modificado al azar (Figura 3). Dicho cuadrante se subdivide en una serie de cuadrantes más pequeños; 10 de 2X0.5m denominados como A 1-A 10; 2 de 2X5m llamados B1 y B2; el cuadrante C de 20X5m y D que es el resto del área que no se incluye en ninguno de los subcuadrantes A, B y C.

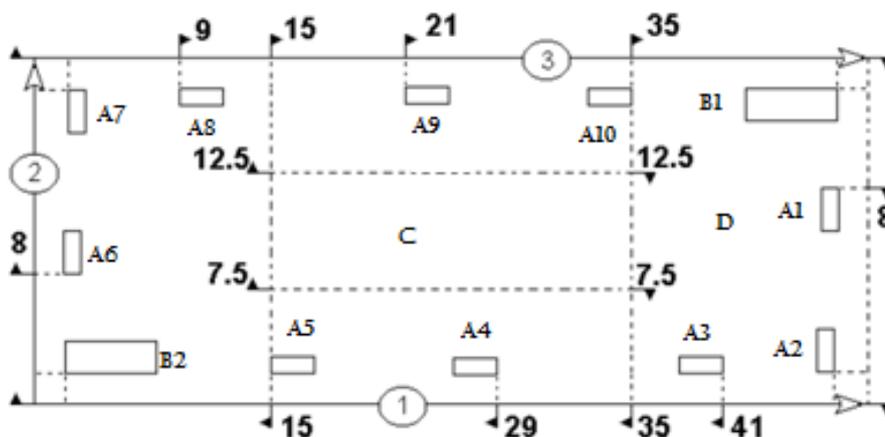


Figura 3. Cuadrante Whittaker modificado. (A) Los números señalados con una bandera en la periferia del cuadrante son aquellos que se marcaron en la cuerda ocupada en el trazo del cuadrante principal.

La toma de datos en los subcuadrantes es distinta, en los A solo se mide porcentaje de cobertura, por lo que se toman en cuenta las hierbas y plántulas. En los subcuadrantes B que son de mayor tamaño solo se miden aquellos árboles y arbustos que alcanzaran un diámetro a la altura del pecho (DAP: considerado como 1.3m) de 1-5cm; en el caso del subcuadrante C se toman en cuenta aquellos que tienen un DAP de 5- 10cm y en el área D aquellos individuos con un DAP superior a 10 cm. Los datos obtenidos de los árboles y arbustos de los subcuadrantes B, C y D son el DAP y altura, cabe destacar que en arbustos se mide el DAP de cada rama. Las especies de planta se identifican en el sitio o se obtienen muestras para su posterior identificación.

Los valores a determinar son: densidad relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa para obtener valores de importancia, mediante la fórmula:

$$\text{Valores de importancia} = \text{densidad relativa} + \text{dominancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

Se determinó el índice de diversidad Shannon-Wiener (H') para estimar la diversidad biológica, ya que este índice se basa en la teoría de la información y asume, que el muestreo de los individuos fue aleatorio a partir de una población indefinidamente grande y que todas las especies están representadas en la muestra, (Krebs, 1978).

Los valores obtenidos cercanos a 0 indicarán baja diversidad, mientras que los más altos, denotarán un incremento en la diversidad pero, ningún valor sobrepasará el valor 5 (Krebs, 1978).

La fórmula para determinar este índice es:

Índice de Shannon-Wiener

$$H = -\sum_{i=1} p_i \ln p_i$$

Donde: p_i representa la abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i

Este índice, el cual para el caso de ambientes acuáticos, se ha correlacionado con la calidad del agua en cuanto a la contaminación orgánica (tabla 3).

Tabla 3. Relación de los valores del índice de diversidad de Shannon y Wiener con la contaminación del agua (Wilhm y Dorris, 1968 en Dall, 1995)

H > 3 Aguas limpias
H = 2-3 Aguas ligeramente contaminadas
H = 1-2 Aguas medianamente contaminadas
H = 0-1 Aguas fuertemente contaminadas

El índice de Simpson representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar, pertenezcan a la misma especie y se calcula en base a que un sistema es más diverso cuanto menos dominancia de especies hay, y la distribución es más equitativa.

La fórmula para determinar el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde S es el número de especies, N es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas) y n es el número de ejemplares por especie.

Mediante el cálculo de los dos índices podemos obtener la heterogeneidad de los ecosistemas, basados en la combinación de riqueza y equitatividad de las especies (Índice de Shannon-Wiener) y la proporción de la abundancia de las especies (Índice de Simpson).

Con la finalidad de valorar la riqueza específica se empleó el índice de Margalef (1969), el cual es una medida utilizada en ecología para estimar la riqueza de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada. El índice de Margalef tiene la siguiente expresión: $I=(s-1)/Ln N$, donde I es la biodiversidad, s es el número de especies presentes, y N es el número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las especies).

Valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Por otro lado, con el fin de cuantificar la diversidad se han propuesto diferentes aproximaciones que buscan entender cómo se expresa a diferentes niveles dentro de los ecosistemas; su medición se puede desglosar y trabajar mejor dependiendo de la escala espacial. Para entender cómo cambia a distintos niveles se ha referenciado en tres componentes (Whittaker 1972, Rangel-Ch. et al. 1997), diversidad alfa, entendida como la riqueza de especies a nivel local de una comunidad que se considera más o menos homogénea; diversidad beta como el grado de

recambio o reemplazo en la composición de especies entre comunidades de un paisaje; y diversidad gama aquella riqueza de especies que integran el conjunto del paisaje (Whittaker, 1972).

La beta diversidad ha sido usada en un sentido más amplio, para expresar el reemplazo espacial en la identidad de las especies entre dos o más áreas. Es una medida de la diferencia en la composición de especies entre dos o más ensamblajes locales o regionales. (Koleff 2005).

Existen más de 30 medidas de diversidad beta para datos de ocurrencia de especies reportadas en la literatura, pero en todos los casos, las ecuaciones originales para medir la diversidad beta fueron re-expresadas en términos de los componentes usados en los coeficientes de los índices de similitud/disimilitud, usualmente denotados como a, b y c (ej. Krebs, 1999). Considerando el caso más simple, dos cuadrantes de la misma área, uno referido como 'el cuadrante focal' para el cual su composición de especies puede ser comparada con la de otro, el 'cuadrante vecino'. El componente a es el número total de especies presentes en ambos cuadrantes, b es el número de especies presentes en el cuadrante vecino pero no en el cuadrante focal, y c es el número de especies presentes en el cuadrante focal pero ausentes en el cuadrante vecino. El componente a se refiere entonces a las especies en común para un par de cuadrantes, mientras que el componente b mide las especies ganadas y el componente c las especies perdidas en relación al cuadrante focal.

6.2.2 Índice regional de integridad biótica

Se llevó a cabo una colecta de especies de macroinvertebrados acuáticos en las tres zonas de estudio, la información que se obtuvo para determinar el índice de integridad biótica es el número de familias presentes por sitio, la tolerancia y el valor de tolerancia, así como el gremio trófico y los hábitos de vida para cada familia, esto último con base en los valores de tolerancia y gremio trófico enlistados en Mandaville (2002).

Una vez con esta información, se determinan las variables de respuesta requeridas para la aplicación del Índice de Integridad Biótica generado por Pérez Munguía y Pineda-López (2005), basado en asociaciones de macroinvertebrados acuáticos.

Para la construcción del IIBAMA, se asume que es posible obtener información sobre la integridad de las asociaciones biológicas, con base en las características de éstas, las cuales pueden variar de una forma predecible cuando se incrementa la influencia humana sobre los ecosistemas.

A este grupo de características se les define como las variables de respuesta al ambiente (VRA) (Pérez-Munguía y Pineda-López, 2005) (tabla 4).

A continuación se presenta la ecuación empleada para obtener el índice:

$$IIBAMA = \Sigma VRA$$

Dónde: IIBAMA, Índice de Integridad Biótica basado en la Asociación de macroinvertebrados Acuáticos

VRA, Variables de respuesta al ambiente

Tabla 4. Variables de respuesta al ambiente para el IIBAMA.

Variable	Descripción
Riqueza de taxa (RT)	Número de familias de macroinvertebrados encontrados en el sitio de referencia
Número de familias de Ephemeropteros, Plecópteros, Trichopteros (REPT)	Número de familias de Ephemeropteros (excepto Baetidae), Plecópteros, Trichopteros (REPT).
Número de taxa de insectos intolerantes (RII)	Número de familias de insectos acuáticos que son intolerantes o sensibles o muy intolerantes (muy sensibles).
Número de taxa intolerantes (#TI)	A la variable anterior hay que sumarle el número de otras familias de macroinvertebrados que no son tolerantes.
Valor de la tolerancia media	Corresponde al promedio de los valores de tolerancia presentes en la muestra
Número de taxa fijos (#TF)	Corresponde al número taxa que tienen hábitos de vida fijos al substrato.

Fuente: Diseño y Desarrollo de indicadores para servicios ambientales.

Guías Metodológicas, Pérez-Munguía (2005).

Se debe aplicar la tabla de calificación de las variables de acuerdo al valor que obtuvieron, para conocer la categoría a la que pertenece la variable, en dicha tabla la letra "Y" corresponde al valor que toma la variable (tabla 5).

Tabla 5. Valores de las categorías de las variables para calcular el IIBAMA.

Variable	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4	Respuesta al Impacto
RT	Y<23	23≤Y<27	27≤Y<30	Y≥30	Desciende

REPT	Y<9	Y=9	Y=10	Y≥11	Desciende
RII	Y<9	9≤Y<12	12≤Y<14	Y≥14	Desciende
#TI	Y<10	10≤Y<12	12≤Y<14	Y≥14	Desciende
TM	Y≥5.33	5.13≤Y<5.33	4.65≤Y<5.13	Y<4.65	Aumenta
#TF	Y<9	9≤Y<11	Y =11	Y≥12	Desciende

Fuente: Uso de los Macroinvertebrados Acuáticos en el Monitoreo Ambiental de Ríos y Arroyos, Pérez-Munguía y Pineda López (2005).

Con la tabla de clasificación y aplicando la fórmula del índice, se suman los puntos, y empleando la tabla de estimación del índice se busca el intervalo al que corresponde el valor obtenido (tabla 6).

$$IIBAMA = RT + REPT + RII + \#TI + TM + \#TF$$

Tabla 6. Categorías del Índice de Integridad Biótica (IIBAMA).

Valor del IIBAMA	Categoría
IBI>22	Excelente
16<IBI<21	Bueno
13<IBI<16	Regular
IBI <13	Pobre

El resultado es la categorización de cada sitio de acuerdo a las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos registradas en el sistema fluvial en estudio.

6.3. VALIDACIÓN SOCIAL DE LA INFORMACIÓN

Toda discusión teórica a propósito de la comunidad humana como categoría está obligada a empezar por advertir acerca de lo controvertido y ambiguo de su significado, (Delgado, M., 1995). Derivado a las grandes discusiones y diversidad de conceptos que se tienen sobre el significado de comunidad, y a la poca información que hasta el momento se tiene de la parte social de las zonas de estudio, se referirá a ellas como localidades.

Para el buen desarrollo y éxito de cualquier tipo de proyecto es de suma importancia la participación social. Debido a que el estudio de tesis será desarrollado en tres unidades de escurrimiento pertenecientes a tres microcuencas, el análisis social se llevó a cabo en la localidad más próxima y la que ejerce mayor manejo sobre los cauces de cada una de las microcuencas.

Es de vital importancia que los actores sean partícipes en la investigación para el cambio social, por lo que una evaluación eficaz se dará cuando los habitantes de las localidades expresan de manera franca y espontánea sus opiniones sobre el recurso hídrico y la forma en la que éste es aprovechado, así como en la forma en la que estén dispuestos a discutir las razones que sustentan esas opiniones (Sabih, 1993).

Debido a las características del tema de tesis, cabe señalar que el manejo integral de los recursos naturales parte de un compromiso para realizar su aprovechamiento de manera racional, lo cual implica un beneficio al asegurar el acceso a ellos por parte de las sociedades, además de propiciar un adecuado sustrato para la obtención de la equidad social y el beneficio económico a corto o mediano plazo. Esto es posible lograrlo únicamente mediante estudios integrados e incluyentes con la sociedad, que permitan establecer lineamientos para la adecuada utilización de los recursos, a través de la aplicación de políticas de conservación, protección, restauración o aprovechamiento.

Debido a esta estrecha relación entre el ambiente y la sociedad, es que se tiene que abordar y poner especial énfasis en el aspecto social. A menudo lo que se pretende en trabajo comunitario es la construcción de un tejido social con capacidad para generar proyectos más globales, respuestas mejor integradas y más ambiciosas, sin embargo el objetivo del trabajo de tesis es generar propuestas de manejo de los cauces en base a los resultados obtenidos a través de los estudios físico-biológicos llevados a cabo, así como basados en los usos y el manejo que se le da al recurso hídrico y a los intereses actuales de los usuarios del recurso; por lo que no se pretende estudiar a profundidad las características, problemáticas y relaciones de las localidades. No obstante, en cualquier tipo de intervención social se debe considerar un ejercicio conectado con fenómenos propios de la realidad llamada sociedad, por lo que sí se pretende una interacción e intervención activa por parte de los habitantes de las tres microcuencas, con la finalidad de obtener e intercambiar información, así como generar la propuesta de manejo más acorde con las características de las microcuencas y con las necesidades de los habitantes de las localidades.

Todo lo antes señalado tiene que ser interpretado y plasmado de tal manera que la información y situaciones complejas cobren sentido. La interpretación de los resultados debe incluir la mediación de diferentes perspectivas y está fundamentada en situaciones reales que tienen sentido para los actores involucrados.

La intervención debe ser cuidadosa, ya que la forma en que los factores se expresan en cada situación incide en la estructura de los actores y la descripción de los escenarios actuales y posibles. Además de buscar únicamente los puntos de vista que los actores comparten, el análisis

de los constructos sociales ofrece la ventaja de que todas las partes puedan aprender entre sí (Chevalier, J. y Buckles, D. 1995). Todos negocian y construyen su propio conocimiento y aportan sus propias opiniones, los cuales fueron aplicados delicadamente en los planes de manejo que se presentan.

Los resultados que se querían obtener de este estudio es generar la información y herramientas de apoyo para la toma de decisiones, con respecto a las acciones y usos que se le dan a los arroyos y riberas de las microcuencas en estudio, que se pueden encaminar a la protección o restauración de su estructura y función. Por ello se llevó a cabo un proceso de validación de la información generada con los habitantes de las localidades que tienen mayor influencia sobre las decisiones vinculadas a los arroyos, con la finalidad de generar juntamente con ellos propuestas para el manejo de los cauces.

La validación de los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante entrevistas semiestructuradas con informantes clave con el objetivo de que conocieran y se familiarizaran con los conceptos básicos del proyecto, que pudieran evaluar si los resultados obtenidos coinciden con sus conocimientos y experiencia. Así como, enriquecer información e identificar las características y variables que han tenido influencia social sobre la dinámica y funcionamiento de los cauces. Entre la información que se les presentó a los informantes, además de explicarles el objetivo y la importancia del estudio, destaca un mapa de la microcuenca con los puntos en donde se tomaron los datos, el perfil de los arroyos en donde se muestra la profundidad media y máxima cuando llevan agua, el ancho del arroyo y el ancho del área de inundación; se les presentó una tabla con los datos del Estado Más Probable y la Calidad Ambiental Visual, en donde se validaron datos como el sustrato que hay disponible para la fauna acuática, si sus arroyos presentaban corrientes rápidas profundas o poco profundas, agua estancada profunda o poco profunda, si se han hecho alteraciones en el arroyo de cualquier tipo, así como datos de la extensión de la vegetación riparia y las condiciones en las riberas. Se les mostró la calificación que se les había dado a sus cauces y se discutieron las diferencias o similitudes con respecto a estas y otras variables. Se les mostró una tabla con el tipo de vegetación que encontramos, apoyados con fotografías para que identificaran las especies encontradas.

Se tuvieron tres reuniones, durante ellas se comentaron necesidades de los habitantes, su perspectiva de acuerdo sus conocimientos y experiencia, así como propuestas e inquietudes que ellos tienen con respecto a los recursos naturales. De manera específica la metodología utilizada fue la siguiente:

- Diálogo con informantes clave

Se inició con un sondeo en la zona y en instituciones para detectar a los informantes clave, se les visitó y ellos apoyaron en el desarrollo del trabajo de campo, en donde se generaron diálogos y se logró obtener información de manera rápida, se generó confianza y se provocó con ello un acercamiento con los habitantes de las localidades.

- Entrevista grupal semi-estructurada

Se convocó a los informantes claves de cada una de las localidades de las tres microcuencas de manera independiente, con la finalidad de validar la información generada, obtener información adicional, así como presentarles propuestas de manejo de los cauces para, junto con ellos, establecer la propuesta definitiva y con ello generar el compromiso para la toma de decisiones. Las entrevistas fueron de tipo semi-estructurado con la finalidad de permitir flexibilidad y libertad durante la reunión, y tomando en consideración que para lograr evaluaciones exitosas con habitantes es esencial no pensar en éstos como simples informantes pasivos durante la reunión. El éxito del proceso depende del establecimiento de una relación social en la que tanto el investigador como el habitante sean activos en investigar, interrogar, estudiar y llegar juntos a conclusiones (Sabih, 1993).

Durante la entrevista se llevó a cabo una presentación, se generó un rapport previo (ambiente de confianza), se solicitó consentimiento para grabar o tomar anotaciones, y en todo momento se hizo partícipes durante toda la entrevista a los integrantes del grupo.

Guión de entrevista:

1. RAPPORT

- Breve descripción de proyecto de Tesis (justificación y resultados que se quieren obtener).
- Mencionar que la zona de estudio se encuentra dentro de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Zona Occidental de Microcuencas, la cual es un Área Natural Protegida, porque tiene el decreto, los servicios ambientales que ofrece esta zona y breve mención de antecedentes y normatividad del ANP.
- Breve explicación de lo que son las Cuencas Hidrográficas (acompañados de diagramas y mapas).
- Mención de los proyectos o estudios previos que se han llevado a cabo: que tipo de estudios, quién los elaboró, cuándo y con qué objetivo.

2. Validación de la información obtenida durante el estudio en campo, esta parte fue acompañada de mapas, diagramas, fotografías con la finalidad de explicar en un lenguaje adecuado la información que se obtuvo, de dónde se obtuvo (puntos de muestreo) y

validar con los conocimientos y experiencias de los involucrados. La información a validar fue la siguiente:

- Tipos de corriente que se determinaron
 - Perfiles de los arroyos
 - Resultados de Calidad Ambiental Visual
 - Valor de importancia de especies vegetales
 - Índices de diversidad
 - Resultados de Índices de Integridad Biótica
3. Establecer una Propuesta de Manejo del cauce, basada en las problemáticas presentadas, el manejo y usos actuales, así como los intereses o necesidades propias de los habitantes de las localidades involucradas.

A pesar del guión elaborado, cada una de las entrevistas fue distinta y el orden de la información se dio dependiendo de las intervenciones de los informantes. No obstante, se logró obtener toda la información que se pretendía, enriqueciendo el trabajo de tesis y recibiendo una gran retroalimentación, siendo integrada en los resultados del presente estudio. Los informantes en todo momento y en las tres microcuencas tuvieron gran apertura, mostraron interés en los temas tratados y proporcionaron una gran cantidad de información con una actitud de confianza y respeto por ambas partes.

VII. RESULTADOS

La descripción de las Microcuencas deriva de los Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC) y Planes de Manejo de cada una de ellas. Los PRPC de la Microcuenca de Santa María del Zapote y Buenavista elaborado por el Ing. y M.C. Eduardo García Córdova en el 2006 y 2007, respectivamente; y Plan de Manejo de la Microcuenca El Nabo por la Universidad Autónoma de Querétaro, a través de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas en el 2003. Estos documentos fueron financiados por el Municipio de Querétaro, el Fideicomiso de Riesgo Compartido y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Delegación Querétaro.

Las estaciones de muestreo de cada una de las microcuencas se determinaron de acuerdo a los escurrimientos principales en cada una de ellas, en donde se establecieron 3 estaciones correspondientes a las partes alta, media y baja de cada una de las microcuencas.

7.1. MICROCUENCA EL NABO

7.1.1 Descripción

La microcuenca cubre una superficie total de 2982.6 ha y un perímetro de 29 km, se localiza en la porción centro-norte del municipio de Querétaro. Geográficamente se ubica entre las coordenadas 100° 28' - 100° 33' de longitud oeste, así como 20° 40' - 20° 45' de latitud norte. Su ubicación administrativa corresponde en su totalidad al municipio de Querétaro.

Se ubica regionalmente en donde confluyen los límites de tres provincias fisiográficas: La parte sur de la sierra madre oriental (subprovincia Carso huasteco), la parte oeste de la mesa del centro (subprovincia sierras y llanuras del norte de Guanajuato) y la parte norte del eje neovolcánico (subprovincia llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo). Su fisiografía es predominantemente de formas volcánicas con diferente grado erosivo. La microcuenca presenta una zona de planicies en su parte media y baja donde las pendientes son inferiores a 10% y zonas abruptas en su parte alta con pendientes desde 15% hasta 125% en las cañadas de los arroyos "La Rivera" y "La Presita". La variación altitudinal se extiende desde la elevación 2470 msnm en su parte alta hasta la elevación 1795 en su parte más baja, precisamente en el cierre de la microcuenca en el bordo "El Nabo"; su elevación promedio es la cota 2133 msnm (UAQ, 2003).

En la Microcuenca se determinaron 454 mm de evapotranspiración, un índice de Hargreaves (Aranda, 1989) inferior a 0.6, lo que representa una condición moderadamente deficiente de humedad, pero con limitada productividad agrícola de temporal, basada principalmente en cultivos agrícolas de 3-4 meses de ciclo vegetativo (UAQ, 2003).

Por sus características morfométricas, mismas que presentan una superficie alargada con un índice de forma de 0.14, sus tiempos de concentración superiores a una hora, una pendiente baja de su cauce principal (excepto en su tramo inicial), su baja densidad de drenaje (0.14 km de cauces por cada km^2 de área de cuenca), la microcuenca se le considera de una respuesta hidrológica lenta, esto significa que los hidrogramas de salida de los escurrimientos instantáneos son menos “picudos” y de mayor duración en comparación con aquellas cuencas o microcuencas de forma redonda, con alta densidad de drenaje y con fuertes pendientes en sus cauces principales, esta conclusión se confirma además con un valor relativamente alto de su relación de bifurcación ($R_b=3$), lo cual ocurre generalmente con cuencas alargadas, en regiones montañosas y con hidrogramas extensos y de gasto pico bajos (UAQ, 2003).

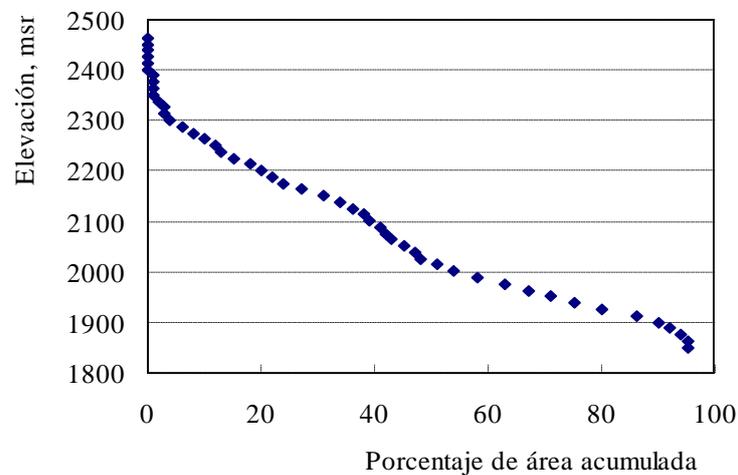


Figura 4. Hipsometría de la microcuenca El Nabo

Desde el punto de vista geomorfológico y de acuerdo a su hipsometría (figura 4), la microcuenca presenta en su mayor parte condiciones de equilibrio, pero algo erosionada en su parte alta. Los cauces no presentan una sinuosidad importante, lo que hace pensar en que sus pendientes son significativas y por lo tanto en mayores fuerzas erosivas. De hecho, la microcuenca presenta una diferencia altitudinal de 675 m en poco más de 14 kms (UAQ, 2003). Tanto la forma como el relieve de estas estructuras indican, en primera instancia, una respuesta hidrológica rápida en las zonas escarpadas, pero que se hace lenta en las zonas de planicies (UAQ, 2003).

Hidrológicamente, la microcuenca forma parte de la subcuenca del río Querétaro, que a su vez es tributario del río Laja y por lo tanto, es una más de las microcuencas de la parte alta de la Cuenca

Lerma-Chapala. Su principal sistema hidrográfico en la parte alta, está compuesto por los arroyos “La Rivera” y “La Presita”, mismos que se unen en la parte media y forman la corriente principal cuyo punto de salida y el cierre de la microcuenca se encuentra en el bordo El Nabo. A esta corriente principal se le une un arroyo por margen izquierda que atraviesa la localidad del Nabo. Por lo general, el sistema de drenaje es de tipo dendrítico cuya dirección de los escurrimientos es de noroeste a sureste. Por las condiciones climatológicas de la región, las corrientes son intermitentes y solo llevan agua durante períodos cortos durante y después de las tormentas (UAQ, 2003).

Por lo que toca a la infraestructura hidráulica, ésta es muy escasa dentro de la microcuenca; el principal almacenamiento lo constituye la presa “Los Ángeles”, ubicada inmediatamente aguas arriba de la localidad de Mompaní y que dispone de una capacidad de 0.6 millones de m³, pero con un nivel de azolvamiento muy importante. La siguiente obra en importancia es el bordo “El Nabo” que tiene una capacidad de almacenamiento de 0.3 millones de m³. En conjunto, el volumen total de almacenamiento de toda la infraestructura existente en la microcuenca no supera el millón y medio de metros cúbicos (UAQ, 2003).

En esta microcuenca se encuentra una diversidad a nivel de ecosistemas correspondiente a cinco tipos de vegetación, de los cuales uno presenta una asociación vegetal diferente. Estos son Bosque de *Quercus* (encinares), Matorral espinoso de *Acacia* (huisachales) y de *Prosopis* (mezquites), Bosque tropical caducifolio y Pastizales. Por lo mismo, su diversidad florística es alta, ya que gran cantidad de especies componen principalmente los bosques de *Quercus* y el Bosque tropical caducifolio y en segundo lugar el resto de matorrales y pastizales. En forma preliminar la flora cuenta con 48 familias, 134 géneros y 154 especies (UAQ, 2003).

El bordo El Nabo, ubicado a la salida de la microcuenca tienen la función de regulación de avenidas para evitar desastres aguas abajo, sobre todo limitar los escurrimientos pico en la presa El Cajón, así como disminuir las inundaciones en el pueblo y fraccionamiento de Jurica (UAQ, 2003).

Las localidades dentro de la microcuenca son la llamada con el mismo nombre El Nabo, Acequia Blanca, Juriquilla, Mompaní, Jurica Pueblo, Juriquilla, Provincia Juriquilla, Ojo de Agua, San Isidro el Alto, San Isidro el Viejo y San Miguelito (UAQ, 2003). La población dentro de la microcuenca, tiene características rurales pero con una fuerte tendencia a convertirse en urbana, esta situación se refleja en el hecho de que el 60 % de la población económicamente activa se desempeña en el sector secundario y servicios, en contraste con el 8 % de la PEA que aún desempeña labores agropecuarias (Fuente INEGI, 2000). La principal fuente de ingresos económicos no proviene del

campo y por lo mismo estas actividades han dejado de ser prioritarias para la mayoría de los habitantes de la localidad (UAQ, 2003).

La actividad agrícola y pecuaria de la microcuenca es mínima, se limita al autoconsumo y es de muy bajo rendimiento, lo que ha propiciado un paulatino abandono de las actividades agropecuarias y su reemplazo por actividades más lucrativas de tipo urbano. Esto provoca igualmente una desvalorización de los recursos naturales de la microcuenca, donde sólo los pobladores de mayor edad siguen interesados en una escasa producción agropecuaria, pero con fuertes limitaciones que favorecen a un proceso de cambio de uso del suelo de lo rural a lo urbano, esto último incentivado además por las grandes presiones del crecimiento urbano (UAQ, 2003).

7.1.2. Diagnóstico físico del sistema fluvial

Con la finalidad de tener resultados representativos de la parte alta, media y baja de la microcuenca El Nabo, se determinaron tres sitios de muestreo (estaciones) en el arroyo La Ladera, mostrados en la figura 5. En cada una de estas estaciones se llevaron a cabo las actividades y toma de mediciones correspondientes para cada una de las metodologías aplicadas.

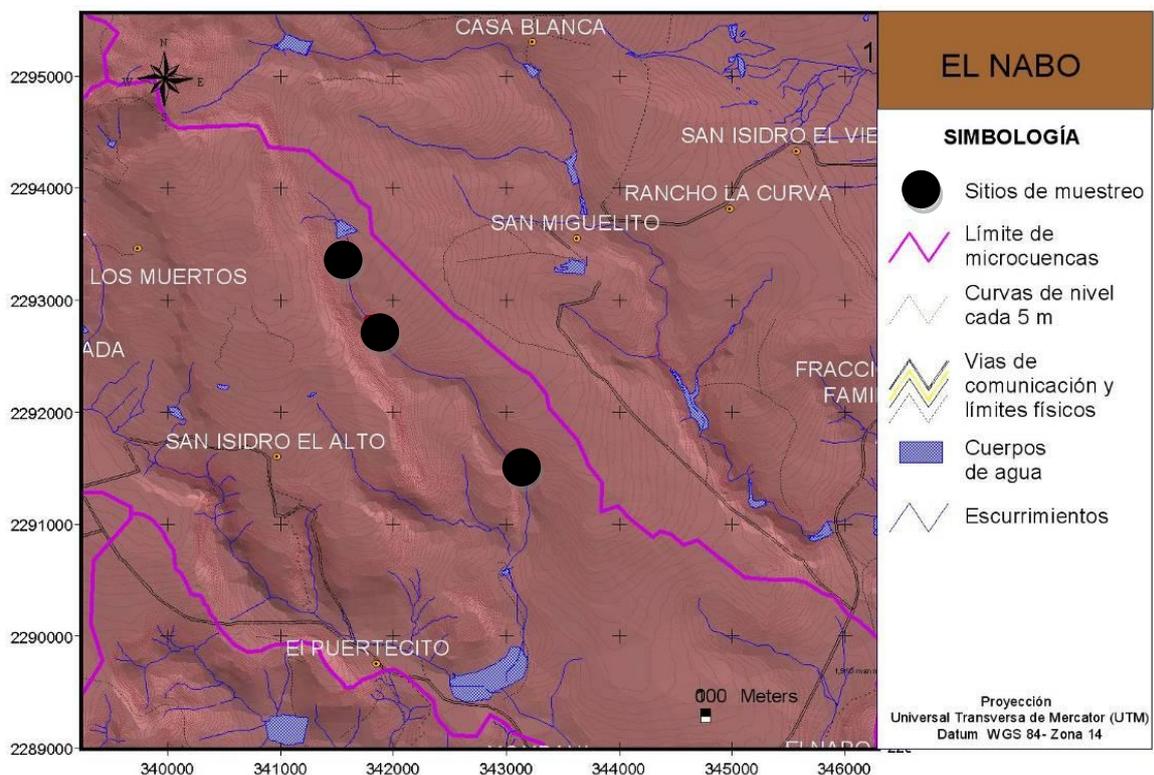


Figura 5. Puntos de muestreo (Estaciones) de la Microcuenca El Nabo.

ESTACIÓN 1

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Este arroyo corresponde a la parte alta de uno de los arroyos tributarios de la Presa Los Ángeles, posterior al bordo El Nabo, localizado cercano a la Localidad San Miguelito. En el transcurso del cauce se observan obras de retención de suelos como son presas de gaviones, las cuales ya se encuentran en su mayoría azolvadas. Es un arroyo que por ser intermitente no presenta flujo de agua en gran parte del año.

Tabla 7. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 1, Microcuenca El Nabo.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Ladera (cuenca alta)				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	El Nabo	Localidad:	San Miguelito
Latitud:	341,595	Longitud:	2,293,272	Altitud:	2,170 msnm
Orden:		1	Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	3.75 m
Profundidad media:	0.22 m
Tasa ancho/profundidad ($TAP/P=AMR/P$):	17.05
Profundidad máxima:	0.48 m
Ancho del área de inundación (AAI):	5.90
Tasa de confinamiento ($TC=AAI/AMR$):	1.57
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}):	Guijarros pequeños
Pendiente ($GP=h/d$):	0.01
Sinuosidad ($S=l_c/l_v$):	1.03
Tipo de corriente:	B3c



Figura 6. Vista del arroyo La Ladera en la Microcuenca El Nabo.

De acuerdo a la metodología de Rosgen y Silvey 1998, las corrientes tipo B se caracterizan por ser corrientes de un solo canal, de moderadas a fuertes pendientes, a menudo denominados corrientes rápidas. Los altos radios de altura y profundidad y el flujo moderado lo hacen resistente a cambios de cuenca.

Este arroyo es de tipo B3c (tabla 7), que son sistemas de trincheras moderadas, se desarrollan como vastos abanicos aluviales, con depósitos rezagados, proveniente de escombros, rocas caídas y otros depósitos.



La morfología del fondo acuático es dominada por guijarros, además de pequeñas rocas, grava y arena. Por lo general tienen un área de inundación bien definida con meandros y un sistema de rabión estanco bien definido. Se caracterizan por ser angostos y moderadamente pronunciados. Las orillas del arroyo son estables debido al basto material. La sinuosidad debe ser mayor a 1.2, sin embargo, en el arroyo La Ladera este es un factor que se encuentra alterado, teniendo una sinuosidad de 1.03 debido a las alteraciones que se han hecho con la construcción de presas gaviones, además del bordo el Nabo el cual queda aguas arriba.

Figura 7. Sistema de rabión-estanco en el arroyo La Ladera de la Microcuenca El Nabo.

La figura 8 nos muestra el perfil del arroyo La Ladera en la parte alta, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

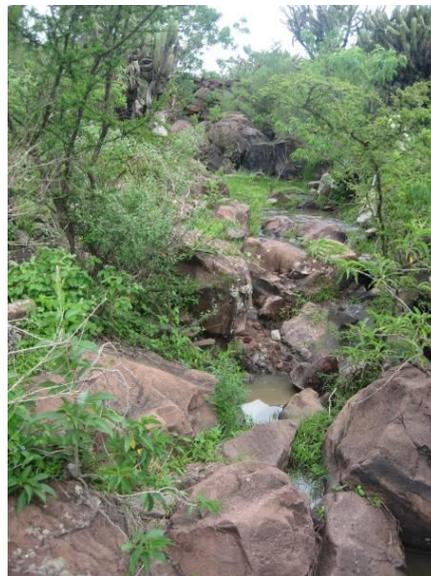
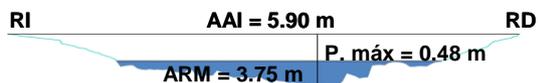


Figura 8. Perfil e imagen del arroyo La Ladera (Estación 1).

El tamaño de partícula dominante en la Estación 1 de la Microcuenca El Nabo son los guijarros pequeños seguida por guijarros grandes y rocas medianas (figura 9).

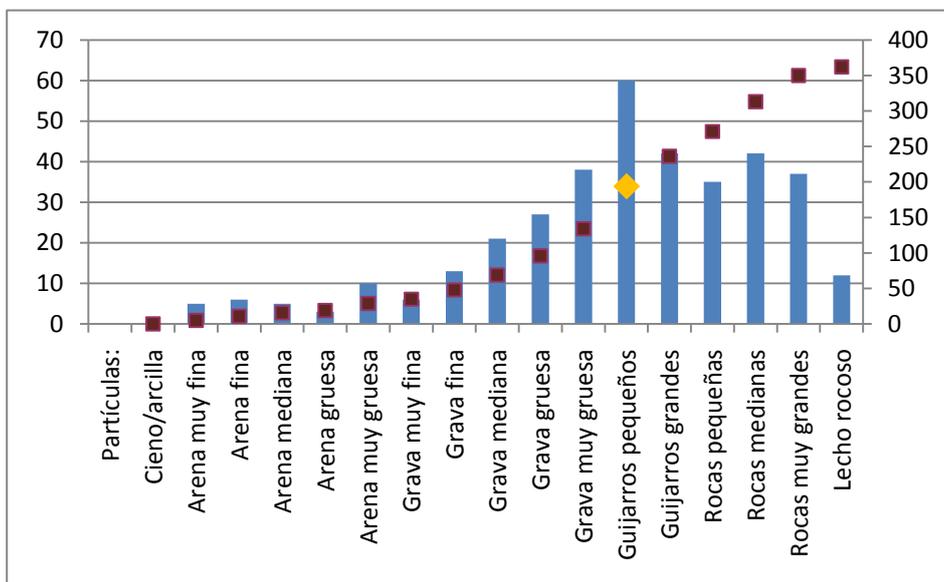


Figura 9. Tipo de partículas presentes en la estación 1, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

Con respecto a la calidad ambiental visual del cauce, se calificaron las variables mostradas en la tabla 8, dependiendo del gradiente del cauce. Para la parte alta del Arroyo La Ladera se determinó una categoría de Óptimo debido a que las condiciones y características del cauce se encuentran en muy buen estado, presentándose como única alteración la construcción de terrazas filtrantes para la retención de suelos que se hicieron en un tramo del arroyo (figura 9). La calificación más baja se obtuvo en los patrones de velocidad/profundidad debido a que no se observó el patrón rápido/profundo (figura 10), probablemente debido al bordo que se encuentra aguas arriba, así como las presas filtrantes que están deteniendo la velocidad del flujo de la corriente.



Figura 10. Imagen de terraza filtrante y protección vegetal de las riberas en la parte alta del arroyo La Ladera, Microcuenca El Nabo.

Tabla 8. Calidad Ambiental Visual de la Estación 1, Microcuenca El Nabo.

Gradiente	Alto	
Sustrato disponible para la epifauna	19	
Embebimiento	18	
Patrones de Velocidad/profundidad	15	
Gradiente de Sedimentación	18	
Status del flujo	19	
Alteraciones del canal	16	
Frecuencia de Riffles	18	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 9	Derecha: 9
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 9	Derecha: 9
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 9	Derecha: 9
ICAV	177	
Categoría ICAV	Óptimo	

ESTACIÓN 2

Determinación del estado más probable y morfometría de los cauces

Este arroyo corresponde a la parte media de uno de los arroyos tributarios de la Presa Los Ángeles, localizado cercano a la Localidad San Miguelito. Esta parte del arroyo se caracteriza por ser una cañada, cuyas laderas son muy pronunciadas. Por ser un arroyo intermitente no presenta flujo de agua en gran parte del año.

Tabla 9. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 2, Microcuenca El Nabo.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Ladera (cuenca media)				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	El Nabo	Localidad:	San Miguelito
Latitud:	341,792	Longitud:	2,292,824	Altitud:	1,140 msnm
Orden:	1		Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	3.10 m
Profundidad media:	0.21 m
Tasa ancho/profundidad (TAP/P=AMR/P):	14.76
Profundidad máxima:	0.35 m
Ancho del área de inundación (AAI):	6.47 m
Tasa de confinamiento (TC=AAI/AMR):	2.09
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D₅₀):	Guijarros grandes
Pendiente (GP=h/d):	0.05
Sinuosidad (S=lc/lv):	1.08
Tipo de corriente:	B3a

Las corrientes tipo B3a, de acuerdo a lo obtenido con los datos mostrados en la tabla 9, se caracterizan por contar con un cauce moderadamente confinado y una llanura de inundación no completamente definida. Las pendientes son moderadas y tienen secuencias marcadas de rabión-estaque (figura 11). Los intervalos de ancho-profundidad de todos los arroyos de tipo B, permiten que este tipo de arroyos sean muy resilientes a los cambios en la cuenca y sus tasas de erosión son bajas. Al igual que en el arroyo La Ladera 1 la sinuosidad es menor a lo establecido en la clasificación de Roseen y Silvey, presumiblemente por los mismos motivos, al tratarse del mismo cauce a pesar de estar corriente abajo.



Figura 11. Imagen de estanque característico en todo el arroyo La Ladera (Estación 2).

La figura 12 nos muestra el perfil del arroyo La Ladera en su parte media, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

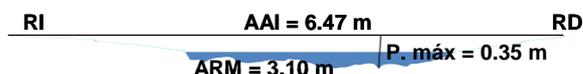


Figura 12. Perfil e imagen del arroyo La Ladera (Estación 2).

El tipo de partícula dominante en la Estación 2 de la Microcuenca El Nabo fueron las rocas pequeñas, seguida de guijarros grandes (figura 13).

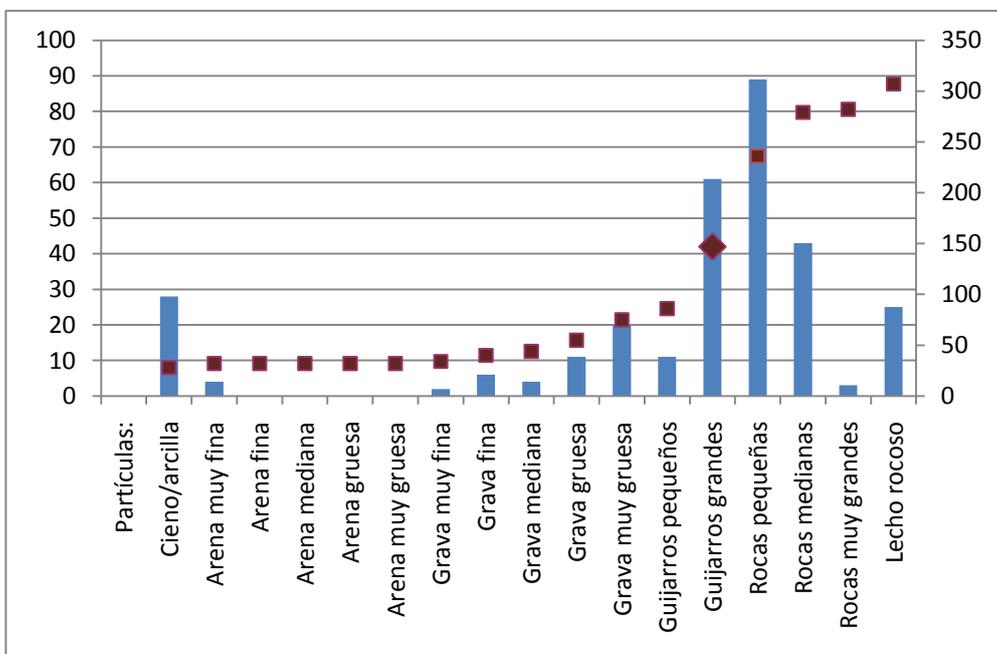


Figura 13. Tipo de partículas presentes en la estación 2, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

Para la parte media del Arroyo La Ladera, con gradiente alto, y al igual que en la parte alta se determinó una categoría de Óptimo, con una diferencia de 2 puntos mayor para este caso, debido a que en este tramo del arroyo se observa menor influencia del hombre (figura 14), por lo tanto el parámetro de alteraciones del canal obtuvo una mejor calificación. No obstante lo anterior, en los patrones de velocidad/profundidad continuó sin observarse el patrón rápido/profundo, siguiendo la sinergia del cauce aguas arriba (tabla 10).



Figura 14. Imagen de sustrato disponible para la epifauna y vegetación presente en las laderas del arroyo La Ladera, Estación 2, Microcuenca El Nabo.

Tabla 10. Calidad Ambiental Visual de la Estación 2, Microcuenca El Nabo.

Gradiente	Alto	
Sustrato disponible para la epifauna	19	
Embebimiento	18	
Patrones de Velocidad/profundidad	15	
Gradiente de Sedimentación	18	
Status del flujo	19	
Alteraciones del canal	18	
Frecuencia de Riffles	18	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 9	Izquierda: 9
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 9	Izquierda: 9
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 9	Izquierda: 9
ICAV	179	
Categoría ICAV	Óptimo	

ESTACIÓN 3

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Este arroyo se encuentra previo a la Presa Los Ángeles y se caracteriza de orden 2 debido a que es alimentado por los arroyos La Ladera y La Rivera. Se encuentra relativamente cercano a la Localidad de Mompaní. Esta parte del arroyo se caracteriza por ser una cañada, cuyas laderas son muy pronunciadas. Por ser un arroyo intermitente no presenta flujo de agua en gran parte del año.

Tabla 11. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 3, Microcuenca El Nabo.

Nombre del arroyo:	Arroyo Las Tortugas				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	El Nabo	Localidad:	Mompaní
Latitud:	343,315	Longitud:	2,291,459	Altitud:	
Orden:		2	Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	6.55 m
Profundidad media:	0.51 m
Tasa ancho/profundidad (TAP/P=AMR/P):	12.84
Profundidad máxima:	0.9 m
Ancho del área de inundación (AAI):	11.12 m
Tasa de confinamiento (TC=AAI/AMR):	1.70
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D₅₀):	Guijarros grandes
Pendiente (GP=h/d):	0.04
Sinuosidad (S=l_c/l_v):	1.02
Tipo de corriente:	B3a

Al tratarse del mismo arroyo, este tramo resultó ser B3c (tabla 11), lo que nos indica que las características del arroyo en diferentes tramos es constante, lo cual se puede intuir durante el recorrido en campo y la observación de las características del arroyo y de sus alrededores. Entre el Bordo El Nabo en la Localidad San Miguelito y La presa Los Ángeles en la Localidad de Mompaní, se localiza este arroyo, el cual aparenta no tener grandes disturbios y se mantiene en buen estado.

La figura 15 nos muestra el perfil del arroyo Las Tortugas, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

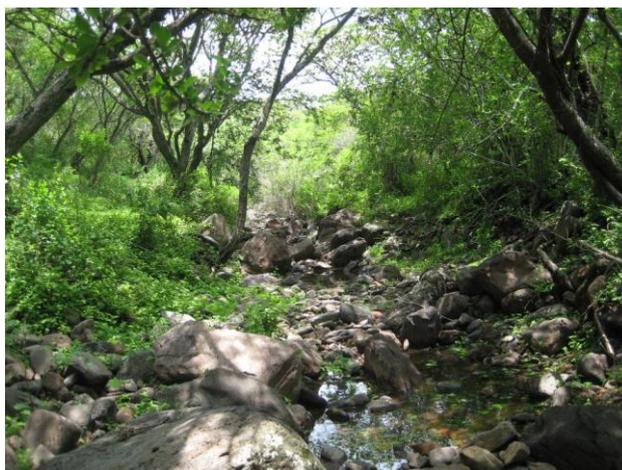
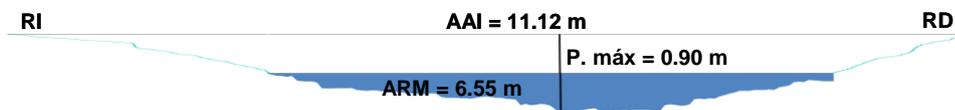


Figura 15. Perfil e imagen del arroyo Las Tortugas (Estación 3), Microcuenca El Nabo.

Las partículas más frecuentes para la Estación 3 en la Microcuenca El Nabo son los guijarros grandes y rocas pequeñas, no encontrándose partículas pequeñas (figura 16).

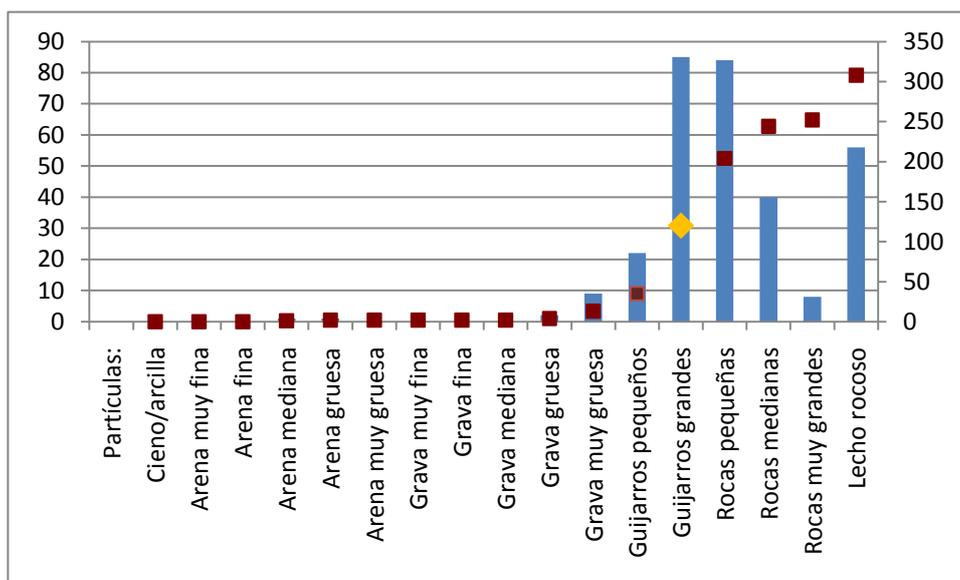


Figura 16. Tipo de partículas presentes en la estación 3, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

La Calidad Ambiental Visual del Arroyo Las Tortugas, también considerado y calificado como gradiente alto, fue la que obtuvo una mayor calificación con respecto a los tramos del arroyo aguas arriba (tabla 12), contrario a lo que pudiera esperarse por formar parte de una de las zonas más bajas de la microcuenca y cercano a la Presa Los Ángeles. Sin embargo, se observa un arroyo en muy buenas condiciones al categorizarlo como óptimo, ya que no hay alteraciones, a excepción de un poco de pastoreo. La vegetación de las riberas se encuentra en muy buen estado, teniéndose especies vegetales nativas como lo son *Lysiloma microphyllum*, *Burseras* y *Leucaena leucocephala*, entre otras (figura 17). Al igual que aguas arriba, no se tuvo la presencia del patrón velocidad/profundidad de rápido/profundo, en donde se tiene la calificación mas baja.



Figura 17. Imagen de estanque y bosque de *Lysiloma microphyllum* en arroyo Las Tortugas y laderas (Estación 3), Microcuenca El Nabo.

Tabla 12. Calidad Ambiental Visual de la Estación 3, Microcuenca El Nabo.

Gradiente	Alto
Sustrato disponible para la epifauna	19
Embebimiento	18
Patrones de Velocidad/profundidad	15
Gradiente de Sedimentación	18
Status del flujo	19
Alteraciones del canal	17
Frecuencia de Riffles	18

Estabilidad de las riberas	Izquierda: 9	Izquierda: 9
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 9	Izquierda: 9
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 9	Izquierda: 9
ICAV	178	
Categoría ICAV	Óptimo	

7.1.3. Caracterización de vegetación riparia y determinación del Índice de Integridad Biótica basada en asociaciones de Macroinvertebrados

Estructura y composición de la vegetación riparia

Considerando las tres estaciones de la Microcuenca El Nabo se encontraron 23 especies de plantas riparias, de las cuales 16 son leñosas pertenecientes a 14 géneros y 11 familias, destacando *Ipomoea murucoides* con mayor valor de importancia para la estación 1, *Condalia mexicana* para la estación 2 y *Lysiloma microphyllum* para la estación 3, ésta última con un valor muy por encima con respecto a las demás especies encontradas en la misma estación (tabla 13 y figura 18).

Tabla 13. Valor de importancia de las especies arbóreas de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca El Nabo.

Microcuenca El Nabo			
Especies	Estación	Estación	Estación
	1	2	3
<i>Acacia farnesiana</i>	56.63	38.94	28.47
<i>Acacia schaffneri</i>	35.88		
<i>Condalia mexicana</i>	19.68	52.69	
<i>Ipomoea murucoides</i>	84.26	21.58	16.54
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	26.89	16.09	14.47
<i>Lysiloma microphyllum</i>			114.06
<i>Zaluzania augusta</i>	27.88	15.53	
<i>Bursera fagaroides</i>		14.01	49.21
<i>Dodonaea viscosa</i>		9.58	
<i>Forestiera phillyreoides</i>		18.07	

<i>Iresine grandis</i>	22.19	
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	12.06	14.84
<i>Prosopis laevigata</i>	19.79	
<i>Randia nelsonii</i>	49.77	41.80
<i>Bursera galeottiana</i>		20.60
<i>Leucaena leucocephala</i>	48.78	9.66



Figura 18. Vegetación representativa de la Microcuenca El Nabo en donde se pueden observar las especies *Myrtillocactus geometrizans*, *Acacia schaffneri*, *Zaluzania augusta*, *Dodonaea viscosa* e *Ipomoea murucoides*.

En la tabla 14 se muestran los resultados de los análisis de índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson, así como el índice de riqueza de Margalef de la vegetación riparia para la Microcuenca El Nabo. El resultado del índice de Margalef indica baja riqueza, siendo la Estación 2 la que presenta el mayor valor con 2.810, ya que valores inferiores a 2 se refieren a índices bajos de riqueza y valores superiores a 5 nos indican alta diversidad. Con respecto al índice de Shannon-Wiener de 1.812 a 2.431 en las tres estaciones, y tomando en consideración la relación de este valor con la contaminación orgánica de los ambientes acuáticos de Wilhm y Dorris en 1995, nos muestra que se trata de aguas ligeramente contaminadas. El índice de diversidad de Simpson, cuyos resultados varían entre 0.977 a 0.818, nos indican zonas de baja biodiversidad.

Para todos los índices aplicados, el mayor resultado se presentó en la parte media de la microcuenca o Estación 2 y el mayor número de individuos se presentó para la parte alta o Estación 1.

Tabla 14. Índices de riqueza y diversidad de la vegetación riparia de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca El Nabo.

Índices	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Número de especies	10	16	12
Número de individuos	461	208	261
Índice de diversidad de Shannon-Wiener	1.850	2.431	1.812
índice de diversidad de Simpson	0.818	0.890	0.782
Índice de riqueza de Margalef	1.467	2.810	1.977

Índice de Integridad Biótica basado en Macroinvertebrados

Con respecto a la identificación de los organismos colectados en los 9 muestreos de la Microcuenca El Nabo se encontraron 46 familias, pertenecientes a 14 órdenes, la abundancia en las partes alta, media y baja de la microcuenca fue similar, no encontrándose alguna familia con particular abundancia, en general se encontraron pocos individuos de las diferentes familias encontradas (figura 19).



Figura 19. Macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de muestreo. Familias de izquierda a derecha: Baetidae, Saldidae, Macrovelidae, Curculionidae, Hidrochidae.

Al aplicar el IIBAMA se encontró que todos los sitios de muestreo se encuentran dentro de la categoría de pobre, siendo la parte media de la cuenca la que obtuvo un mayor índice de

integridad biótica, alcanzando 12 puntos. La parte alta y baja de la Microcuenca El Nabo, coincidieron con 6 puntos (tabla 15).

Tabla 15. Resultados del Índice de Integridad Biótica basado en Asociaciones de especies de Macroinvertebrados Acuáticos.

ESTACIÓN	RT	REPT	RII	#TI	T.		IIBAMA	Categoría
					Media	#TF		
Arroyo La Ladera (Cuenca Alta)	18	1	4	7	6.313	7	6	POBRE
Arroyo La Ladera (Cuenca Media)	29	1	10	12	6.261	9	12	POBRE
Arroyo Las Tortugas (Cuenca Baja)	21	0	6	7	6.400	5	6	POBRE

Riqueza de taxa (RT), Número de familias de EPT (REPT), Número de taxa de insectos intolerantes (RII), Número de taxa intolerantes (#TI), Valor de la tolerancia media (T. Media), Número de taxa fijos al sustrato (#TF)

La tabla 16 nos muestra los parámetros químicos del agua de los sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos. Se observa que todos los parámetros son muy similares en los sitios de las estaciones 1 y 2, presentando pequeñas variaciones en los tres sitios de la estación 3.

Con respecto a la temperatura, la cual afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran en el agua, se obtuvo una temperatura aproximada de entre 17 y 18°C, llegando a más de 20°C en el caso de la Estación 3.

La demanda de oxígeno está por debajo de los 3 mg/L en todos los sitios, lo que nos indicaría aguas no contaminadas con un criterio de excelente calidad de acuerdo a lo establecido por la CNA en el 2005. El potencial de hidrógeno (pH), el cual se encuentra en un intervalo entre 6.99 y 7.99, nos indica aguas neutrales, cuyos rangos brindan protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el fondo (Abarca, 2007). La cantidad de sólidos disueltos totales se encuentran alrededor de los 150 ppm para las estaciones 1 y 2, siendo menores los datos (60 ppm aproximadamente) para los sitios de la estación 3. La conductividad presenta la misma tendencia, siendo menores los datos para la estación tres, con cantidades de aproximadamente 120 μ S/cm y en las otras dos estaciones datos superiores a 280 μ S/cm.

Tabla 16. Parámetros químicos de las zonas de muestreo de macroinvertebrados acuáticos.

Parámetros	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Temperatura (°C)	18.05	17.75	17.98	18.02	17.64	17.93	19.66	20.11	19.39
Conductividad (µS/cm)	296	288	289	292	285	286	127	123	117
Sólidos disueltos totales (ppm)	156	153	154	146	143	144	60	62	59
Demanda de Oxígeno (mg/L)	1.90	2.10	1.90	1.80	2.15	1.95	1.15	0.76	1.18
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.73	7.83	7.72	7.93	7.83	7.82	7.1	6.99	7.51

7.1.4. Validación social de la información

Para el caso de la Microcuenca el Nabo, se tuvo acercamiento con habitantes de las localidades San Miguelito y Mompaní de manera independiente, este primer acercamiento fue a través del acompañamiento en el transcurso del trabajo de campo mediante entrevistas semiestructuradas con informantes claves, en ambos casos fue con ejidatarios del Ejido Mompaní y el Ejido San Miguelito, ya que toda la zona de estudio perteneciente a esta microcuenca forman parte de ambos ejidos.

Debido a que los puntos de muestreo son zonas muy poco transitadas por la gente y en ocasiones no existen caminos para llegar a las partes del arroyo de interés, este acompañamiento fue de suma importancia ya que además de ser guías, durante el recorrido se proporcionó información sobre los cauces y se generó un ambiente cordial y de confianza con los acompañantes, además de que apoyaron en el trabajo de campo de manera significativa.

Entre la información que el ejidatario de la localidad San Miguelito proporcionó durante estos recorridos destaca la explicación de la construcción de las presas filtrantes elaboradas sobre el arroyo, en donde manifiesta *“nosotros sabemos que la construcción de estas presas filtrantes son para que el agua no escurra para abajo y no se inunden Jurica, Juriquilla y todas esas colonias, aunque si nos interesó hacerlo porque nos pagaron por el trabajo con el programa de Empleo Temporal; desafortunadamente los de la SEMARNAT ya no han venido a verificar y ahorita las presitas están azolvadas”*. Se platicó sobre la problemática que existe entre los ejidatarios con respecto al uso que se le quiere dar a estas tierras ejidales, ya que algunos están siendo influenciados por personas externas, principalmente desarrolladores de vivienda, quienes tienen gran interés por comprar sus tierras. No obstante lo anterior, el Comisariado Ejidal, junto con otro

grupo de ejidatarios se encuentran sumamente interesados en conservar sus tierras y evitar la venta de las mismas.

Cabe destacar que existe una gran desconfianza con los procesos de intervención por parte de las autoridades, sobretodo con el tema del Área Natural Protegida, lo cual se vio reflejado en un acercamiento agresivo por parte de un habitante de la localidad San Miguelito, quien durante un muestreo de vegetación se acercó con preguntas insistentes “¿vienen del gobierno?, ¿van a hacer un parque?, ¿nos van a quitar nuestras tierras?, quiero que me expliquen qué están haciendo aquí y si tienen permiso de estar aquí” fueron algunas de las preguntas que hizo, las cuales fueron aclaradas y posterior a la explicación y una plática de lo que se estaba haciendo se tranquilizo drásticamente e incluso aclaró algunas dudas que se tenían con respecto a los nombres de las especies vegetales que se estaban encontrando. Sin embargo, esta acción nos mostró una actitud de desconfianza y a la defensiva con respectos a la intervención por parte de agentes externos dentro de su ejido, sobretodo en cuanto al gobierno se refiere.

En el caso de la localidad de Mompaní, fuimos acompañados por un ejidatario de los que tienen mayor edad, por lo que nos comentó que en su caso les interesa que la parte del arroyo permanezca conservada “nosotros, sobretodo los ejidatarios, que somos gente adulta nos interesa conservar nuestro cerro y arroyos, lo bueno es que nadie pasa por aquí porque los jóvenes ya no viven aquí o están dedicados a otras cosas y no les interesa toda esta parte, eso es bueno porque no vienen a perturbar a la naturaleza”, derivado de lo anterior la gente casi no tiene acceso a esta parte, lo cual se puede verificar con el hecho de que no existe camino para llegar a la mayor parte del transcurso del cauce. Don Carmen (figura 20) nos comentó que los únicos cambios que han sufrido el arroyo y la vegetación circundante a través del tiempo han sido como consecuencia de la falta de lluvias que se han venido presentando en los últimos años. Los cambios más drásticos que ellos han percibido con respecto a las características naturales de la microcuenca es la ausencia de algunos animales, sobretodo mamíferos, los cuales eran vistos anteriormente y en las últimas dos décadas casi no se los han encontrado, en particular los venados y pumas.

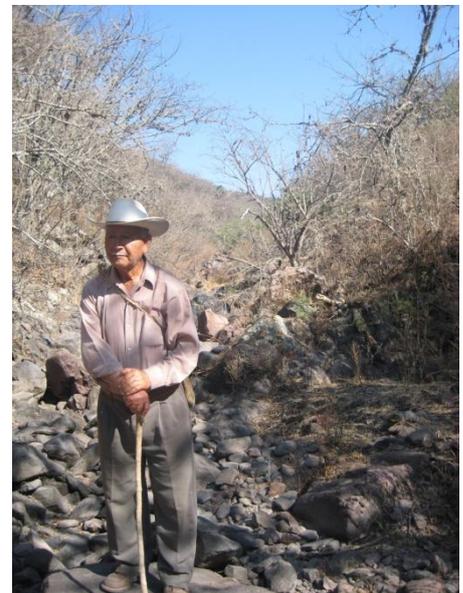


Figura 20. Don Carmen, acompañante e informante clave de la Localidad Mompaní.

Una vez terminado el trabajo de campo y con el análisis de los resultados, como método de validación de la información generada, se hizo una entrevista semiestructurada a través de una

reunión con cinco personas de la localidad de San Miguelito, entre los que destacan el Comisariado Ejidal y cuatro ejidatarios; y cuatro personas de la Localidad Mompaní en donde nos acompañaron dos ejidatarios, el encargado de la seguridad del ejido y un habitante de Mompaní interesados en la conservación del medio ambiente. En ambas localidades todos fueron del sexo masculino.

Esta reunión, llevada a cabo el 2 de octubre de 2011 en la Casa Ejidal de San Miguelito consistió en explicarles los objetivos del proyecto de tesis, los conceptos generales y resultados que se obtuvieron, así como comentarles la importancia que tiene que formen parte de un Área Natural Protegida. Esta explicación se apoyó de mapas, fotografías y esquemas que la simplificaron (figura 21). Una de las principales intenciones de esta reunión de validación fue conocer el interés y conocimiento de los informantes con respecto al tema, así como detectar la forma en como los informantes perciben su entorno y los cambios asociados al mismo (Córdova, 2010).

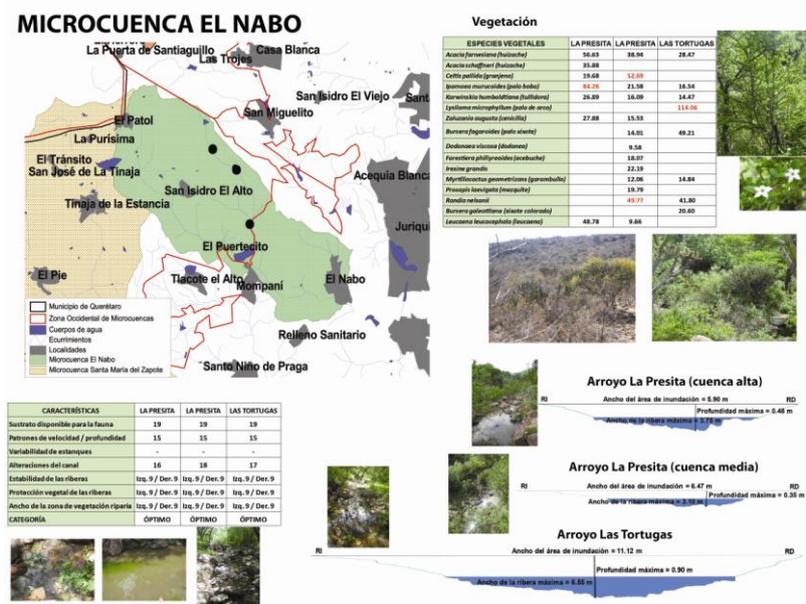


Figura 21. Material de apoyo para la reunión de validación con habitantes de las localidades San Miguelito y Mompaní de la Microcuenca El Nabo.

Los informantes de ambas localidades validaron de manera satisfactoria los resultados presentados que se obtuvieron durante el desarrollo del presente estudio. Entre los aspectos que destacaron y que preocupan de manera significativa a los habitantes de la localidad San Miguelito y que ya se habían mencionado en los recorridos en campo, son los conflictos que se tienen entre ejidatarios con el uso de las tierras ejidales, las cuales anteriormente se encontraban dentro del ANP Zona Occidental de Microcuencas, pero debido a un amparo, a partir de 2009, dejó de formar parte de esta zona de conservación. Derivado de este conflicto de intereses, se formaron dos

grupos de ejidatarios en donde se llegó incluso a una demanda contra el Comisariado Ejidal, quien se encuentra sumamente interesado en la conservación (figura 22).



Figura 22. Explicación de resultados obtenidos a habitantes de las localidades San Miguelito y Mompaní de la Microcuenca El Nabo.

Con respecto a las condiciones naturales del arroyo, reafirmaron que la única intervención que se le ha hecho al cauce es la construcción del bordo y, derivado del programa de Empleo Temporal promovido por la SEMARNAT se hicieron presas filtrantes en la parte alta del arroyo La Ladera, con la finalidad de evitar escorrentías aguas abajo que provocaran inundaciones.

Las personas de las localidades de Mompaní y San Miguelito coinciden y mencionan que últimamente las condiciones climáticas han modificado el nivel de escurrimiento del arroyo, el cual presentaba agua durante más tiempo y en mayor cantidad a la que actualmente han visto y a lo obtenido en los resultados del Estado Más Probable, mencionan de la misma manera que la vegetación también ha sido afectada por estos cambios en los fenómenos climáticos y se hace evidente en las nopaleras, las cuales se están cayendo y cada vez observan menos cantidad de este tipo de vegetación, por lo que mostraron un amplio interés por un proyecto de reforestación con nopales en las laderas del arroyo.

Los informantes se encuentran sumamente interesados en la construcción de una presa o bordo, principalmente para abrevadero y recreación, ya que los habitantes de ambas localidades, especialmente los de San Miguelito, necesitan de un espacio de esparcimiento para los fines de semana. Aunado a lo antes mencionado, comentan la posibilidad de desarrollar algún proyecto ecoturístico, ya que identifican zonas con alto potencial para este tipo de actividades, como es el propio arroyo, dos cuevas, pendientes aptas para una tirolesa, entre otros (figura 23). El proyecto ecoturístico les interesa debido a que han observado que mucha gente de la ciudad se acerca en bicicletas los fines de semana y consideran que es una buena oportunidad de desarrollo e ingreso económico.



Figura 23. Fotografías del bordo El Nabo y vista del arroyo La Presita.

Un aspecto derivado del proceso de validación en cuanto a la vegetación de la zona y que es importante de destacar es el hecho de que mencionan que el palo bobo (*Ipomoea murucoides*), la cual es una especie nativa y muy abundante en toda la zona, ha representado una problemática para sus caballos y ganado, los cuales se han enfermado o muerto al consumir sus ramas, por lo que también expresaron un amplio interés por erradicarlo, lo cual representaría un cambio abrupto en la dinámica del ecosistema, ya que esta especie es de vital importancia en la selva baja caducifolia, tipo de vegetación presente en la zona, por su capacidad de retención del suelo, se tendría una alteración del paisaje, es fundamental como hábitat de microorganismos, así como es un elemento fundamental en cadenas tróficas dentro del ecosistema. Sin embargo, no se puede ignorar el hecho de que esta especie está siendo un problema para los animales, dando como consecuencia una afectación en los dueños del ganado, por lo que se tendría que desarrollar algún proyecto alternativo evitando esta problemática para los animales, pero sin afectar un elemento indispensable en el funcionamiento del ecosistema como es el palo bobo.

En la microcuenca han incidido proyectos de reforestación impulsados por dependencias de gobierno, particularmente la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), pero han fracasado ya que estas acciones son ejecutadas en temporada de sequía, por lo que las especies reforestadas no sobreviven, además de que algunas de las especies no son las adecuadas, como el eucalipto, que en lugar de representar un beneficio, se ha convertido en una problemática para el suelo y una amenaza para las especies nativas de la zona, situación que algunos de los informantes conocían. Sin embargo, un par de personas se vieron sumamente sorprendidos con esto y entendieron por qué alrededor de este tipo de árboles no crecía ningún tipo de vegetación, incluyendo al pasto. También destacan el hecho de que todas las intervenciones y proyectos que se han llevado a cabo no han tenido un seguimiento y en su mayoría son abandonados “*las presas filtrantes están azolvadas y a nadie le interesa y todos los árboles que plantamos en enero se murieron y la gente que nos los dio no ha regresado a ver que a pasado con eso*”, mencionan los informantes.

En general la población que habita en esta microcuenca, principalmente las más cercanas a los arroyos en estudio, tienen muchas propuestas e ideas y un gran interés por la conservación, sin embargo, en el caso de San Miguelito, no pueden llevar a cabo proyectos para la ejecución de sus propuestas hasta que se resuelva el conflicto de intereses, por lo que solicitaron se presente este estudio y una plática a todos los ejidatarios *“nos gustaría que en una reunión nos platicará a todos que el gobierno no nos va a quitar nuestras tierras por ser parte de un área protegida, sino que podemos hacer proyectos que nos dejen dinero sin perder nuestros terrenos”*, esta fue una solicitud que hicieron para que se encuentren más y mejor informados y puedan tomar decisiones acertadas. Ya que identifican que el principal problema para la intervención son los conflictos sociales, en donde se está dando una falta de valoración del área por parte de algunos y muy poco interés por lograr un buen manejo de la misma (Córdova, 2010), por lo que para poder tener una propuesta de manejo ejecutable en la zona del Ejido San Miguelito debe primero atenderse los conflictos de tenencia de la tierra que actualmente se están presentando.

Esta problemática de tenencia de la tierra no se presenta en el Ejido de Mompaní, sin embargo, sus habitantes identifican claramente que si hay cambios de uso de suelo y modificaciones aguas arriba de la microcuenca por lo que ellos se verán directamente afectados generando un conflicto entre ejidos. En este caso, no existe gran interés por intervención o proyectos con respecto al cauce, únicamente les interesa conservar la zona, ya que sus usos y aprovechamiento del recurso agua se da a partir de la presa y aguas abajo.

7.2. MICROCUENCA SANTA MARÍA DEL ZAPOTE

7.2.1. Descripción

La microcuenca comprende una extensión de 5,843.3815 hectáreas y un perímetro de 43.24 kilómetros. Se encuentra a una altitud que va de los 1,800 a los 2,470 msnm (García, 2006).

De acuerdo con las características morfológicas de la microcuenca Santa María del Zapote, presenta una compacidad K_c de 1.584, lo cual indica que la relación entre el perímetro de la cuenca y su área distan de ser iguales, lo que nos da una cuenca alargada. Esta cuenca presenta un factor de forma de K_f 0.517 lo cual indica que por su forma alargada, tardará más en salir el agua desde el punto más alto hasta el punto de salida o desembocadura de la cuenca. Presenta una longitud de corrientes de 60.91 km con 36 corrientes de primer orden, 9 de segundo orden, y 3 de tercer orden (García, 2006).

Por lo que se refiere al relieve de la microcuenca presenta una pendiente media de 90.7 m por kilómetro, una elevación media de la cuenca de 2,014.01 m, la pendiente de la corriente principal es de 33.59 m por cada kilómetro. En cuanto a la relación hipsométrica (figura 24) nos da un valor de 1.38 lo que indica que la microcuenca esta pasando por un proceso de transición, de cuenca tipo B a C, donde es necesario la realización de obras de conservación suelo y agua en la parte alta y media de la misma, para lograr mantener el equilibrio morfológico de la microcuenca (García, 2006).

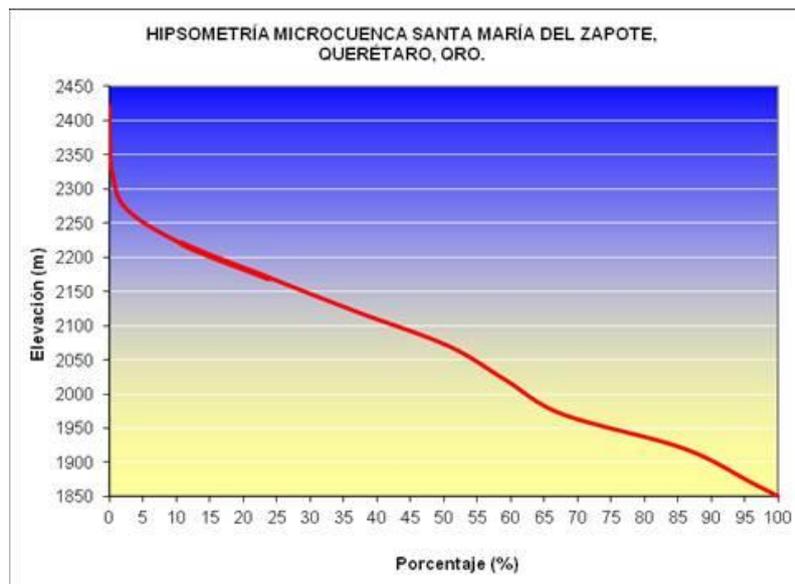


Figura 24. Curva hipsométrica de la Microcuenca Santa María del Zapote.

La microcuenca de Santa María del Zapote presenta un sistema de corrientes dendrítico, totalmente efímero. La información de INEGI 1:50 000 únicamente da nombre a cinco arroyos: arroyo Colorado, arroyo La Laja, La Víbora, La Estancia y El Muerto (García, 2006).

Por lo que respecta al agua subterránea, la microcuenca se encuentra ubicada sobre dos acuíferos: 5 % de su superficie sobre el valle de Buenavista (en equilibrio) y el 95 % restante sobre el Valle de Querétaro (sobreexplotado) (García, 2006).

En la microcuenca no se tiene el problema de inundación, debido a la orografía del terreno, correspondiendo la mayor parte de la superficie (78.58%) a pendientes que van de 0 al 10%, otras áreas de la microcuenca (15.75%) presentan pendientes del 10 al 25% y en la zona alta de la microcuenca se encuentran pendientes mayores al 25%, correspondiendo sólo a una superficie del 5.67%. El agua de lluvia escurre por los arroyos a la presa Santa María de El Zapote (García, 2006).

La erosión en la microcuenca es su totalidad hídrica. En la parte alta de la microcuenca se encuentran problemas de erosión considerada de acuerdo con clasificación de la FAO como de moderada a alta con valores de erosión de 51 a 200 ton/ha/año, esta zona presenta áreas desprovistas de vegetación, por lo cual requieren de atención inmediata, sobre todo en lugares con pendientes mayores al 8%, que se calculó en una extensión de 800 hectáreas (García, 2006).

La vegetación presente en la microcuenca de Santa María del Zapote se clasifica en seis tipos: Selva Baja Caducifolia, Matorral Espinoso de *Acacia*, Matorral Espinoso Perturbado de *Acacia*, Matorral Espinoso Perturbado de *Prosopis*, Pastizal Inducido, Bosque de Latifoliadas (Bosque de *Quercus*). La vegetación secundaria en este lugar es el resultado de una perturbación previa y recolonización que en gran parte de la microcuenca está dada por la aparición del palo bobo (*Ipomoea murucoides*) y pastos no nativos como *Richelitrum repens* (García, 2006).

En cuanto a la infraestructura hidráulica en la región de estudio de la microcuenca se limita a la existencia de 13 bordos de abrevadero con capacidad de almacenamiento variable, desde 1,200 m³ hasta los 3,000 m³. En la parte baja de la microcuenca se localiza la presa Santa María del Zapote, con capacidad de almacenamiento de 2 millones de m³ para regar 252 hectáreas, pero sólo 65 hectáreas de la microcuenca se benefician con esta obra. Esta presa fue construida en el año de 1976, anteriormente se llamaba "Las Chinitas" (García, 2006).

Para la conservación de los suelos, no se cuenta con infraestructura planificada e integral que permita detener la erosión y consecuentemente los problemas que se derivan de la misma. En años anteriores en forma aislada se desarrollaron programas de terrazas de piedra, zanjas derivadoras y reforestaciones que no han prosperado.

Otra de las acciones que se han realizado es la construcción de cercos para la protección del agostadero y consigo mismo las especies vegetales que quedan dentro de estas áreas.

La microcuenca está poblada por habitantes de seis localidades que son: Santa María del Zapote, La Purísima, Cerro Prieto, El Pie, Tinaja de la Estancia y El Tránsito. La población total de la microcuenca es de 1,782 habitantes, de los cuales 910 son hombres que representa el 51% y 872 mujeres que representa el 49 %, lo cual indica que la población esta en equilibrio (García, 2006).

En la microcuenca se dan dos tipos de organizaciones que son la civil y la ejidal. La civil esta representada por la autoridad de la Delegación que nombra en cada localidad a un Subdelegado municipal y un suplente, nombrando ellos mismos, entre los habitantes de la localidad, a sus policías auxiliares (García, 2006). La organización ejidal está representada por la Asamblea (que es la máxima autoridad), un Comisariado Ejidal (Presidente, Secretario y Tesorero) y un Consejo de Vigilancia (Presidente y dos Secretarios). Al interior del ejido se forman grupos de trabajo, nombrando un comité para la realización de diversas obras o para la gestión de programas a la comunidad (García, 2006).

La tenencia de la tierra en la microcuenca es de carácter ejidal y pequeña propiedad. Las tierras ejidales están compuestas por terrenos de tres ejidos: Ejido Santa María del Zapote, La Tinaja y Tlacote El Alto, aunque este ultimo ejido pertenece a otra microcuenca, sólo una parte de agostadero y algunas parcelas quedan dentro de esta microcuenca. Otra parte de la microcuenca 1,160 hectáreas corresponde al Estado de Guanajuato (García, 2006).

7.2.2. Diagnóstico físico del sistema fluvial

Con la finalidad de tener resultados representativos de la parte alta, media y baja de la microcuenca Santa María del Zapote, se trabajó en tres sitios de muestreo (estaciones) en el arroyo La Víbora, aguas arriba de la presa y arroyo La Estancia, aguas debajo de la presa (figura 25). Los resultados obtenidos corresponden a cada uno de los sitios de muestreo presentados.

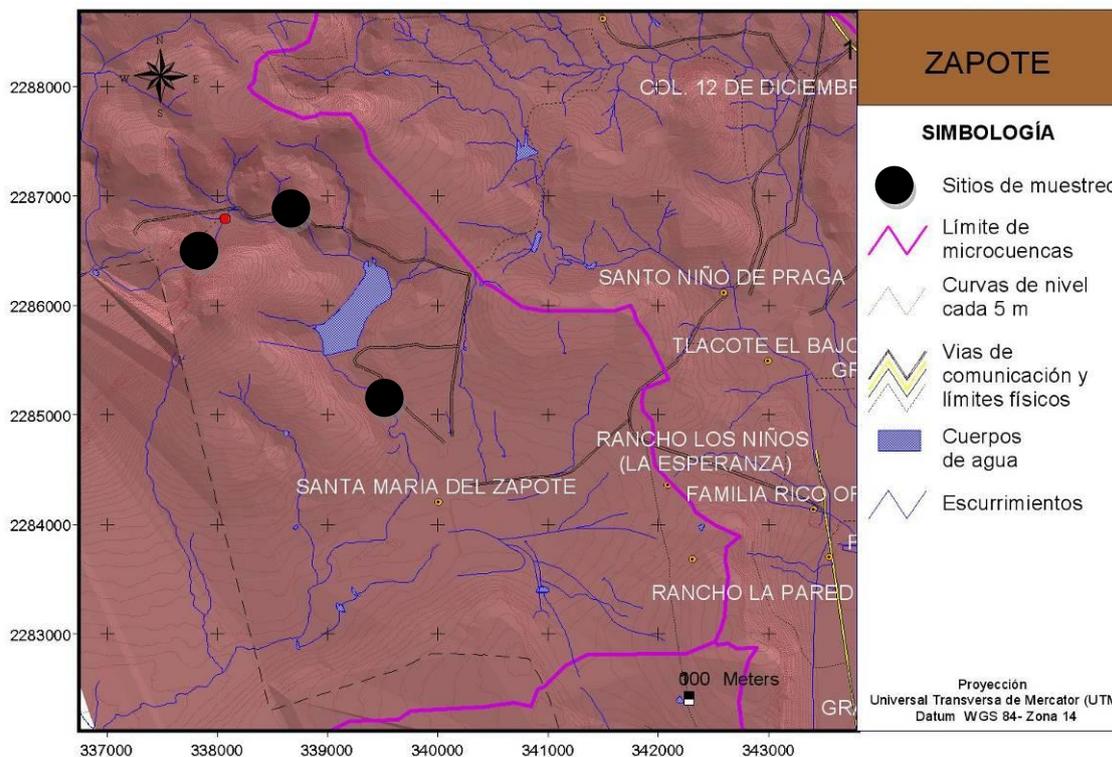


Figura 25. Puntos de muestreo (Estaciones) de la Microcuenca Santa María del Zapote.

ESTACIÓN 1

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Corresponde a la zona alta del cauce principal de la Microcuenca, no se encuentran señales de perturbación sobre el cauce, sin embargo en las inmediaciones se localiza un banco de material. Por ser un arroyo intermitente solo presenta flujo de agua en temporada de lluvias, conservando algunas pequeñas charcas en la mayor parte del año.

Tabla 17. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 1, Microcuenca Santa María El Zapote.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Víbora				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	Santa María El Zapote	Localidad:	Santa María El Zapote

Latitud:	337,787	Longitud:	2,286,598	Altitud:	1,927 msnm
Orden:		1	Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	3.42 m
Profundidad media:	0.33 m
Tasa ancho/profundidad ($TAP/P=AMR/P$):	10.36
Profundidad máxima:	0.60 m
Ancho del área de inundación (AAI):	4.65
Tasa de confinamiento ($TC=AAI/AMR$):	1.36
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}):	Guijarros grandes
Pendiente ($GP=h/d$):	0.02
Sinuosidad ($S=l_c/l_v$):	1.19
Tipo de corriente:	A3



Figura 26. Imagen arroyo La Víbora, Microcuenca Santa María del Zapote.

Las corrientes tipo A son corrientes de un solo canal, generalmente pronunciados, estrechos y moderadamente profundos, con presencia de cascadas pequeñas que forman charcas y alta energía para transportar escombros con depósitos de suelos (figura 27). Son estables y el canal dominante es una base de roca. Relieves elevados, generalmente estos arroyos se localizan en valles de alto transporte de sedimentos y no tienen desarrollados una llanura de inundación.



Figura 27. Presencia de roca madre y pequeña charca en el arroyo La Víbora, Microcuenca Santa María El Zapote.

El arroyo La Víbora, localizado en la parte alta de la Microcuenca Santa María del Zapote, resultó ser una corriente tipo A3 (tabla 17) que son arroyos pronunciados y profundamente atrincherados, con alta deposición de suelos. Tienen bajos radios de profundidad y anchura (menor a 12), con baja sinuosidad (menor a 1.2). La pendiente en este tipo de cauces debe oscilar entre 0.04 y 0.099, siendo menor a lo esperado, no obstante no se observan características de manejo o intervención sobre la parte alta de cauce que pudiera alterar este parámetro.

En la figura 28 podemos ver el perfil del arroyo La Víbora en la parte alta de la cuenca, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

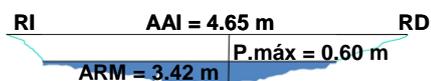


Figura 28. Perfil e imagen del arroyo La Víbora.



En la Estación 1 de la Microcuenca Santa María del Zapote dominaron los guijarros grandes seguidas por lecho rocosa, como se puede observar en la figura 27.

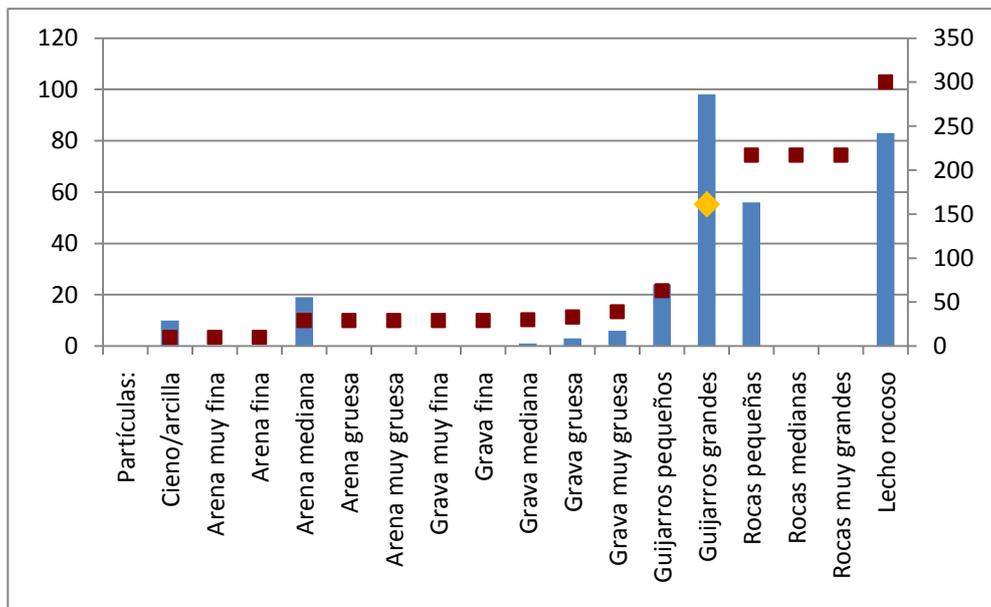


Figura 29. Tipo de partículas presentes en la estación 1, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo ◆ .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

El arroyo La Víbora, considerado como gradiente alto por ser la parte más alta de la microcuenca Santa María del Zapote, obtuvo una categoría de subóptimo en la Calidad Ambiental Visual (tabla 18). Los valores más bajos se presentaron en el parámetro de patrones de velocidad/profundidad y frecuencia de rápidos; debido a que no se observaron los patrones rápidos, al presentarse solo charcas aisladas sin presencia de flujo de agua en todo el arroyo la mayor parte del año, por lo mismo solo hay presencia de rápidos en los momentos de lluvias muy intensas, secándose en intervalos de tiempo muy cortos. El sustrato disponible para la epifauna es pobre al contar únicamente con rocas, lodos, muy poca cantidad de algas y restos de vegetación (figura 30).

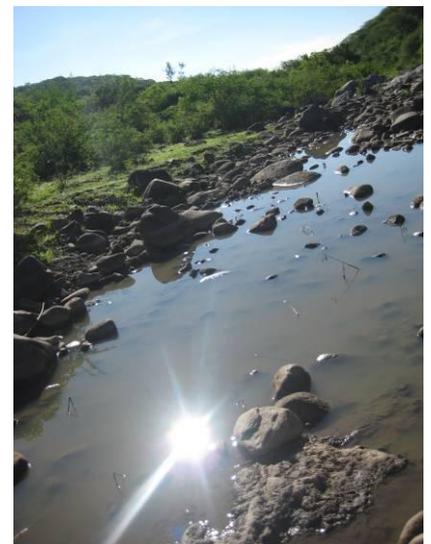


Figura 30. Imagen de ausencia de rápidos y sustrato disponible para la epifauna pobre.

Tabla 18. Calidad Ambiental Visual de la Estación 1, Microcuenca Santa María El Zapote.

Gradiente	Alto	
Sustrato disponible para la epifauna	10	
Embebimiento	18	
Patrones de Velocidad/profundidad	10	
Gradiente de Sedimentación	16	
Status del flujo	16	
Alteraciones del canal	20	
Frecuencia de Riffles	10	
Sinuosidad del canal	18	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 8	Derecha: 8
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 8	Derecha: 9
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 7	Derecha: 7
ICAV	165	
Categoría ICAV	Subóptimo	

ESTACIÓN 2

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Corresponde a la zona media del cauce principal de la Microcuenca, ubicado aguas arriba de la Presa Santa María del Zapote. La estación se estableció poco después de la unión de los arroyos La Víbora y La Estancia. Por ser un arroyo intermitente solo presenta flujo de agua en temporada de lluvias, conservando algunas pequeñas charcas en la mayor parte del año.

Tabla 19. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 2, Microcuenca Santa María del Zapote.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Estancia				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	Santa María del Zapote	Localidad:	Santa María del Zapote
Latitud:	337,919	Longitud:	2,286,565	Altitud:	1,917 msnm
Orden:	2	Sección:	Rabión		

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	11.80 m
Profundidad media:	0.81 m
Tasa ancho/profundidad (TAP/P=AMR/P):	14.57
Profundidad máxima:	0.37 m

Ancho del área de inundación (AAI):	13.13 m
Tasa de confinamiento (TC=AAI/AMR):	1.11
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D ₅₀):	Guijarros pequeños
Pendiente (GP=h/d):	0.33
Sinuosidad (S=lc/lv):	1.36
Tipo de corriente:	F3

Este arroyo coincidió en todos los parámetros con los arroyos tipo F3 (tabla 19), los cuales son profundamente arraigados, a menudo serpenteantes con un ancho de alto coeficiente de profundidad (más de 12). La elevación en el tope de las orillas es mucho mayor en la etapa de



llenado, lo cual indica la profundidad de la trinchera que por lo general son trincheras profundas. Son dominados completamente por guijarros, de canales sinuosos. Este tipo de arroyos, de acuerdo a Roseen y Silvey presentan poca acumulación de grava y arena, esta última se embebe en el guijarro; sin embargo se pudo observar una gran acumulación de arena en las partes más bajas del tramo (figura 31). Sedimentos de moderados a altos. Pozas de tamaño medio formadas por flujo de canales rápidos, los cuales se presentan únicamente en lluvias intensas. Se caracterizan por altas tasas de erosión en las orillas.

Figura 31. Imagen de estanque en el arroyo La Estancia.

Este tipo de arroyos tienden a convertirse en “C” y luego en “E” con altas tasas de niveles de erosión de las orillas y transporte de sedimentos. Se localizan en valles bajos de desfogue y quebradas.

La figura 32 nos muestra el perfil del arroyo La Estancia en la parte media de la cuenca, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.



Figura 32. Perfil e imagen del arroyo La Estancia (Estación 2).

El tipo de partículas dominantes para la Estación 2 de la Microcuenca Santa María del Zapote fueron los guijarros grandes seguidas por rocas pequeñas y lecho rocoso (figura 33).

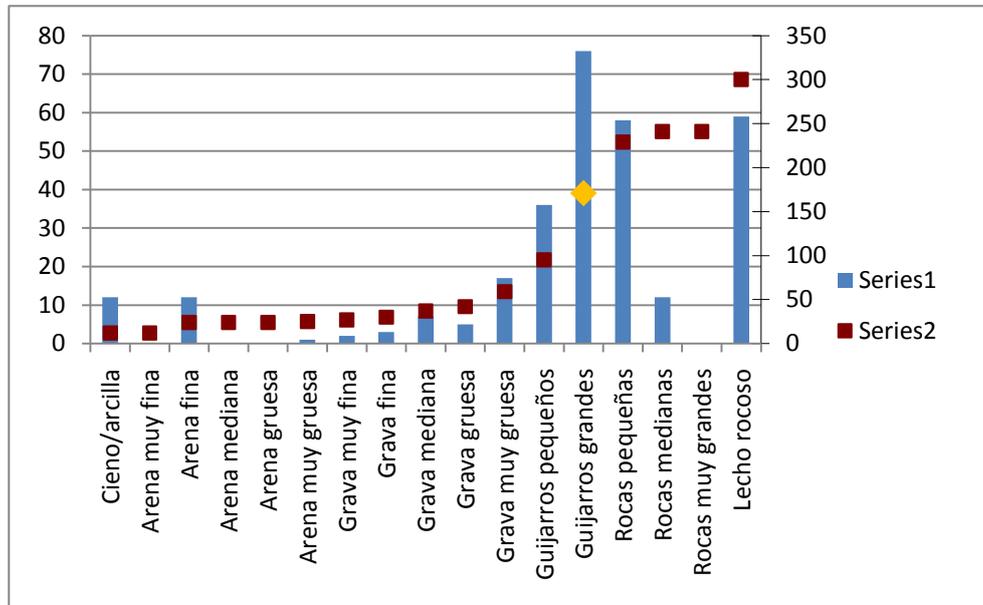


Figura 33. Tipo de partículas presentes en la estación 2, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo  .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

El estatus del flujo para el arroyo La Estancia fue el factor que menor calificación obtuvo en la Calidad Ambiental Visual debido a que únicamente en eventos de lluvias muy intensas el agua toca ambas riberas del arroyo, provocando incluso inundaciones; no obstante en lluvias de temporada solo se forman estanques presentándose una inestabilidad evidente, provocado principalmente por las alteraciones y modificaciones que se le hicieron al cauce al construir la presa Santa María El Zapote localizada aguas abajo. Debido a lo antes mencionado la calificación para el parámetro de alteraciones del canal fue bajo. Este arroyo se categorizó como Marginal, obteniendo 109 puntos, calificado como gradiente bajo (tabla 20).

Tabla 20. Calidad Ambiental Visual de la Estación 2, Microcuenca Santa María del Zapote.

Gradiente	Bajo
Sustrato disponible para la epifauna	10
Caracterización del sustrato de los estanques	10

Variabilidad de estanques	10	
Gradiente de Sedimentación	10	
Status del flujo	5	
Alteraciones del canal	8	
Sinuosidad del canal	12	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 7	Derecha: 7
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 7	Derecha: 8
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 7	Derecha: 8
ICAV	109	
Categoría ICAV	Marginal	

ESTACIÓN 3

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Corresponde a la zona media de la Microcuenca, ubicado aguas abajo de la Presa Santa María del Zapote y localizado muy cercano a la localidad Santa María del Zapote. En esta zona son evidentes las modificaciones que se han hecho en la ribera, siendo ampliado el cauce, así como se tienen zonas de cultivo muy cercanas al arroyo y se observan perturbaciones características de las actividades propias de la localidad, como residuos sólidos urbanos sobre y en los alrededores del cauce. Por ser un arroyo intermitente solo presenta flujo de agua en temporada de lluvias, conservando algunas pequeñas charcas en la mayor parte del año.

Tabla 21. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 3, Microcuenca Santa María del Zapote.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Estancia				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	Santa María del Zapote	Localidad:	Santa María del Zapote
Latitud:	339,548	Longitud:	2,285,096	Altitud:	1,874 msnm
Orden:	2		Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	7.48 m
Profundidad media:	0.4 m
Tasa ancho/profundidad ($TAP/P=AMR/P$):	18.70
Profundidad máxima:	0.70 m
Ancho del área de inundación (AAI):	16.79
Tasa de confinamiento ($TC=AAI/AMR$):	2.22
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}):	Guijarros pequeños

Pendiente ($GP=h/d$):	1.38
Sinuosidad ($S=lc/lv$):	1.11
Tipo de corriente:	E

De acuerdo a sus características, este arroyo se determinó como tipo E (tabla 21) los cuales son corrientes de un solo canal, de gradientes bajos, con pozas de baja profundidad y bajo depósito de materiales. Son arroyos estables, de moderada a alta sinuosidad, se presentan pozas alargadas, generalmente con un alto número de pozas entre distancias cortas. Son característicos de valles con bajos relieves de elevación. Son anchos, pronunciados, con planicies inundables y con buena vegetación en las orillas, éste último no coincidiendo con el arroyo debido al desmonte por la implementación de parcelas, debido a la cercanía a la localidad Santa María del Zapote. Son sensibles a los disturbios, ajustándose rápidamente y convirtiéndose en otros tipos de arroyos en cortos tiempos. Estos arroyos son denominados como evolucionarios en términos de procesos fluviales y morfológicos. Es el punto final de la estabilidad en estos procesos dinámicos.

En la figura 34 podemos observar el perfil del arroyo La Ladera en la parte alta, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

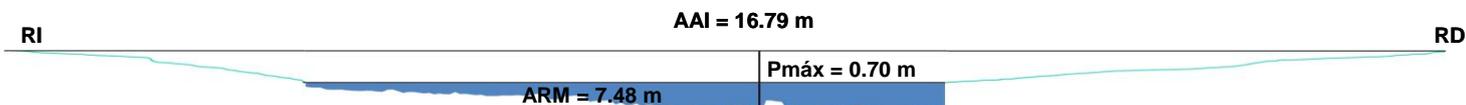
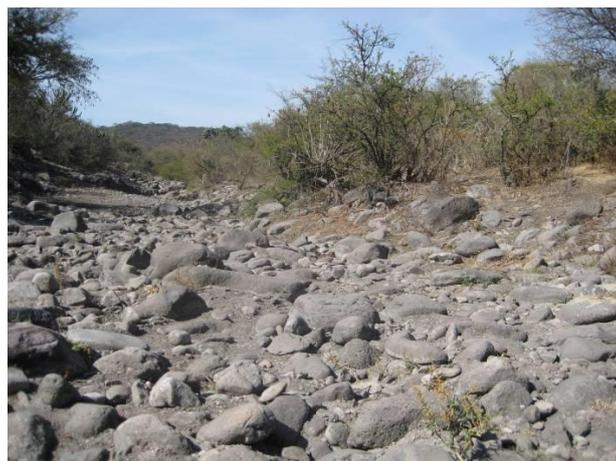


Figura 34. Perfil e imagen del arroyo La Estancia (Estación 3).



En la Estación 3 de la Microcuenca Santa María del Zapote el tipo de partículas dominantes fueron los guijarros grandes seguidas por rocas pequeñas, en este caso se puede observar la presencia de partículas pequeñas, entre las que destacan arenas y arcilla (figura 35).

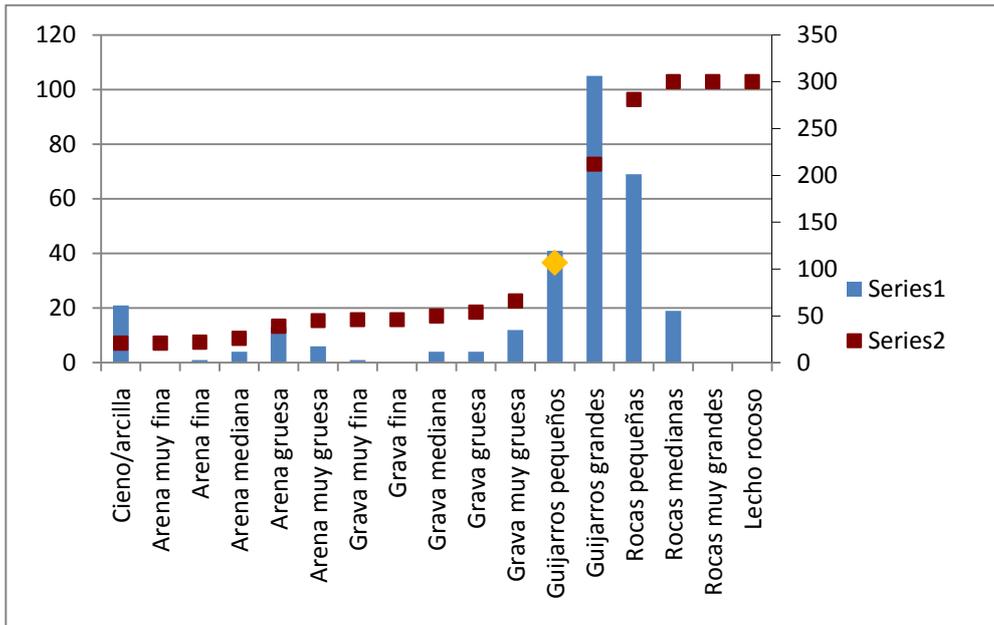


Figura 35. Tipo de partículas presentes en la estación 3, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

Al igual que en la estación 2 de la Microcuenca Santa María del Zapote, el arroyo La Estancia, localizado aguas abajo de la presa con el mismo nombre, se calificó como gradiente bajo. En este caso el flujo del agua está en función del agua que proviene de la presa, lo que ha generado en este caso que el arroyo no lleve flujo de agua hasta que se sature la presa, generando una corriente que afecta las riberas y ha provocado inundaciones y afectaciones en la zona rural. Aunado a lo anterior, esta zona se encuentra más próxima a la localidad con el mismo nombre, por lo que es evidente el desmonte de las riberas, las cuales se encuentran en su mayoría desprovistas de vegetación, estando rodeado el canal de parcelas de cultivo (figura 36).



Figura 36. Vegetación degradada en las laderas del arroyo La Estancia.

Debido a lo antes mencionado, este arroyo se encuentra en la categoría de Marginal en cuanto a su Calidad Ambiental Visual, teniendo valores bajos en la mayoría de los parámetros como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Calidad Ambiental Visual de la Estación 3, Microcuenca Santa María del Zapote.

Gradiente	Bajo	
Sustrato disponible para la epifauna	5	
Caracterización del sustrato de los estanques	5	
Variabilidad de estanques	5	
Gradiente de Sedimentación	10	
Status del flujo	5	
Alteraciones del canal	5	
Sinuosidad del canal	10	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 5	Derecha: 5
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 4	Derecha: 7
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 2	Derecha: 5
ICAV	73	
Categoría ICAV	Marginal	

7.2.3. Caracterización de vegetación riparia y determinación del Índice de Integridad Biótica basada en asociaciones de Macroinvertebrados

Estructura y composición de la vegetación riparia

En la Microcuenca Santa María del Zapote, *Prosopis laevigata* coincide con alto valor de importancia para las tres estaciones de muestreo, seguido de *Acacia farnesiana*, *Aloysia gratísim*a y *Acacia schaffneri* (tabla 23 y figura 37). En esta microcuenca se encuentran representadas 15 especies de las cuales 12 son especies leñosas, en 11 géneros y 8 familias.

Tabla 23. Valor de importancia de las especies arbóreas de la Microcuenca Santa María El Zapote.

Microcuenca Santa María El Zapote			
Especies	Estación	Estación	Estación
	1	2	3

<i>Acacia farnesiana</i>	55.73	47.48	28.91
<i>Acacia schaffneri</i>	32.04	39.67	68.84
<i>Aloysia gratissima</i>	22.90	78.54	
<i>Bursera galeottiana</i>	10.82		
<i>Condalia mexicana</i>	18.25	31.01	
<i>Ipomoea murucoides</i>	23.64		
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	20.55		22.81
<i>Lysiloma microphyllum</i>	28.29		
<i>Prosopis laevigata</i>	47.91	74.89	148.58
<i>Randia nelsonii</i>	22.66		
<i>Zaluzania augusta</i>	17.22		30.85
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>		28.42	

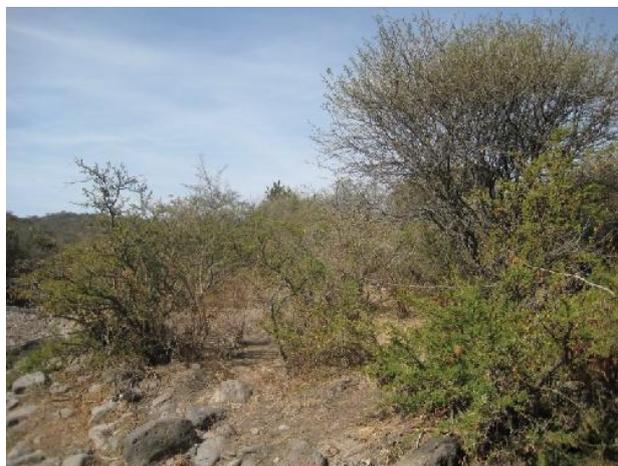




Figura 37. Vegetación con mayor valor de importancia para la Microcuenca Santa María de Zapote. Izquierda: *Prosopis laevigata*, derecha: *Acacia schaffneri*, abajo: *Aloysia gratissima*.

La tabla 24 muestran los resultados de los índices de Shannon-Wiener, Simpson y Margalef de la vegetación riparia para la Microcuenca Santa María del Zapote. Se presentan índices de baja diversidad y riqueza de especies para la parte baja de la microcuenca (Estación 3), contrario a los resultados obtenidos para la Estación 1, en donde se obtuvieron valores por encima con respecto al resto de las estaciones. El mayor número de familias se presentó para la Estación 1 y el número de individuos fue muy similar para las estaciones 1 y 3 con más de 400 individuos, siendo menor para la estación 2 con menos de 200.

Tabla 24. Índices de riqueza y diversidad de la vegetación riparia de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca Santa María del Zapote.

Índices	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Número de especies	14	8	7
Número de individuos	422	169	435
Índice de diversidad de Shannon-Wiener	2.323	1.722	1.346
índice de diversidad de Simpson	0.884	0.803	0.668
Índice de riqueza de Margalef	2.151	0.758	0.261

Índice de Integridad Biótica basado en Macroinvertebrados

Para la Microcuenca Santa María del Zapote se contabilizaron 37 familias de macroinvertebrados acuáticos, correspondientes a 14 órdenes (figura 38). El orden Ephemeroptera fue el más abundante en cada una de los sitios de muestreo, en particular la familia Baetidae, la cual de acuerdo a Gullan y Cranston (1994) suele ser resistente a la eutroficación, a diferencia del orden Plecóptera del cual no se encontró ningún individuo, que puede ser relativamente tolerante a la

contaminación por metales, pero muy sensible a la contaminación orgánica por lo que se presume que la no presencia de este orden podría estar indicando contenidos altos del materia orgánica en el agua.



Figura 38. Macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de muestreo. Familias de izquierda a derecha: Corixidae, Chironomidae, Halipidae, Libellulidae, Physidae.

El IIBAMA nos indica una categoría de pobre para los sitios de muestreo, con 11 y 8 puntos, correspondientes a la cuenca alta y media, respectivamente. En este caso, no se pudo llevar a cabo el muestreo en la parte baja debido a que esta parte del arroyo no presentó agua (tabla 25).

Tabla 25. Resultados del Índice de Integridad Biótica basado en Asociaciones de especies de Macroinvertebrados Acuáticos.

ESTACIÓN	RT	REPT	RII	#TI	T.		IIBAMA	Categoría
					Media	#TF		
Arroyo La Víbora (Cuenca Alta)	28	2	11	12	5.87	8	11	POBRE
Arroyo La Estancia (Cuenca Media)	20	1	10	11	5.5	5	8	POBRE

Riqueza de taxa (RT), Número de familias de EPT (REPT), Número de taxa de insectos intolerantes (RII), Número de taxa intolerantes (#TI), Valor de la tolerancia media (T. Media), Número de taxa fijos al sustrato (#TF)

Los datos químicos de los sitios de muestreo de macroinvertebrados, mostrados en la tabla 26, nos muestra un intervalo de temperatura entre 17.75°C como la más baja a 24.96°C como la temperatura más alta encontrada.

La demanda de oxígeno en las Estaciones 1 y 3 se mantuvo por debajo de los 5 mg/L indicándonos aguas no contaminadas, presentándose valores por arriba de los 5 mg/L en la Estación 2 indicando aguas con bajo contenido de materia orgánica comenzando a presentarse contaminación (CNA, 2005).

El Ph varía entre 7.62 a 8.59, siendo datos aceptables para la vida acuática en los cuerpos de agua. Con respecto a la conductividad los datos varían entre 196 a 296 $\mu\text{S/cm}$ y la cantidad de sólidos disueltos totales se encuentran entre 98 y 162 ppm para los sitios de muestreo.

Tabla 26. Parámetros químicos de las zonas de muestreo de macroinvertebrados acuáticos.

Parámetros	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	19.16	20.30	21.93	24.70	22.36	24.96	18.05	17.75	17.98
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	234	221	230	196	324	232	296	288	289
Sólidos disueltos totales (ppm)	117	111	115	98	162	116	156	153	154
Demanda de oxígeno (mg/L)	1.95	2.10	2.78	6.03	3.39	5.55	1.90	2.10	1.90
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.98	8.06	8.17	8.07	7.62	8.59	7.73	7.83	7.72

7.2.4. Validación social de la información

En la Microcuenca Santa María del Zapote, se tuvo el acercamiento con los habitantes de la localidad con el mismo nombre, el primer acercamiento, al igual que en las otras dos microcuencas se dio con la finalidad de presentarnos, informar sobre el proyecto de tesis y que, por lo tanto estaríamos haciendo recorridos principalmente en los cauces y sus alrededores, haciendo mediciones y muestreos en cuanto al arroyo y la vegetación se refiere, no obstante, contrario a los otros sitios, en este caso únicamente se nos orientó hacia donde dirigirnos pero no hubo un acompañamiento ni apoyo directo en campo.

Por lo antes mencionado, la interacción e intervención social y como método de recolección de información y de validación de resultados se hizo una entrevista semiestructurada en una reunión con seis personas de la localidad, de los cuales cuatro eran ejidatarios, incluyendo al Comisariado Ejidal y dos habitantes más que fueron convocados por ser personas mayores con amplios conocimientos y experiencia en el tema, de acuerdo al Comisariado Ejidal. Cabe destacar que

para convocar la reunión se tuvo una plática telefónica con el Comisariado Ejidal, quien cuestionó y pidió se explicara detalladamente el objetivo y tema de la reunión con la finalidad de convocar a las personas que pudieran aportar sus conocimientos en la reunión, lo cual dio como resultado una entrevista muy enriquecedora y con gran retroalimentación, por parte de todos los entrevistados.

La primer parte del acercamiento con los informantes durante la reunión de validación, llevada a cabo el 1 de octubre de 2011 en la casa del Comisariado Ejidal, consistió en explicarles, a través de mapas, diagramas y fotografías el objetivo del proyecto de tesis (figura 39), se recordó que forman parte del área natural protegida ZOM y la importancia de los trabajos basados con el enfoque de cuencas, cuyos conceptos eran ya de su conocimiento, así como se explicó y mostró gráficamente los resultados obtenidos; logrando un entendimiento mutuo sobre el objetivo de la reunión convocada.

De acuerdo al proceso de validación, y basándose en los perfiles del arroyo mostrados, los entrevistados hicieron especial énfasis en que cuando las lluvias son muy intensas el arroyo alcanza hasta tres mts de profundidad, lo cual ha sido una problemática, ya que les ha provocado inundaciones en la Localidad, *“en enero del año pasado el agua llegó a más de un metro en las casas y nos echó a perder nuestros muebles, nos afectó mucho”* mencionaron, además de que hicieron especial énfasis en que el agua que escurre no es aprovechada y a los pocos días el arroyo se encuentra seco por completo o solo conserva algunas pequeñas charcas. En este caso la profundidad y área de inundación que se obtuvieron con el Estado Más Probable no coinciden con lo expresado por los informantes, ya que las mediciones nos indican una profundidad máxima de 0.70 mts, siendo muy contrastante con los tres mts mencionados por los habitantes de la localidad, esta situación se debe principalmente a que se tiene un factor que modifica las condiciones y la dinámica natural del arroyo en cuanto al flujo de agua se refiere, como es la presa, la cual es descargada cuando se encuentra saturada provocando gran flujo de agua en la parte del arroyo aguas debajo del cuerpo de agua, o bien reteniendo toda el agua cuando las lluvias son ligeras, manteniendo completamente seca está parte del arroyo, como sucedió en este año.



Figura 39. Material de apoyo para la reunión de validación con habitantes de la Localidad Santa María del Zapote de la Microcuenca Santa María del Zapote.

El principal uso que le dan al arroyo es para abrevadero de su ganado, anteriormente se utilizaba para riego la parte baja, debido a que en esa zona se encuentran concentrada la mayoría de las parcelas, sin embargo, por la falta de lluvias, en los últimos años no ha sido posible utilizar el recurso, el cual es muy escaso o nulo en esta parte del arroyo.

Con respecto a la vegetación, confirmaron que las especies mencionadas en el estudio son las más abundantes, sin embargo tienen el interés de erradicar el palo bobo, mismo caso que en la Microcuenca El Nabo, debido a que es dañino para su ganado y caballos, e incluso les ha provocado la muerte. Esto enfatiza la importancia de desarrollar estudios de las características tóxicas de esta especie con respecto a los animales y la importancia de generar estrategias para evitar el desmonte de esta especie la cual es vista solo como un problema y puede estar siendo desplazada en algunos otros lugares de manera clandestina y sin conocimiento de las afectaciones que pudieran tener la falta de esta especie en su ecosistema natural.

En el caso del Zapote se manifestó desconfianza ante los procesos de intervención, lo que indica la importancia del seguimiento a los proyectos. Entre estas intervenciones destaca un proyecto de jaulas flotantes en la presa para cultivo de mojarra, el cual se abandonó debido al fallecimiento de una persona quien se ahogó durante el mantenimiento de estas jaulas. De la misma manera expresaron que ellos han tienen la intención de llevar a cabo acciones en beneficio del ambiente, sin embargo y derivado de una multa que les fue aplicada por parte de la Procuraduría Federal de

Protección al Ambiente (PROFEPA), al llevar a cabo una reforestación sin avisar a las autoridades, prefieren actualmente no realizar estas actividades para evitarse conflictos.

Una de las mayores inquietudes de los informantes fue con respecto al Área Natural Protegida, ya que no saben cuáles son los beneficios o problemáticas al respecto o las implicaciones que tienen al formar parte de este decreto, mencionan que las autoridades competentes en la materia no les han explicado al respecto. Los entrevistados asocian y conocen perfectamente que sus cerros, como ellos les llaman, están conservados y por este motivo forman parte del Área Natural Protegida, aunque particularmente el Comisariado Ejidal también expresó que él estuvo varios años en Estado Unidos y allá existían áreas naturales, pero que en esos lugares se tenían infraestructura y una organización con comité y responsables del cuidado de la zona y no sabían si en este caso existía, por lo que cuestionaron mucho porqué las cosas aquí eran distintas.



Figura 40. Explicación de resultados obtenidos a habitantes de la Localidad Santa María del Zapote.

Durante la entrevista (figura 40) se mencionó que se ha intensificado el uso de las laderas del arroyo cercano a la presa para pastoreo, lo cual fue observado en los recorridos en campo y ha contribuido a la aceleración del arrastre de materiales y pérdida del suelo, así como la compactación del mismo. Así como por la pérdida de vegetación como consecuencia de este pastoreo, mencionaron que existe erosión en las laderas del arroyo y, por lo tanto, incremento en el escurrimiento superficial, lo que ha afectado severamente las zonas más bajas del piedemonte.

Cuatro de los seis entrevistados han estado en Estados Unidos y comentaron que en esos rumbos han visto muchas actividades y proyectos que pudieran desarrollar en el ejido, además de que la necesidad los ha llevado a pensar en proyectos que pudieran beneficiarlos económicamente, por lo que mencionaron ideas y propuestas de actividades que han estado platicando entre ellos.

Entre las propuestas de proyectos que tienen destacan la construcción de un bordo en la parte alta de la microcuenca, con la finalidad de retener el agua que escurre por las lluvias y a los pocos días se evapora y no es aprovechada. Este proyecto ya fue solicitado y aprobado por parte de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA) y actualmente se encuentran en espera de la ejecución y construcción de la obra.

Los informantes mencionan que han recibido propuestas de concursos de pesca en la presa por personas externas al ejido y la localidad, lo que les ha generado la inquietud de desarrollar un proyecto ecoturístico en donde se establezcan senderos para caminar y para ciclistas, así como paseos a caballo, en donde ellos puedan rentar a sus animales y obtener un ingreso económico.

Expresan la necesidad de retomar el proyecto acuícola pero en estanques para el cultivo y venta de pescado para consumo, y que la pesca únicamente sea deportiva reintegrando a los peces al cuerpo de agua, lo cual puede formar parte del proyecto de ecoturismo del cual se ven sumamente interesados.

El interés hacia estas actividades que pueden formar parte de un proyecto ecoturístico integral surge del hecho de los habitantes de la localidad reconocen que la zona de la presa (figura 41) y aguas arriba paisajísticamente es muy atractiva y tiene gran potencial para recibir turistas interesados en ambientes naturales y actividades asociadas con el contacto directo con la naturaleza, además de lo que han observado en Estados Unidos con parques ecoturísticos con gran afluencia de visitantes y muy exitosos.



Figura 41. Presa del Zapote.

Otra de las inquietudes de los entrevistados y que fueron cuestionadas durante la reunión es con relación a integrarse a algún proyecto de pago por servicios ambientales, en donde obtengan algún beneficio por conservar en su estado natural la zona media y alta de la microcuenca, las cuales de acuerdo al estudio llevado a cabo resultó ser la zona más conservada y en estado óptimo al compararse con las otras dos microcuencas en estudio, lo cual se contrasta radicalmente con la parte baja de la microcuenca (aguas debajo de la presa), cuyos resultados fueron los más pobres y degradados de todos los puntos de estudio, cuya situación la adjudican los informantes al hecho de que esta zona están siendo utilizada única y exclusivamente para actividades agrícolas por lo que ya no existe vegetación natural, además de que la cercanía a la Localidad ha provocado que esta parte del arroyo se convierta en un pequeño tiradero de basura.

Por otro lado, mencionan que existen manantiales que no han sido explotados y dicen que hay corrientes subterráneas, las cuales quisieran explotar para sus usos básicos, sin embargo solicitan la asesoría de algún experto en el tema que les confirme la presencia de agua en esta zona y que los oriente sobre la manera adecuada de uso en caso de existir el recurso *“no queremos que la Comisión Estatal del Agua nos vaya a querer multar por utilizar el recurso o nos lo vaya a querer quitar, nosotros lo necesitamos para sobrevivir”*, mencionan.

Otro de los aspectos importantes a destacar que surgieron de la reunión es que los ejidatarios están interesados en vender parte del ejido, por lo que están buscando compradores, ya que debido a la falta de lluvias, sus cosechas no les son suficientes para venta ni para consumo *“nuestras cosechas ya no nos alcanzan ni para comer, nos estamos muriendo de hambre y necesitamos vivir de algo, si alguien nos ofrece dinero por nuestras tierras las vendemos”*, menciona el Comisariado Ejidal. No obstante lo anterior, sus decisiones las están tomando con conocimientos ya que saben cuáles son sus áreas de importancia ambiental y tienen detectados los terrenos para ofrecer en venta y los que quieren seguir conservando.

Una de las mayores afectaciones que se tienen en la parte montañosa es el aprovechamiento que se le ha dado como banco de material, ya que con la finalidad de buscar alternativas para tener ingresos económicos, han establecido dos bancos de material, uno de arena y uno de tepetate, los cuales actualmente les están ofreciendo ingresos para la Localidad, a costa del desmonte de parte de la microcuenca.

7.3. MICROCUENCA BUENAVISTA

7.3.1. Descripción

La microcuenca comprende una extensión de 13,149 hectáreas y un perímetro de 56.714 kilómetros. Se encuentra a una altitud que va de los 1,992 a los 2,643 metros sobre el nivel del mar (García, 2007).

La compacidad (K_c) se calculo con el método Gravelius, siendo de 1.385, lo cual indica que se tiene una microcuenca de forma irregular con tendencia a la circunferencia, siendo una cuenca con tendencia a respuesta hidrológica rápida (García, 2007).

La longitud axial es de 10.780 km, lo cual genera un factor de forma de 1.132 e indica la tendencia de la microcuenca a una forma regular, generando un buen sistema de drenaje del agua, desde las partes más altas hasta el punto de salida de la microcuenca, que es la presa Santa Catarina (García, 2007).

El sistema de drenaje está constituido por corrientes efímeras que solo llevan agua cuando se presentan lluvias. El grado de bifurcación o ramificación se presenta de la siguiente manera: 38 corrientes de primer grado con una longitud acumulada de 56.48 km, 12 corrientes de segundo orden con una longitud de 47.57 kilómetros, 5 de tercer orden con una longitud de 18.96 kilómetros, y un arroyo de cuarto orden de 1.14 kilómetros. En total se tiene una longitud de 124.15 kilómetros de corrientes (García, 2007).

La sinuosidad de corrientes es de 1.3423 lo que nos indica que el río es de mediana sinuosidad, presentando ondulaciones y recodos. La microcuenca presenta una buena densidad de drenaje (D_d) igual a 1.059129, lo cual indica una buena relación entre la longitud de corrientes y el área de la microcuenca, que se traduce en un buen sistema de drenaje (García, 2007).

La Pendiente Media (S_c) de la microcuenca Buenavista es de 99.2465 metros por kilómetro, calculada mediante la relación existente entre el producto de la longitud total de las curvas de nivel dentro de la microcuenca igual a 261 kilómetros por el desnivel constante entre las curvas de nivel (0.05 km.) en kilómetros, esto dividido entre el área de la microcuenca (131.491 km²) medido en kilómetros cuadrados (García, 2007).

La pendiente de la corriente principal es de 35.81 metros por kilómetro; aquí se relaciona la diferencia en metros de la altura máxima y mínima del río entre la distancia en línea recta del cause principal (García, 2007).

La Elevación Media de acuerdo a la curva hipsométrica (figura 42) nos proporcionó información sobre la altitud de la microcuenca, así mismo se representa la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Para este caso, la elevación media de la microcuenca Buenavista es de 2,119.842 metros. La Relación Hipsométrica (Rh) es de 0.88679 lo que nos indica que tenemos una cuenca tipo “C” con valles extensos y cumbres escarpadas y que han sido sometidas a un proceso intenso de erosión (García, 2007).

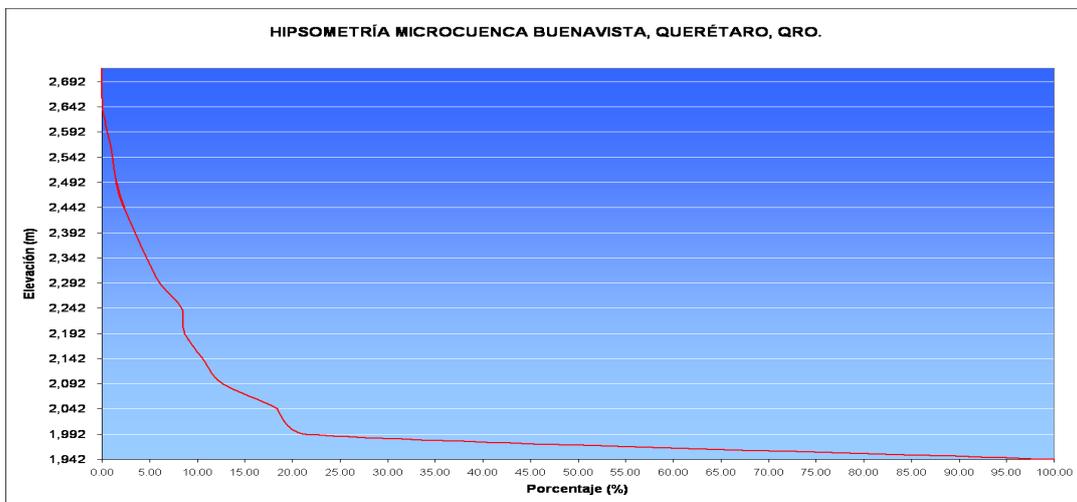


Figura 42. Curva hipsométrica de la Microcuenca Buenavista.

En cuanto a su hidrología la Microcuenca Buenavista está formada por corrientes superficiales de carácter intermitente y efímeras, originados por los escurrimientos en la época de lluvias, siendo los siguientes: arroyo La Perita y El Madroño, tributarios del arroyo Pie de Gallo; arroyos La Carbonera, La Cruz, El Tepehuaje, tributarios del arroyo La Barreta; así mismo, están los arroyos de Presa de Becerra y Las Adjuntas. Todos estos arroyos alimentan a la presa Santa Catarina, y así sus excedentes continúan por el río Jurica hasta descargar en la presa El Cajón y sus excedentes llegan al río Apaseo, afluente del río Laja y tributario del río Lerma Santiago; esta red forma parte de la Región Hidrológica N° 12 y que corresponde a la cuenca del río Lerma-Santiago (García, 2007).

La microcuenca se encuentra ubicada en el acuífero del Valle de Buenavista, localizándose 17 pozos. El volumen de extracción total de agua en la microcuenca es de 19, 803,603 metros cúbicos por año (García, 2007).

En la microcuenca no se tiene el problema de inundación, debido a la orografía del terreno, aunque en la parte baja el valle de Buenavista se presentan inundaciones de parcelas que se encuentran a la ribera de la presa Santa Catarina por invasión del agua que llega a la presa producto de la lluvia, la cual paulatinamente va inundando dichas parcelas (García, 2007).

La erosión en la microcuenca en su totalidad es hídrica. En la parte alta se presentan problemas de erosión considerada, de acuerdo con clasificación de la FAO, como de moderada a alta con valores de erosión de 51 a 200 ton/ha/año, esta zona presenta áreas desprovistas de vegetación, por lo cual requieren de atención inmediata, sobre todo en lugares con pendientes mayores al 10%, este problema se calcula en una extensión de 6,060 hectáreas de la microcuenca en la zona Norte y Oeste, sobretodo en la parte alta (García, 2007).

La vegetación en la microcuenca Buenavista se caracteriza por una gama de estratos, clasificándose en siete tipos, presentándose en algunos casos alteraciones o perturbaciones, modificándose el ecosistema en el que se desarrollan. El 62 % de la superficie de la microcuenca 7,836 hectáreas se encuentran con estratos de vegetación natural, el 37% que representa una superficie de 4,953 hectáreas se dedican a la agricultura, y 360 hectáreas (3%) son de zona urbana. Los tipos de vegetación presentes son: bosque de encino, chaparral, chaparral perturbado, matorral crasicaule, matorral crasicaule perturbado, matorral espinoso, matorral espinoso perturbado, matorral inerme y subinerme y pastizal inducido (García, 2007).

Con respecto a su infraestructura hidráulica en la microcuenca se localiza la presa de Santa Catarina que capta todos los escurrimientos de la microcuenca Buenavista, la cual cuenta con una capacidad de almacenamiento de 8,840,000 metros cúbicos, además 19 bordos en la parte media y alta de la microcuenca que captan 369,024 metros cúbicos de agua con uso para abrevadero del ganado. En la actualidad, estas obras se encuentran con diferentes niveles de agua, así mismo, presentan problemas de azolve por partículas de sólidos arrastrados por las aguas que escurren de la parte alta de la microcuenca (García, 2007).

Para la conservación de los suelos no se cuenta con infraestructura planificada e integral que permita detener la erosión y consecuentemente los problemas que se derivan de la misma. En años anteriores, en forma aislada se desarrollaron programas de terrazas de piedra, zanjas derivadoras y reforestaciones que no han prosperado (García, 2007).

Otra de las acciones que se han realizado es la construcción de cercos para la protección del agostadero, por lo tanto, de especies vegetales que quedan dentro de estas áreas (García, 2007).

La microcuenca está poblada por habitantes de catorce localidades que son: La Barreta, Buenavista, La Carbonera, Cerro de La Cruz, La Estancia de Palo Dulce, Loma del Chino, La Luz, La Monja, Pie de Gallo, Presa de Becerra, Corea, Puerto de Aguirre, San Isidro Buenavista, y Cañada de La Monja. Existen otras localidades con cantidad mínima de habitantes. La población total de la microcuenca es de 17,906 habitantes, de los cuales 8,697 son hombres que representa el 49% y 9,209 son mujeres que representa el 51 %, lo cual indica que la población esta en equilibrio, con tendencia al sexo femenino (García, 2007).

En la microcuenca se dan dos tipos de organizaciones que son la civil y la ejidal. La civil esta representada por la autoridad de la Delegación que nombra en cada localidad a un subdelegado municipal y un suplente, nombrando ellos mismos, entre los habitantes de la localidad, a sus policías auxiliares (García, 2007).

La organización ejidal está representada por la Asamblea (que es la máxima autoridad), un Comisariado Ejidal (Presidente, Secretario y Tesorero) y un Consejo de Vigilancia (Presidente y dos Secretarios). Al interior del ejido se forman grupos de trabajo, nombrando un comité para la realización de diversas obras o para la gestión de programas a la comunidad (García, 2007).

La tenencia de la tierra en la microcuenca es principalmente de carácter ejidal, aunque existe una pequeña parte de pequeña propiedad. Las tierras ejidales están compuestas por terrenos de seis ejidos que son: Presa de Santa Catarina, La Barreta, Buenavista, Gabriel Leyva Santa Catarina, Pie de Gallo, y La Luz II. La superficie de estos ejidos es de 10,659.64 hectáreas (García, 2007).

En la microcuenca Buenavista se tienen pequeñas porciones de terrenos de otros ejidos que corresponden a otras microcuencas, los cuales son: ejido Charape de La Joya, Jofrito, La Estacada, San Isidro El Viejo y San Miguelito; además terrenos de pequeña propiedad (García, 2007).

El sistema de producción forestal no se encuentra desarrollado, aunque en la microcuenca se muestran indicadores bióticos para la siembra de especies forestales como encino, pino, huizache, mezquite, maguey y nopal, entre otras especies (García, 2007).

7.3.2. Diagnóstico físico del sistema fluvial

Los resultados presentados para la microcuenca Buenavista, están basados en datos e información representativa de la parte alta, media y baja, correspondientes a los arroyos La Fría, La Muerta y Adjuntas. Los sitios de muestreo se presentan en la figura 43.

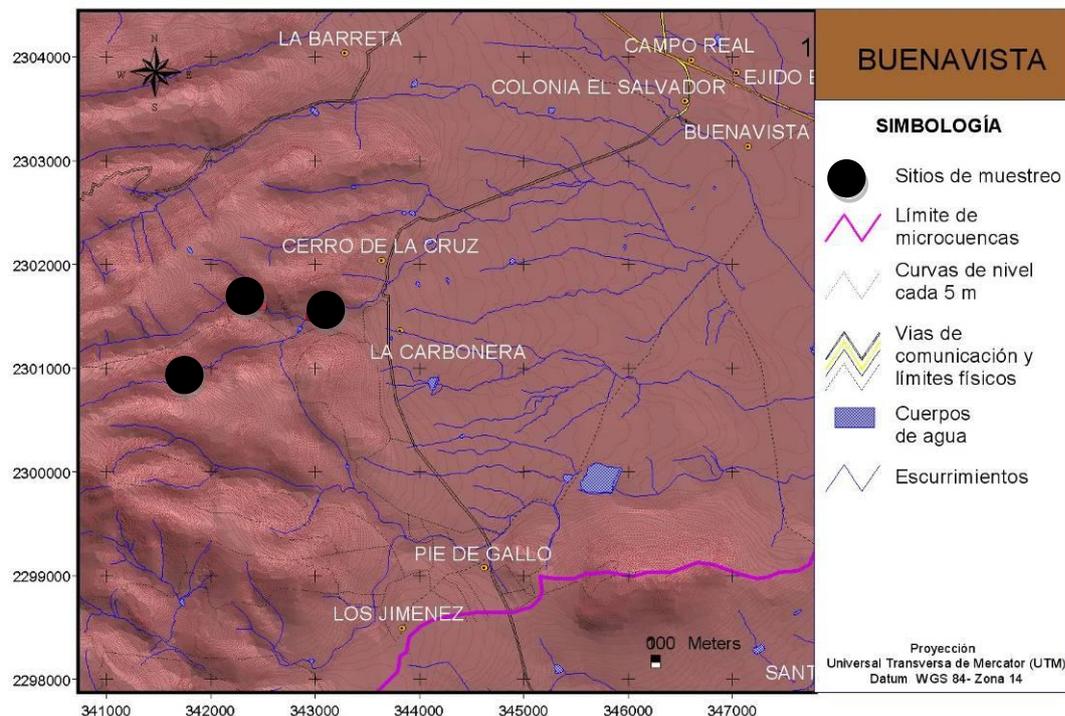


Figura 43. Puntos de muestreo (Estaciones) de la Microcuenca Buenavista.

ESTACIÓN 1

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Corresponde a la zona alta de uno de los cauces de la microcuenca, localizado cercano a la Localidad La Carbonera. Esta zona se caracteriza por ser una de las partes más conservadas del Municipio de Querétaro. Es un arroyo intermitente, sin embargo el arroyo conserva agua durante la mayor parte del año y únicamente se seca en los meses de mayor sequía.

Tabla 27. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 1, Microcuenca Buenavista.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Muerta				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	Buenavista	Localidad:	La Carbonera
Latitud:	342,732	Longitud:	2,301,322	Altitud:	2,171 msnm
Orden:	1		Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	5 m
Profundidad media:	0.27 m
Tasa ancho/profundidad ($TAP/P=AMR/P$):	18.52
Profundidad máxima:	0.60 m
Ancho del área de inundación (AAI):	7.95 m
Tasa de confinamiento ($TC=AAI/AMR$):	1.59
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}):	Guijarros pequeños
Pendiente ($GP=h/d$):	0.07
Sinuosidad ($S=l_c/l_v$):	1.20
Tipo de corriente:	B3a

El arroyo la Muerta forma es uno de los afluentes de la parte alta de la Microcuenca Buenavista, su morfología coincide con las corrientes tipo B3a en todos sus parámetros (tabla 27), no se observan disturbios en la parte alta del arroyo, excepto por una desviación del mismo en la parte baja al unirse con el arroyo La Fría (figura 44), debido a la construcción de un bordo. Es un arroyo de un solo canal con moderadas a fuertes pendientes (figura 44) y secuencias muy marcadas de rabión-estanque.



Figura 44. Pendiente y desviación del arroyo La Muerta, Microcuenca Buenavista.

La figura 45 nos muestra el perfil del arroyo La Muerta, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

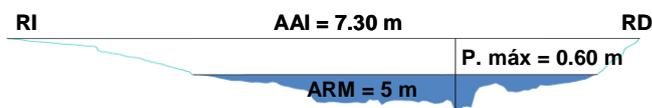


Figura 45. Perfil e imagen del arroyo La Muerta (Estación 1).

El tipo de partículas más frecuentes para la Estación 1 de la microcuenca Buenavista fueron los guijarros en general, aunque también se presentó de manera frecuente lecho rocoso (figura 46).

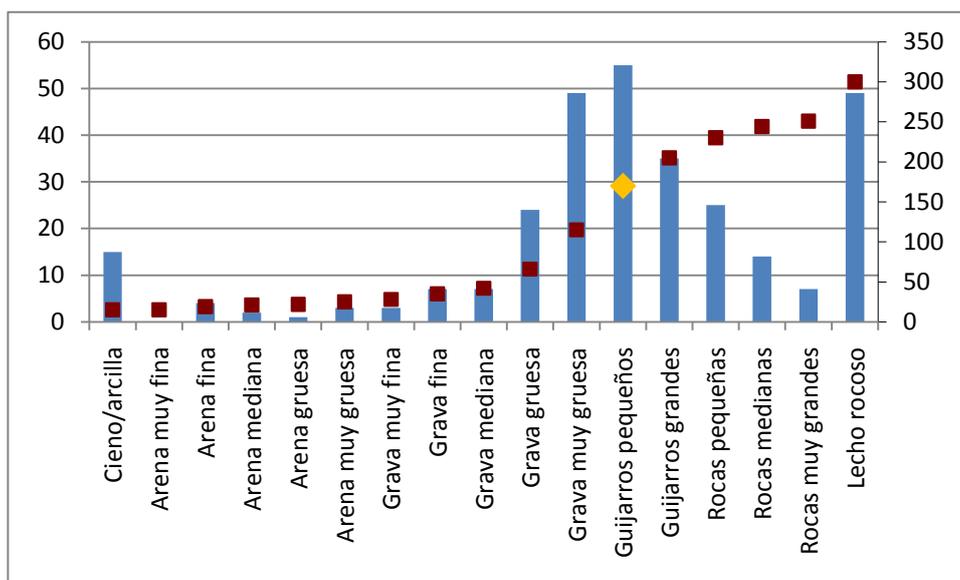


Figura 46. Tipo de partículas presentes en la estación 1, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo  .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

En relación a la Calidad Ambiental Visual, el arroyo La Muerta se calificó en gradiente alto y se valoró como en estado óptimo, debido a que las únicas alteraciones que ha sufrido el arroyo y sus alrededores es el mínimo pastoreo que se da en la zona (tabla 28).

Tabla 28. Calidad Ambiental Visual de la Estación 1, Microcuenca Buenavista.

Gradiente	Alto	
Sustrato disponible para la epifauna	18	
Embebimiento	18	
Patrones de Velocidad/profundidad	20	
Gradiente de Sedimentación	19	
Status del flujo	19	
Alteraciones del canal	17	
Frecuencia de Riffles	19	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 9	Derecha: 8
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 9	Derecha: 9
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 9	Derecha: 9
ICAV	183	
Categoría ICAV	Óptimo	

ESTACIÓN 2

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Corresponde a la zona alta de uno de los cauces de la microcuenca, localizado cercano a la Localidad La Carbonera. Esta zona se caracteriza por ser una de las partes más conservadas del Municipio de Querétaro. Es un arroyo intermitente, sin embargo cuenta con flujo constante durante la mayor parte del año debido a que recibe agua de un manantial conocido como el peñasco del Diablo.

Tabla 29. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 2, Microcuenca Buenavista.

Nombre del arroyo:	Arroyo La Fría				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	Buenavista	Localidad:	La Carbonera
Latitud:	301,874	Longitud:	2,300,973	Altitud:	2,280 msnm
Orden:	1	Sección:	Rabión		

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	4.44 m
Profundidad media:	0.3 m
Tasa ancho/profundidad (TAP/P=AMR/P):	14.80
Profundidad máxima:	0.55 m
Ancho del área de inundación (AAI):	6.67 m
Tasa de confinamiento (TC=AAI/AMR):	1.50
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D₅₀):	Guijarros grandes

Pendiente ($GP=h/d$):	0.13
Sinuosidad ($S=lc/lv$):	1.10
Tipo de corriente:	B3c



Figura 47. Imagen panorámica de cauce La Fría, Microcuenca Buenavista.

El arroyo la Fría se localiza paralelo al arroyo La Muerta y es también uno de los afluentes de la parte alta de la Microcuenca Buenavista. Este arroyo es de tipo B3c, de un solo canal, dominado por guijarros grandes (tabla 29). Lo que diferencia el tipo de corriente entre los arroyos La Muerta y La Fría es la pendiente, la cual resultó ser mayor en La Fría. Entre las características que determinan el tipo de corriente, la sinuosidad es el único factor que no coincide al ser menor de 1.2.

En la figura 48 podemos observar el perfil del arroyo La Fría, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

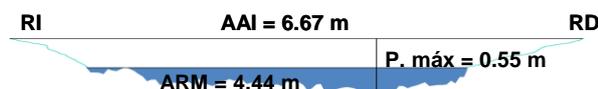


Figura 48. Perfil e imagen del arroyo La Fría (Estación 2).

En la Estación 2 de la microcuenca Buenavista se observa gran diversidad de partículas (figura 49), siendo las más frecuentes el lecho rocoso, seguido por los guijarros.

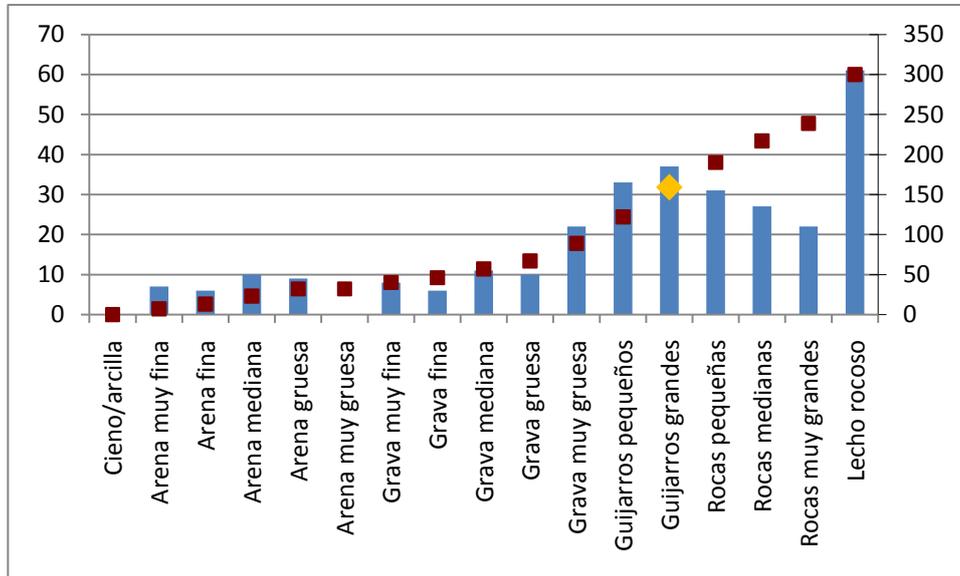


Figura 49. Tipo de partículas presentes en la estación 2, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo  .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)

Se encontró que los valores de calidad visual en el arroyo La Fría reflejan un sistema en buen estado de conservación (figura 50), otorgándole una calificación de 170 puntos, correspondiendo a la categoría de óptimo (tabla 30), en este caso el valor más bajo se dio en alteraciones del canal, debido a que el cauce fue desviado en su parte baja por la construcción de un bordo, el resto del arroyo se encuentra sin alteraciones evidentes. Cabe destacar que en la parte baja se tuvieron incendios, lo que provocó que especies de vegetación secundaria invadieran unas partes, sin embargo actualmente se encuentra esta zona en un proceso de rehabilitación.



Figura 50. Vegetación presente en las laderas del arroyo La Fría (Estación 2).

Tabla 30. Calidad Ambiental Visual de la Estación 2, Microcuenca Buenavista.

Gradiente	Alto	
Sustrato disponible para la epifauna	18	
Embebimiento	18	
Patrones de Velocidad/profundidad	15	
Gradiente de Sedimentación	18	
Status del flujo	18	
Alteraciones del canal	14	
Frecuencia de Riffles	17	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 8	Derecha: 9
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 8	Derecha: 9
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 9	Derecha: 9
ICAV	170	
Categoría ICAV	Óptimo	

ESTACIÓN 3

Determinación del Estado Más Probable y Morfometría de los cauces

Corresponde a la zona media de uno de los cauces de la microcuenca, localizado cercano a la Localidad La Carbonera. Es la unión de los arroyos La Fría y la Muerta, y se localiza aguas debajo del bordo perteneciente a la localidad. Previo a la unión de los arroyos se tiene una desviación del arroyo La Fría con la finalidad de que el flujo proveniente de este arroyo no llegue al bordo señalado. Esta zona se encuentra más cercana a la Localidad, sin embargo no se observan grandes alteraciones en el transcurso del cauce y sus inmediaciones. El arroyo es de carácter intermitente, por lo que no presenta flujo en los meses de mayor sequía.

Tabla 31. Ficha descriptiva de la geomorfología de la Estación 3, Microcuenca Buenavista.

Nombre del arroyo:	Adjuntas				
Cuenca:	Lerma-Chapala	Microcuenca:	Buenavista	Localidad:	La Carbonera
Latitud:	342,962	Longitud:	2,301,498	Altitud:	2,144 msnm
Orden:	2		Sección:	Rabión	

Ancho de la Máxima ribera (AMR):	6.72 m
Profundidad media:	0.61 m

Tasa ancho/profundidad ($TAP/P=AMR/P$):	11.02
Profundidad máxima:	1.18 m
Ancho del área de inundación (AAI):	13.66 m
Tasa de confinamiento ($TC=AAI/AMR$):	2.03
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}):	Guijarros pequeños
Pendiente ($GP=h/d$):	0.24
Sinuosidad ($S=l_c/l_v$):	1.02
Tipo de corriente:	B3c

Al unirse los arroyos La Fría y La Muerta, forman las Adjuntas, que es el arroyo que pasa por la Localidad La Carbonera. Es un arroyo de tipo B3c, siendo la tasa ancho/profundidad ligeramente menor a lo establecido para este tipo de arroyos (tabla 31), lo cual puede ser ocasionado a que una orilla del arroyo se encuentra muy cercana a las casas y se ha visto alterado por esta situación formándose un pequeño escarpe que colinda entre el arroyo y las construcciones de los habitantes en la parte más cercana a la Localidad.

La figura 51 nos muestra el perfil del arroyo La Muerta, elaborado a partir de la clasificación morfométrica de Rosgen y Silvey (1998), en donde AAI nos indica el ancho del área de inundación, P.máx significa la profundidad máxima, ARM es el ancho de la ribera máxima, RI y RD corresponden a la ribera izquierda y ribera derecha, respectivamente.

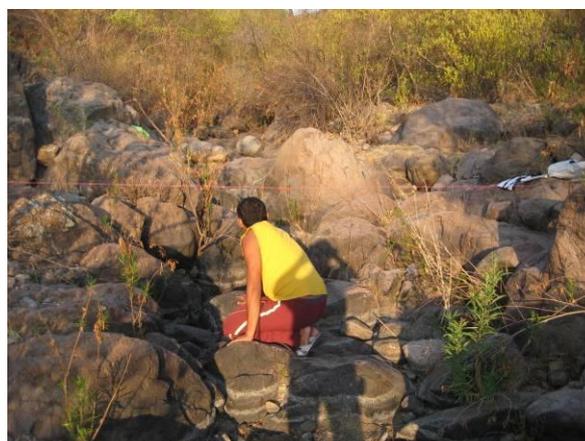
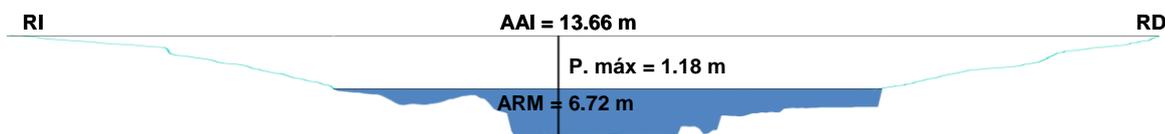


Figura 51. Perfil e imagen del arroyo Adjuntas (Estación 3).

En la Estación 3 se encontró una dinámica similar a la Estación 2 de la microcuenca Buenavista en el tipo de partículas, dominando las rocas pequeñas y guijarros, pero con presencia de la mayor parte de partículas de diferentes tamaños (figura 52).

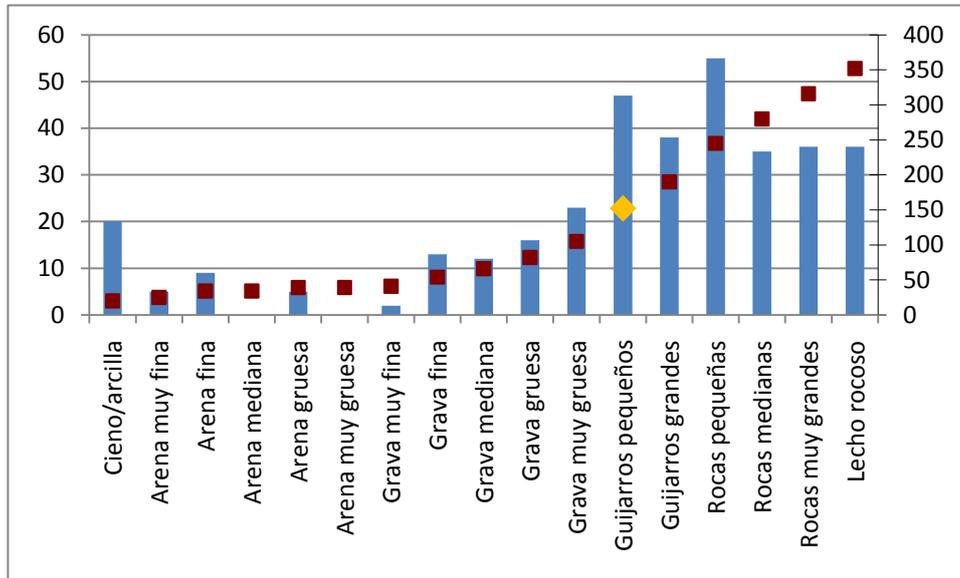
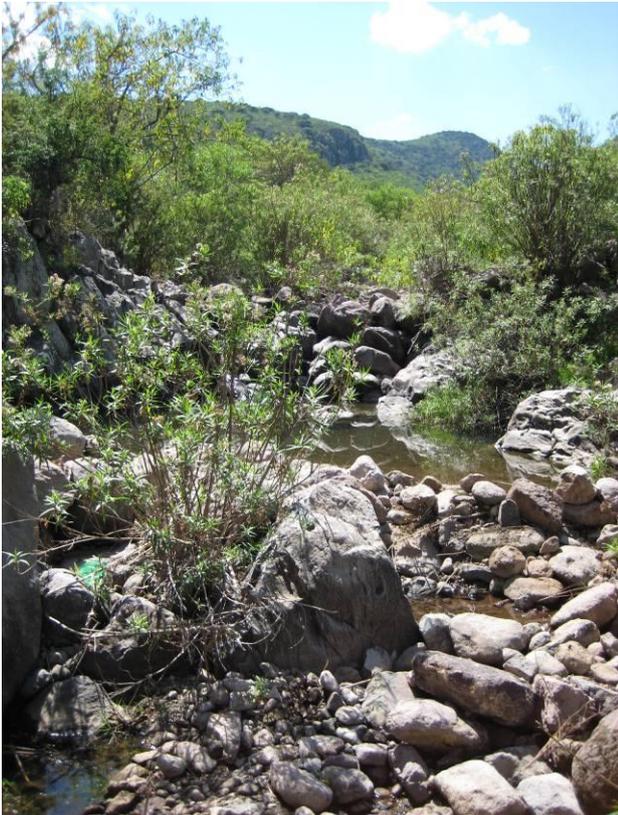


Figura 52. Tipo de partículas presentes en la estación 3, utilizando el criterio D50 para determinar el sustrato más frecuente identificado con el símbolo  .

Índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV)



La unión de los arroyos La Fría y La Muerta se da muy cercano a la Localidad La Carbonera, esta cercanía y la influencia ejercida por el hombre se refleja principalmente en las alteraciones al canal (figura 53), afecta la estabilidad, la protección vegetal y el ancho de la zona riparia sobretodo de la ribera derecha. No obstante lo anterior, el arroyo fue calificado dentro de la categoría de subóptimo (tabla 32), por lo que se deduce que no existe gran presión de los habitantes de la localidad sobre el arroyo.

Figura 53. Imagen del arroyo Las Adjuntas cercano ala Localidad La Carbonera, Microcuenca Buenavista.

Tabla 32. Calidad Ambiental Visual de la Estación 3, Microcuenca Buenavista.

Gradiente	Bajo	
Sustrato disponible para la epifauna	15	
Caracterización del sustrato de los estanques	10	
Variabilidad de estanques	11	
Gradiente de Sedimentación	12	
Status del flujo	16	
Alteraciones del canal	10	
Sinuosidad del canal	16	
Estabilidad de las riberas	Izquierda: 7	Derecha: 5
Protección vegetal de las riberas	Izquierda: 6	Derecha: 4
Ancho de la zona de vegetación riparia	Izquierda: 6	Derecha: 4
ICAV	122	
Categoría ICAV	Subóptimo	

7.3.3. Caracterización de vegetación riparia y determinación del Índice de Integridad Biótica basada en asociaciones de Macroinvertebrados

Estructura y composición de la vegetación riparia

En los sitios de muestreo de la Microcuenca Buenavista se encontraron 20 especies. Se presentaron 13 especies leñosas, pertenecientes a 12 géneros y representadas en 11 familias. Se observa que *Ipomoea murucoides* es la que tiene mayor valor de importancia en las estaciones 1 y 3. *Dodonea viscosa*, considerada como especie de vegetación secundaria, tuvo alto valor de importancia en las estaciones 1 y 2. En esta Microcuenca se encontró *Salix sp.*, única especie considerada como riparia (tabla 33 y figura 54).

Tabla 33. Valor de importancia de las especies arbóreas de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca Buenavista.

Microcuenca Buenavista			
Especies	Estación 1	Estación 2	Estación 3
			3

<i>Acacia farnesiana</i>	11.94	12.87	12.07
<i>Bursera fagaroides</i>	19.39	50.17	
<i>Bursera galeottiana</i>	29.79		
<i>Dodonaea viscosa</i>	74.35	84.89	16.28
<i>Eisenhartia polistachia</i>	10.20		
<i>Ipomoea murucoides</i>	120.62	64.98	100.82
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	17.27	9.87	50.67
<i>Schinus molle</i>	16.44		
<i>Condalia mexicana</i>		36.76	10.88
<i>Lysiloma microphyllum</i>		30.74	72.76
<i>Salix sp</i>		9.72	12.76
<i>Forestiera phillyreoides</i>			13.52
<i>Ptelea trifoliata</i>			10.22

En la tabla 34 se observan los resultados de los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson con valores de 1.789 y 0.770, respectivamente y el resultado del índice de riqueza de Margalef con un valores similares para las tres estaciones de cada uno de ellos, cuya interpretación es de bajos índices de diversidad. Misma situación se presentó para el índice de Margalef. En el caso de la microcuenca Buenavista es en donde se obtuvieron los mayores índices de riqueza con respecto a las otras dos microcuencas en estudio.



Figura 54. Especies con mayor valor de importancia para la Microcuenca Buenavista. Izquierda: *Dodonaea viscosa*, centro: *Ipomoea murucoides* y derecha: *Bursera fagaroides*.

Tabla 34. Índices riqueza y diversidad de la vegetación riparia de las tres estaciones de muestreo en la Microcuenca Buenavista.

Índices	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Número de especies	11	12	13
Número de individuos	301	264	288
Índice de diversidad de Shannon-Wiener	1.694	1.854	1.821
índice de diversidad de Simpson	0.747	0.808	0.782
Índice de riqueza de Margalef	1.752	1.973	2.119



Figura 55. Vegetación característica de la Microcuenca Buenavista.

Índice de Integridad Biótica basado en Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados acuáticos (figura 55) presentes en la Microcuenca Buenavista pertenecen a 25 familias y 11 órdenes, al igual que en la Microcuenca Santa María del Zapote la familia Baetidae correspondiente al orden Ephemeroptera fue por mucho la más abundante, no encontrándose ningún individuo representante del orden Plecóptera, lo que nos puede indicar contaminación orgánica.



Figura 56. Macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de muestreo. Familias de izquierda a derecha: Velidae, Hydrophillidae, Dysticidae, Ceratopogonidae .

Los datos arrojados por el IIBAMA (tabla 35) indican una categoría de pobre para los tres sitios de muestreo, con 6 puntos en todos los casos. Los datos que se presentaron en los sitios de muestreo son muy similares.

Tabla 35. Resultados del Índice de Integridad Biótica basado en Asociaciones de especies de Macroinvertebrados Acuáticos.

ESTACIÓN	RT	REPT	RII	#TI	T.		IIBAMA	Categoría
					Media	#TF		
Arroyo La Muerta (Cuenca Alta)	17	0	4	6	6.375	4	6	POBRE
Arroyo La Fría (Cuenca Alta)	15	1	3	4	6.357	6	6	POBRE
Arroyo Adjuntas (Cuenca Media)	15	0	4	6	6.000	4	6	POBRE

Riqueza de taxa (RT), Número de familias de EPT (REPT), Número de taxa de insectos intolerantes (RII), Número de taxa intolerantes (#TI), Valor de la tolerancia media (T. Media), Número de taxa fijos al sustrato (#TF)

En la Microcuenca de Buenavista se encontraron aguas con temperaturas que van de los 19 a 23°C, siendo las temperaturas más altas con respecto a las otras dos microcuencas en estudio y cuyos datos fueron mayores en las partes más bajas de la microcuenca.

La demanda de oxígeno fue similar en todos los sitios de muestreo, manteniéndose por debajo de los 6 mg/L, indicando aguas en buena calidad con respecto a la contaminación provocada por la descarga de aguas residuales (CNA, 2005). El pH se mantuvo entre 6 y 7°C en todos los casos. Los menores valores tanto en conductividad como SDT se presentaron en la estación 2 con aproximadamente 100 µS/cm y 49 ppm, respectivamente; siendo muy similares en las estaciones 1 y 3, como se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Parámetros químicos de las zonas de muestreo de macroinvertebrados acuáticos.

Parámetros	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Temperatura (°C)	19.01	19.79	20.45	21.07	21.44	21.59	21.80	22.70	23.01
Conductividad (µS/cm)	137	134	141	100	98	99	122	122	134
Sólidos disueltos totales (ppm)	68	17	70	50	49	49	61	61	67
Demanda de oxígeno (mg/L)	2.87	1.71	2.70	2.17	3.70	5.42	2.80	3.86	2.68
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.41	6.43	6.0	6.31	6.49	6.85	6.84	6.90	6.51

7.3.4. Validación social de la información

La Microcuenca Buenavista es la más grande de las tres microcuencas en estudio en cuanto a su extensión se refiere con casi 3,000 ha y en ella se encuentran 14 localidades, sin embargo con la finalidad de llevar a cabo un estudio comparativo, y de acuerdo al antecedente que se tiene de la zona como la más conservada del municipio, se decidió trabajar con los cauces pertenecientes al Ejido Pie de Gallo, cuya localidad más próxima y con mayor influencia sobre el mismo es La Carbonera.

Vale la pena señalar que La Carbonera es una localidad en donde se han llevado a cabo varios y diversos proyectos por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro y en ella habitan personas capacitadas y relacionadas con la conservación del medio ambiente, por trabajar en el Parque Ecológico Joya-La Barreta, el cual se encuentra relativamente cercano a la localidad o por el simple hecho de tener afecto a la naturaleza. Lo antes señalado, aunado a la relación previa que se tenía con algunos habitantes de la localidad, facilitó el acercamiento y participación con respecto a este proyecto en específico.

Al igual que en las microcuencas anteriores, el primer acercamiento consistió en explicarles el proyecto y en solicitar su asesoría, acompañamiento y apoyo con el trabajo de campo, este acompañamiento se dio con tres personas distintas en diferentes momentos. Durante los recorridos se tuvo información de la historia de los arroyos como los nombres de las pozas, los cuales fueron dados por personas de la misma Localidad quienes utilizaban estos espacios para nadar y recrearse, así como se mencionó sobre algunos fenómenos que han afectado sus recursos naturales, como es la falta de lluvias y un par de incendios que se han presentado afectando la vegetación natural. En todo momento y con todos los informantes se detecta un orgullo y un gran afecto por sus montes y sus arroyos, mencionándolos como hermosos, bien conservados y destacando su deseo por mantenerlos como se encuentran en la actualidad.

Por otro lado, y con la finalidad de validar la información que se generó al concluir con el trabajo en campo, así como obtener mayor información con respecto a los usos y necesidades relacionadas con los arroyos, el 29 de septiembre del presente año se llevó a cabo una reunión con 25 habitantes de la Localidad La Carbonera, entre los que se encontraban ejidatarios, amas de casa y habitantes en general de la Localidad. Apoyados en gráficos, se les explicó a todas las personas presentes los objetivos y metas del proyecto, así como se les mostraron los resultados obtenidos con la finalidad de que se familiarizaran con los conceptos y validaran o enriquecieran la información presentada (figura 56 y 57).

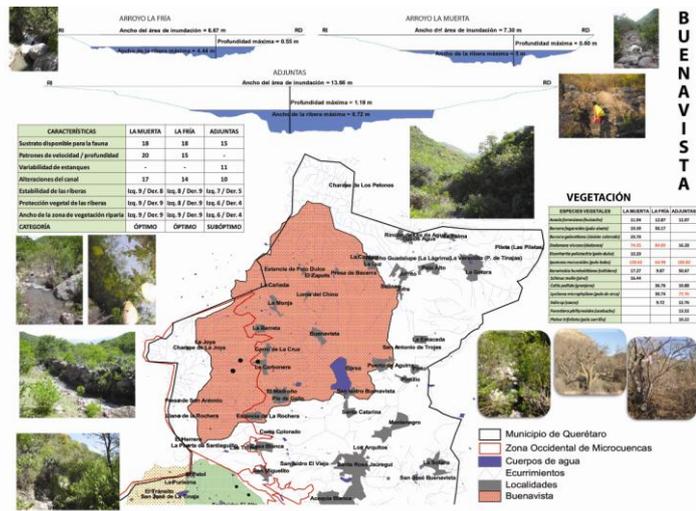


Figura 57. Material de apoyo para la reunión de validación con habitantes de la localidad La Carbonera de la Microcuenca Buenavista.



Figura 58. Explicación de resultados obtenidos a habitantes de la Localidad La Carbonera.

Como método de validación, se hizo una entrevista grupal semiestructurada con una participación activa a través de comentarios, preguntas y sugerencias por parte de la mayoría de los asistentes, quienes en todo momento se mostraron interesados e impactados por conocer más acerca de sus tierras. Entre los aspectos que se comentaron durante la reunión de validación se mencionó que hace aproximadamente 10 años el arroyo llevaba lo doble de profundidad de agua, y que en los últimos años la escorrentía ha estado bajando paulatinamente hasta llegar a los niveles que se encontraron en el presente estudio. Esto lo adjudican a la falta de lluvias que se han dado en los últimos años, principalmente en el presente, misma situación que se repite en las tres microcuencas en estudio y que de la misma manera se comentó en los recorridos en campo. Cabe señalar que las expresiones y palabras relacionadas con la falta de lluvia, así como la preocupación manifestada fue una constante en los informantes de las tres microcuencas.

Entre las problemáticas que resaltaron se mencionó que se presentaron dos incendios hace aproximadamente tres años, uno de los cuales está cercano al arroyo La Muerta. Sin embargo, esta zona se está recuperando rápidamente, lo que nos indica que las condiciones del suelo se encuentran en buen estado y están permitiendo una regeneración rápida de la vegetación.

Comentan repetidamente que las condiciones, tanto en el arroyo, como en las laderas y el cerro en general eran muy distintas, y los cambios que se han generado son únicamente por las condiciones climáticas.

Actualmente, haciendo referencia a este año, y de acuerdo a la entrevista destacó el aprovechamiento de los recursos por parte de personas externas a la Localidad, principalmente con el saqueo de manera clandestina de especies nativas, quienes han extraído biznagas y fruto del capulín en grandes cantidades, sin que los habitantes de la Localidad sepan el uso que se les dará y sin obtener ningún beneficio al respecto. Cabe señalar que entre las personas que se encontraban presentes algunas tenían pleno conocimiento al respecto y se expresaron molestos, sin embargo habían personas que no tenían conocimiento por lo que su molestia fue mayor al enterarse de esta situación que desconocían.

Esta explotación y saqueo clandestino de los recursos naturales de la zona por personas externas nos indica, por un lado el conocimiento e interés de personas que conocen el valor de las especies saqueadas, y por otro lado, la falta de organización y denuncia por parte de los habitantes de la Localidad quienes permitieron esta situación y no hicieron nada al respecto.

Específicamente hablando del arroyo, se mencionó que los usos que anteriormente se le dieron a los mismos eran principalmente para lavar ropa, bañarse y como abrevadero de su ganado, incluso muchos colectaban agua para consumo o la bebían directamente del cauce; actualmente solo algunas familias que se encuentran muy cercanas a los cauces lavan y se bañan únicamente cuando el agua es suficiente para cubrir algunas de las pozas. El abrevadero se da principalmente en el bordo de la localidad, en los arroyos se tienen temporadas para este uso, las cuales son respetadas por todos los que tienen animales. Ocasionalmente las amas de casa sacan tierra del cerro para sus plantas, sin representar un daño significativo a las condiciones naturales.

Un aspecto que destacó durante la reunión y que fue tema de discusión fue el hecho de que un tramo de la unión de los dos arroyos (adjuntas) se encuentra muy cercano a algunas casas y manifestaron que esto es un problema, ya que se descarga drenaje al arroyo, además de que se ha convertido en un tiradero de basura, dando como consecuencia la contaminación del agua,

cuyo recurso venía en perfectas condiciones de aguas arriba y eliminando con esto, cualquier posibilidad de uso en esa zona.

Al respecto se mencionó que una parte de las casas de la localidad cuenta con baños secos pero desafortunadamente son las casas más retiradas al arroyo, por lo que indican que sería conveniente que se instalen este tipo de baños para las casas que descargan el drenaje en el arroyo, con lo que se evitaría esta problemática.

Con respecto a la basura, han llevado a cabo campañas de limpieza, sin embargo mencionan *“un día limpiamos toda la basura del arroyo y al siguiente día la gente vuelve a tirar su basura, por lo que sentimos que es tiempo perdido, necesitamos que hablen con las personas que hacen esto para evitar la contaminación del arroyo”*, por lo que solicitan se lleve a cabo otra campaña de limpieza de esta parte del arroyo, pero esta vez acompañado con una alternativa para eliminar la descarga del drenaje como es la construcción de baños secos, así como pláticas y capacitación para evitar que vuelva a suceder y con esto mantener el arroyo limpio.

En general, las personas presentes en la reunión muestran interés en utilizar el agua de los arroyos para los usos que se estuvieron mencionando, incluso comentan que les gustaría beber esta agua ya que dicen *“esta agua está más limpia que la del drenaje, le tenemos más confianza y preferimos tomar el agua del arroyo que de la que viene entubada”*.

Por otro lado, y un aspecto de vital importancia y que es esencial señalar es que toda la zona forma parte del Ejido Pie de Gallo y los ejidatarios pertenecientes a la localidad con el mismo nombre quieren parcelar el ejido con la finalidad de vender a fraccionadores, quienes se han acercado con gran interés y ofertas que han sido atractivas para estos ejidatarios. Al respecto y derivado de una visión completamente distinta y haciendo evidente el compromiso y afecto que tienen con respecto a sus recursos naturales, los ejidatarios pertenecientes a la Localidad La Carbonera, y derivado de una decisión tomada considerando a la mayoría de los habitantes, aunque no fueran ejidatarios, manifestaron de que se parcele el ejido ellos están dispuestos a comprar la parte sus tierras para conservarla tanto como propiedad, así como mantener su estado natural y que no sea sometido a cambios de uso de suelo.

Como se mencionó anteriormente en esta Localidad se han desarrollado y llevado a cabo varios proyectos tanto por dependencias de gobierno, como por la Universidad Autónoma de Querétaro, entre otros; entre los que destacan la construcción y capacitación para un Jardín Botánico, el cual lo desarrollaron en la parte baja del arroyo, sin embargo expresan que no se les ha dado seguimiento a sus proyectos y que en la actualidad algunos de ellos están abandonados. Las

amas de casa tienen varios proyectos que han desempeñado con éxito como es la elaboración de lombricomposta y actualmente están haciendo cultivo de cetas, al respecto se muestran orgullosas del desarrollo de este tipo de proyectos. Una de las últimas actividades en la que estuvieron involucrados fue en una Taller de Ecoturismo TAP (Turismo Ambientalmente Planificado), el cual fue impartido para los trabajadores del Municipio de Querétaro que se hacen cargo del Parque Joya-La Barreta, pero se decidió involucrar a los habitantes de La Carbonera, por el potencial que tienen para el desarrollo de un proyecto de este tipo, el taller en comento se llevó a cabo en La Localidad y se contó con la participación de entre 40 y 50 personas de la Localidad en las diferentes sesiones, además de personal del Municipio y alumnos de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, lo cual enriqueció la capacitación al compartir experiencias, conocimientos, necesidades y prioridades de cada uno de los sectores que estuvieron presentes.

Este tipo de proyectos y capacitaciones, mencionaron los informantes, han sido y son de suma importancia para ellos porque les generan conocimientos y nuevas alternativas. En general mostraron un gran interés por la información que se les estaba proporcionando, incluso agradecieron que se les informara el estado que tienen sus cauces y su vegetación, así como se mostraron sumamente interesados en desarrollar los proyectos que se mencionaron con anterioridad.

7.4. PROPUESTAS DE MANEJO DE LOS CAUCES DE LAS TRES MICROCUENCAS

La necesidad de manejar los ecosistemas de manera adecuada para garantizar un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad, obliga a incorporar de manera eficiente diversas estrategias. El hecho de que la gran mayoría, o incluso la totalidad, de los ecosistemas del planeta se encuentran bajo la influencia humana (Gómez-Pompa y Kaus, 1992) nos obliga a reconsiderar los modelos para el manejo adecuado de los mismos. En este contexto, la conservación, la restauración y el aprovechamiento pueden ser estrategias complementarias de manejo. En particular, la restauración y la conservación, que se han considerado actividades antagónicas (Young, 2000), en realidad se complementan cuando se trata de manejar paisajes complejos en donde la actividad humana ha tenido diversos impactos sobre los distintos componentes de estos sistemas. De esta manera, en aquellas áreas que muestren niveles altos de degradación, las medidas de restauración serán dominantes hasta que se logre recuperar total o parcialmente la estructura y/o las funciones de la cuenca (Hobbs y Norton, 1996); una vez que esto ocurra, se puede implementar una estrategia de manejo con medidas de conservación o uso sostenible. Desde luego, las medidas de conservación serán dominantes en sistemas con niveles bajos de perturbación. En el caso del aprovechamiento, el

reto es incorporarlo a las estrategias de manejo de tal manera que sea compatible con las metas de restauración o conservación o que, incluso, coadyuve a lograr estas metas dentro de un esquema de manejo sostenible (Lee, 2001).

7.4.1. MICROCUENCA EL NABO

Las variables que presentan alteración en la mayoría de las estaciones de la microcuenca El Nabo, y que podrían estar reflejando una alteración existente en todo el sistema son, principalmente el Índice de integridad biótica de macroinvertebrados acuáticos, el cual fue pobre en todos los casos, misma situación que se presentó en la composición y estructura de la vegetación riparia, principalmente.

No obstante, de acuerdo a los resultados del estado más probable y la calidad ambiental visual, el cauce tiene un grado de alteración mínimo debido principalmente a la poca influencia que tienen los habitantes de las localidades en estas zonas. De acuerdo a las entrevistas sostenidas con los informantes clave, así como la información revisada, se encontró que los aspectos en donde se tiene mayor interés y se debe prestar mayor atención es en el mantenimiento de las presas filtrantes, que se llevaron a cabo con la finalidad de retención de suelos, las cuales actualmente se encuentran azolvadas; la reforestación con especies nativas, sobretodo nopal en las laderas del arroyo, así como el establecimiento de infraestructura hidráulica. Las actividades que se proponen y que pudieran ofrecer ventajas para la conservación, uso y manejo del cauce son las siguientes:

- a) Conservación de los arroyos y el ecosistema de la cañada.
- b) Rehabilitación de infraestructura hidráulica, lo que incluiría trabajos para desazolvar de las presas filtrantes y del bordo El Nabo y se pudiera llevar a cabo mediante el programa de Empleo Temporal de la SEMARNAT, en donde, además del beneficio al propio funcionamiento del arroyo, se tendría un ingreso económico para los habitantes de la localidad San Miguelito.
- c) Reforestación en las riberas con vegetación nativa de la zona, principalmente nopales, los cuales, mencionan los informantes clave, ha disminuido su cantidad por las condiciones climáticas y de sequía que han prevalecido en los últimos años. Así como revegetación con otras especies nativas de la zona que se encuentran adaptadas a las fluctuaciones del caudal y al tipo de clima prevaleciente en la zona
- d) Establecimiento de zonas de pastoreo específicas y controladas, con la finalidad de que los animales no consuman únicamente el palo bobo, cuyo elemento de la vegetación es de los más abundantes en la zona y está provocando daños y muerte en los animales, por lo

que se ha generado una problemática que está llegando a la erradicación de esta especie vegetal elemental para el tipo de ecosistema presente.

- e) Definición de lugares de esparcimiento y recreación para los locatarios, los cuales manifestaron una gran necesidad de contar con otro lugar como el bordo El Nabo, el cual se satura los fines de semana por la misma gente de la localidad con el mismo nombre, para llevar a cabo actividades familiares y de recreación.
- f) Elaboración de un proyecto ecoturístico, en donde se realicen actividades de recreación como el senderismo para caminar y bicicletas, paseos en caballo, pesca deportiva, visitas guiadas al arroyo, cuevas y elementos paisajísticos importantes en la zona; con lo que se obtendría un beneficio económico para los habitantes de las localidades y se generaría un mayor interés por la conservación.
- g) Capacitación en cuanto a la legislación con el uso y propiedad de las tierras, así como la importancia del uso adecuado y la conservación de los recursos naturales.
- h) Integrarse nuevamente al Área Natural Protegida Zona Occidental de Microcuencas con la intervención de la autoridad competente en la materia, así como la elaboración del Programa de Manejo en donde se establezcan las medidas legislativas y administrativas para la conservación y manejo de la zona de conservación.

Cabe destacar que los proyectos antes mencionados son de sumo interés para los habitantes de la Localidad El Nabo, perteneciente a la zona alta y media de la microcuenca, no obstante la zona baja de la cuenca, perteneciente al Ejido Mompaní se encuentran interesados únicamente por la conservación del arroyo y laderas.

7.4.2. MICROCUENCA SANTA MARÍA DEL ZAPOTE

De acuerdo a los resultados obtenidos, así como a la información proporcionada por los informantes, la microcuenca Santa María del Zapote presenta diferencias muy marcadas en su alteración entre la parte alta, media y baja de la cuenca. La parte alta se encuentra en estado de conservación, contrario a la parte media y baja en donde los niveles de alteración son significativos.

Entre las variables que presentan mayor alteración en la zona, y que ha sido provocada principalmente por el impacto de las actividades humanas sobre el arroyo destacan: la vegetación

riparia y los macroinvertebrados acuáticos, cuyos resultados fueron de baja diversidad y categoría de pobre, respectivamente. Cabe destacar que la construcción de la presa contribuyó en gran medida al deterioro de la protección vegetal y la estabilidad de las riberas, se encontró alto grado de alteración del relieve y suelo ripario, así como el sustrato disponible para la epifauna es pobre.

Una de las mayores problemáticas que se observan es un alto grado de erosión, por lo que, la propuesta de restauración debe incluir también la reducción de la erosión del sedimento en las orillas del arroyo, ya que esta problemática trae consigo graves consecuencias que repercuten en el azolvamiento y, por lo tanto, en la disminución de la profundidad del cuerpo de agua.

El régimen hídrico en esta microcuenca es importante, ya que el primer paso para restaurar un cuerpo de agua es que contenga este líquido. Aun cuando esto suena bastante obvio, es fundamental considerarlo en lugares como la zona de estudio, donde existen problemas de escasez de agua. Esto toma más importancia cuando el cauce se encuentra totalmente seco en la mayor parte del año y el caudal crece considerablemente con las lluvias, provocando incluso desastres naturales como las inundaciones.

Por lo antes mencionado, las propuestas de conservación y rehabilitación del cauce se enfocan en tratar de reproducir tanto como sea posible los procesos y la estructura que de manera natural el arroyo genera, favoreciendo de esta manera el paso hacia un sistema natural, que está integrado ecológicamente en el paisaje donde ocurre. De acuerdo a esto se presentan las siguientes propuestas:

- a) Mantenimiento como áreas de conservación y zonas de recarga de acuíferos en la cuenca alta.
- b) Recuperación de pequeños manantiales detectados por habitantes de la localidad y generar propuestas del uso sustentable de los mismos.
- c) Rehabilitación de la presa. Para evitar la pérdida de agua por completo, hay investigadores que sugieren que se represe el cauce en las zonas más someras con el fin de mantener el mayor volumen posible en las partes profundas. En el caso de la microcuenca Santa María del Zapote ya se cuenta con una presa en donde almacenan el agua de la temporada de lluvias, sin embargo, se necesita de mantenimiento y regenerar este vaso receptor de la cuenca con la finalidad de que aumente su capacidad de retención. Aunado a lo anterior, los informantes tienen planeada la construcción de un bordo en la parte alta de la microcuenca, ya que mucha del agua que escurre por el arroyo se evapora de manera muy acelerada y no llega a la presa, por lo que requieren un cuerpo de agua más arriba para evitar la pérdida del líquido por la evaporación.

- d) Estabilización del cauce evitando la erosión. La restauración de un sistema acuático debe incluir también la reducción de la erosión del sedimento en el arroyo y las orillas del mismo, ya que esta erosión trae consigo consecuencias que repercuten en el azolvamiento y, por lo tanto, en la disminución de la profundidad del cuerpo de agua.

Una forma de evitar la erosión dentro del cauce es el fomentar la colonización por algunas especies de plantas sumergidas nativas con la finalidad de reducir la capacidad erosiva. La vegetación tiene la capacidad de disminuir la fuerza de las corrientes cuando las avenidas provocadas por lluvias torrenciales se dan con gran fuerza. Por lo tanto, las plantas y algas filamentosas sumergidas pueden servir como anclas del sedimento, las cuales evitan que éste se resuspenda. Otra de las ventajas de este tipo de vegetación es que son el hábitat de fauna acuática. Por lo tanto, fomentan la diversidad de un sitio al ofrecer mayor número de ambientes utilizables por diferentes especies (Weisner y Strand, 2002).

Para evitar la erosión en las laderas del arroyo, se recomienda la rehabilitación de bosque ripario a través de la revegetación con especies nativas, reforzando las paredes que en este momento son impactadas por el flujo y como un estabilizador del suelo. Además se crea el ambiente para la colonización de otras plantas nativas, tratando de imitar el modelo que la naturaleza determina a lo largo del sistema.

- e) Reestablecimiento de sistema rabión-estanque y sinuosidad del canal. La sinuosidad del cauce es uno de los factores más importantes para la estabilidad del sistema fluvial, ya que está directamente relacionada con la velocidad del agua y el movimiento del sedimento. Esta es una de las variables que presenta mayor alteración debido a la construcción de la presa, lo que ha favorecido la rectificación del cauce y por lo tanto la disminución de la sinuosidad.

Restablecer la sinuosidad constante de acuerdo a las medidas de los meandros en donde la energía del flujo se encargue de mantener la forma y profundidad una vez que se establezcan gradualmente la relación pendiente-sedimento. Existen varias metodologías al respecto, una de ellas es a través del diseño de secciones transversales que favorezcan el desplazamiento lateral progresivo del cauce hacia un margen y otro, alternativamente.

El diseño de secciones simétricas, alternadas con secciones asimétricas favorece la formación de meandros al provocar la concentración de las líneas de corriente en las zonas de pozas (en la curva del meandro) y su dispersión en los tramos rectos, entre dos meandros consecutivos. Con este método se permitiría que el arroyo efectúe él mismo el trabajo de adaptación de la morfología del cauce a su régimen de caudales, y la redistribución de los sedimentos; estabilizando las riberas y recuperando la sinuosidad del arroyo, con la finalidad de obtener un balance de pendiente-sedimento y flujo.

- f) Establecimiento de zonas de pastoreo específicas y controladas, con la finalidad de que los animales no consuman únicamente el palo bobo, cuyo elemento de la vegetación es de

los más abundantes en la zona y está provocando daños y muerte en los animales, por lo que se ha generado una problemática que está llegando a la erradicación de esta especie vegetal elemental para el tipo de ecosistema presente. Además de que el pastoreo que se da de manera extensiva está dañando los brotes de la vegetación natural al ser consumidos o pisados por el paso de los animales, evitando la revegetación de manera natural en la zona.

- g) Elaboración de proyecto ecoturístico. La zona de la presa a sido del interés de visitantes de la zona, por ser un área paisajísticamente atractiva, de tal manera que los habitantes de la localidad se encuentran sumamente interesados en el desarrollo de un proyecto ecoturístico que beneficie la conservación de sus recursos naturales y obtengan un beneficio económico por esta actividad. Entre las actividades aptas para establecerse en el lugar destacan la pesca deportiva, el establecimiento de senderos interpretativos, rutas establecidas para ciclistas, paseos en lancha en la presa y paseos en caballo. Aunado a esto, se puede retomar la acuacultura en estanques para la venta de pescado para consumo.
- h) Programa de capacitación e información ambiental. Con la finalidad de que las propuestas antes mencionadas se puedan llevar a cabo de manera efectiva, es necesario un programa de capacitación a los habitantes de la localidad Santa María del Zapote para que tengan conocimientos de organización, legislación, manejo y uso sustentable de los recursos naturales.

7.4.3. MICROCUENCA BUENAVISTA

La base para el diseño de este plan han sido la problemática y las oportunidades identificadas a través del diagnóstico físico y social que se llevo a cabo en la microcuenca Buenavista. Es importante que las diferentes acciones o actividades sean lo suficientemente flexibles para hacer los ajustes necesarios a medida que se tengan nuevos conocimientos, información o bien ajustes del sistema fluvial como resultado de la rehabilitación.

Las variables que presentaron alteración, al igual que en las microcuencas anteriores fue la baja diversidad en vegetación riparia e índices bajos de macroinvertebrados acuáticos, principalmente.

A pesar de ser arroyos intermitentes, en este caso el caudal del agua permanece por más tiempo que en el resto de los casos, probablemente debido a la presencia de pequeños manantiales que son conservados por los habitantes de la localidad La Carbonera.

Con respecto a los resultados del estado más probable, morfometría y calidad ambiental visual, el arroyo y sus laderas tienen un grado de alteración mínimo, debido en buena parte, al estado de conservación de la vegetación de matorral y selva baja de las laderas, así como a la entrada de agua de los manantiales presentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la información proporcionada por los habitantes de la localidad La Carbonera, se proponen las siguientes estrategias de gestión:

- a) Conservación de los arroyos y el corredor biológico ya existente, así como de las zonas de manantiales y recarga de acuíferos, sobretodo en los arroyos La Fría y La Muerta.
- b) Repoblación de vegetación riparia. La ingeniería naturalística propone la aplicación de diversas técnicas que se promueven el uso de material vegetativo como un estabilizador del suelo, que además crea el ambiente para la colonización de otras plantas nativas, tratando de imitar el modelo que la naturaleza determina a lo largo del sistema, por lo que se propone la revegetación, principalmente en las zonas más alteradas, como son las laderas del arroyo Las Adjuntas y en las inmediaciones del arroyo La Fría, en donde se perdió vegetación como consecuencia de un incendio.
- c) Campañas de limpieza del arroyo Las Adjuntas. Uno de los aspectos en donde pusieron mayor atención los informantes es en disminuir la contaminación del río que proviene principalmente de la zona rural vertidas al cauce, tanto con descargas de drenaje como los residuos sólidos urbanos que son arrojados sobre el arroyo. Por este motivo se sugiere la implementación de campañas de limpieza para coleccionar la basura del cauce y sus riberas. Así como la construcción de baños secos para las casas que se encuentran en las orillas del arroyo, evitando con esto la descarga del drenaje y, por consiguiente, la contaminación del agua. Los resultados de estas acciones sustentan la necesidad de no descuidar este aspecto que resulta esencial para la integridad del sistema y para prevenir focos de infección para la población.
- d) Promover la participación activa de la población. A través de capacitaciones o campañas demostrativas, fomentar en los habitantes los valores que ofrece un arroyo estable, en cuanto a bienes y servicios para la población. Informar sobre las medidas legislativas y su derecho a la denuncia para la protección y conservación de sus recursos naturales, ya que personas externas a la localidad han explotado clandestinamente estos recursos sin ser denunciados.
- e) Erradicación de alga excesiva presente en las charcas del arroyo Las Adjuntas. El agua presente en el arroyo Las Adjuntas, en su mayoría está cubierta por algas, lo que genera

disminución de oxígeno en la columna de agua provocando un ambiente inhabitable para la fauna acuática y, por lo tanto, disminución de la diversidad biológica. Además de que es poco agradable a la vista y genera olores fétidos en el agua. Uno de los métodos para controlar las algas y que no dañan la vegetación natural del cauce es la utilización de jaulas con pacas de paja de cebada. El proceso es fisicoquímico, donde intervienen bacterias, hongos y en la que la mayoría de los compuestos liberados no son tóxicos.

- f) Uso sustentable del agua. De acuerdo a las entrevistas con los informantes de la localidad La Carbonera, uno de sus mayores intereses es la utilización del agua proveniente de los arroyos para usos básicos como consumo, baño y aseo, entre otros. Mencionan que el agua proveniente de los arroyos es de mejor calidad que la que obtienen del agua entubada, por lo que necesitan alternativas o un proyecto para el buen uso de sus recursos naturales, particularmente el agua.

Las propuestas de manejo y gestión presentadas para los cauces de las tres microcuencas se enfocaron principalmente en enfatizar la importancia de restablecer y/o conservar la estructura y las funciones de los arroyos, basados en los resultados obtenidos en el presente estudio como en la información otorgada por los habitantes que tienen mayor influencia sobre los cauces.

VIII. DISCUSIÓN

El entendimiento de las condiciones de las unidades de escurrimiento de las tres microcuencas brindó al presente estudio una visión clara, no sólo de las características geomorfológicas y biológicas, problemáticas y potencialidades que tienen las microcuencas, sino también de los retos y las complejas interacciones que existen en una sociedad en proceso de transformación, así como sus vínculos con el territorio y el uso y manejo de sus recursos naturales.

Por lo antes mencionado y, debido a que las condiciones, usos, problemáticas y necesidades varían entre microcuencas, a pesar de formar parte de un mismo territorio con características fisiográficas similares, es que se llevó a cabo el estudio comparativo entre las Microcuencas El Nabo, Santa María del Zapote y Buenavista.

La tabla 37, nos muestra de manera resumida los datos morfológicos de estudios previos llevados a cabo en cada una de las microcuencas, así como los resultados de las metodologías aplicadas sobre la caracterización estructural de las unidades de escurrimiento y el estado actual de los ecosistemas de los arroyos en cuanto a la vegetación riparia y las asociaciones de

macroinvertebrados se refieren. Lo antes mencionado, llevado a cabo en tres estaciones de cada una de las unidades de escurrimiento, pertenecientes a la parte alta, media y baja de cada microcuenca.

Tabla 37. Cuadro comparativo de las características morfológicas, físicas y bióticas de los sitios de muestreo de las tres unidades de escurrimiento.

	Microcuenca El Nabo			Microcuenca Santa María del Zapote			Microcuenca Buenavista		
ARROYOS	La Presita (cuenca alta)	La Presita (cuenca media)	Tortugas (cuenca baja)	La Víbora (Cuenca alta)	La Estancia (Cuenca media)	La Estancia (Cuenca baja)	La Muerta (Cuenca alta)	La Fría (Cuenca alta)	Adjuntas (Cuenca media)
Área	2924 Ha			5843 Ha			13194 Ha		
Desarrollo de la cuenca	Arroyos Tipo B (maduros)			Arroyos Tipo B (maduros)			Arroyos Tipo C (Viejos)		
Relación hipsométrica				Rh=1.38			Rh=0.88679		
Respuesta hidrológica	Respuesta hidrológica lenta (forma alargada). Rápida en sus zonas escarpadas, haciéndose lenta en sus planicies			Respuesta hidrológica lenta (forma alargada)			Respuesta hidrológica rápida (forma irregular con tendencia a circunferencia)		
Cauce regulador	Bordo El Nado y Presa Los Ángeles			Presa El Zapote			NO		
Densidad de drenaje	0.14 km/km ²						1.059 km/km ²		
ICAV	Óptimo (177)	Óptimo (179)	Óptimo (178)	Subóptimo (165)	Marginal (109)	Marginal (73)	Óptimo (183)	Óptimo (170)	Subóptimo (122)
# de sp vegetales	10	16	12	14	8	7	11	12	13
Índice de Shannon-Wiener	1.850	2.431	1.812	2.323	1.722	1.346	1.694	1.854	1.821
Índice de Simpson	0.818	0.890	0.782	0.884	0.803	0.668	0.747	0.808	0.782
Índice de Margalef	1.467	2.810	1.977	2.151	0.758	0.261	1.752	1.973	2.119
IIBAMA	Pobre (6)	Pobre (12)	Pobre (6)	Pobre (11)	Pobre (8)	N/A	Pobre (6)	Pobre (6)	Pobre (6)

Uno de los primeros pasos para la elaboración de Planes de Manejo para la conservación y/o rehabilitación de microcuencas es el diagnóstico físico de la microcuenca en cuestión, por lo que

es importante el entendimiento de sus características e implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas.

Por otro lado, dos o más cuencas, sometidas a condiciones climáticas similares y geográficamente cercanas, pueden tener regímenes de flujo, características y condiciones de conservación distintos, diferencia que puede deberse a diferentes factores. Debido a esto es que se llevó a cabo el diagnóstico bajo la misma metodología de tres unidades de escurrimiento pertenecientes a tres microcuencas, cuyos resultados se muestran en la tabla 37.

Este cuadro comparativo de las características físicas y bióticas de las tres unidades de escurrimiento, nos muestra en primera instancia que se trata de cauces pertenecientes a tres microcuencas de diferentes tamaños, siendo la Microcuenca El Nabo la más pequeña en cuanto a su extensión se refiere con casi 4,000 ha, y Buenavista la más grande con más de 13,000 ha. De la misma manera que nos muestra que tienen procesos evolutivos diferentes, en el caso de Buenavista, clasificada como cuenca tipo C con valles extensos y cumbres escarpadas y que ha sido sometida a un proceso intenso de erosión, encontrándose en una fase de vejez. Las microcuencas El Nabo y Santa María del Zapote se encuentran en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la fase de desequilibrio o juventud, obviamente evolucionando hacia la etapa de madurez, lo que implica un potencial erosivo que no debe despreciarse y cuya evidencia se sustenta con los resultados obtenidos.

Con respecto a la respuesta hidrológica, ésta es más rápida en cuencas con forma irregular, como es el caso de Buenavista. Así pues, la forma de la cuenca puede tener una influencia decisiva en su respuesta hidrológica en la salida de la misma. Si consideramos esta respuesta hidrológica en términos de la cantidad e intensidad de agua por unidad de tiempo que puede salir de la cuenca como consecuencia de una tormenta, puede decirse que las cuencas con una forma alargada favorece, para la misma lluvia, un gasto de pico más bajo que una cuenca, digamos más redondeada. Esto significa que el tiempo que requieren los escurrimientos para alcanzar la salida de la cuenca es, en este último caso, más corto que en una cuenca alargada como lo son El Nabo y Santa María del Zapote.

La densidad de drenaje expresa las características geoecológicas del territorio de la cuenca. Los factores que controlan la densidad de drenaje de una cuenca son principalmente la densidad de la cubierta vegetal, su geología, las características topográficas y de cierta manera de las condiciones climatológicas y del efecto antrópico (Chor-ley et al. 1984). En la práctica, estos valores varían de 3 a 4 en aquellas regiones con un desarrollo limitado de la red de drenaje esto es que el drenaje ocurre de manera más bien centralizada, su valor aumenta cuando la red de

corrientes presenta un elevado grado de ramificación. Al respecto, los datos que se tienen de las microcuencas El Nabo y Buenavista, nos indican baja densidad de drenaje, de acuerdo a Monsalve S. (1999), lo que nos indicaría que se trata de regiones donde el sustrato rocoso es permeable, se tiene una cubierta vegetal importante y un relieve poco escarpado. No se cuenta con el valor para Santa María del Zapote, aunque sus antecedentes de inundaciones en la parte baja de la cuenca nos indican fuertes escurrimientos, relacionados con cobertura vegetal limitada, roca madre impermeable y relieve montañoso, por lo que se trataría de una microcuenca con alta densidad de drenaje

Cabe señalar que una de las principales diferencias que se presentan entre las tres microcuencas es que los escurrimientos de dos de ellas, El Nabo y Santa María del Zapote, están siendo regulados por cauces. El Nabo en la parte alta con el bordo El Nabo, desembocando sus arroyos en la Presa Los Ángeles y, Santa María del Zapote con la presa El Zapote localizada en la parte media de la cuenca. Para el caso de la unidad de escurrimiento de Buenavista, no se tiene ningún vaso regulador de los escurrimientos evaluados.

Los datos de las características morfológicas de las microcuencas fueron tomados de los Planes Rectores de Producción y Conservación que se llevaron a cabo en las mismas.

Con respecto a las metodologías aplicadas en el presente trabajo, y llevando a cabo un análisis comparativo de las tres unidades de escurrimiento se puede observar que la categoría de calidad ambiental visual dominante en las microcuencas El Nabo y Buenavista fue el de óptimo, lo que nos reflejaría un grado mínimo de perturbación en las zonas. Contrario a la calificación otorgada para Santa María del Zapote, en donde la parte media y baja de los cauces fueron marginales. Esta situación se observa como una consecuencia de la construcción de la presa que provocó el deterioro del cauce y sus alrededores.

La cobertura vegetal es otro de los factores que están íntimamente ligados y afecta de manera importante el escurrimiento superficial. La cobertura vegetal retiene, según su densidad y su naturaleza, una porción variable del agua de lluvia. Esta agua interceptada es una parte que se sustrae al escurrimiento de tal manera que si la cobertura vegetal no existiera, los escurrimientos que se generan serían mucho mayores. Un bosque por ejemplo, amortigua y limita el impacto de tormentas de pequeña y mediana intensidad, aunque su efecto es reducido cuando se presentan tormentas de muy alta intensidad. Al respecto, se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson, así como el índice de riqueza de Margalef, resultando en todos los casos con niveles bajos de diversidad biológica, con pequeñas variaciones.

Con respecto a lo anterior, y tomando en consideración que en los tres casos se trata de Selva Baja Caducifolia, se llevó a cabo un comparativo con un estudio llevado a cabo en las cuencas del Pánuco y Lerma por Hernández y Treviño 2001, quienes muestrearon 39 sitios, de los cuales 22 resultaron con el mismo o menores valores de diversidad y riqueza, destacando que el resto de los sitios de muestreo por parte de Hernández y Treviño se trata de zonas en la Huasteca del Pánuco con climas cálidos y húmedos y muy retirados de zonas urbanas. En donde podemos observar que la tendencia de este tipo de vegetación con la aplicación de estos índices es similar, pidiéndose inferir una condición natural del tipo de ecosistema.

La variación de los resultados de los índices en las nueve estaciones del presente estudio es muy poca, a excepción del arroyo La Estancia en la parte baja de la microcuenca Santa María del Zapote, en donde se obtuvieron los datos más pobres, lo cual se ve evidente al tratarse de zonas desmontadas para el establecimiento de parcelas agrícolas. Con esta falta de vegetación no hay posibilidad de reducir los escurrimientos por efecto de la vegetación y los daños en inundaciones suelen ser muy frecuentes con grandes avenidas, fenómenos que se han presentado en esta zona.

Con la finalidad de analizar la similitud o diferencias entre microcuencas y determinar el recambio de especies vegetales, se llevó a cabo un análisis de beta diversidad, para ver la tasa de cambio en la biodiversidad entre las distintas comunidades. Los resultados obtenidos de la comparación entre todos los sitios (tabla 38) nos indican que en general hay muy poco recambio de especies, dándose la mayor diferencia entre las microcuencas Buenavista y Santa María del Zapote, que a su vez, son las más lejanas. Estos resultados nos indican que aun existe una gran similitud en cubierta vegetal en las zonas conservadas de la parte norponiente de la ciudad de Querétaro.

Tabla 38. Resultados del análisis de Beta Diversidad para las especies de vegetación riparia de los sitios de muestreo en las tres microcuencas.

Buenavista Vs El Nabo	0.37931
Buenavista Vs Santa María del Zapote	0.52
El Nabo Vs Santa María del Zapote	0.21429

Por otro lado, en el estudio se encontró que el índice de integridad biótica para macroinvertebrados acuáticos fue pobre en todos los casos, sin embargo la colecta se llevó a cabo en época de lluvias, sin ser la mejor temporada para llevar a cabo esto. No obstante, se hizo de esta manera debido a que en este año en particular las lluvias fueron muy escasas y los arroyos solo tenían agua durante los días lluviosos, secándose a los pocos días sin precipitación.

Por lo antes mencionado, se infiere que los resultados pudieron ser variables en caso de haberse dado una temporada de lluvias regulares.

El diagnóstico físico y biótico de una cuenca, tiene como objetivo primordial establecer las bases para la planeación y programación de prácticas productivas y conservación, partiendo del conocimiento de la relación causa-efecto de la problemática de la cuenca, sin embargo, este diagnóstico tiene que estar completamente soportado por uno de tipo socioeconómico, por lo que se llevó a cabo la validación de resultados y obtención de información por parte de los habitantes de las localidades con mayor influencia sobre las unidades de escurrimiento.

El acercamiento y la validación con informantes clave de las localidades de las tres microcuencas, no solo permitió aprobar los resultados obtenidos, sino que enriqueció la información que se tenía y se incorporó la perspectiva del recurso con los directamente involucrados con los arroyos, así como se identificaron las incidencias, inquietudes y necesidades con respecto a sus cauces, las cuales son resumidas en la tabla 39.

Tabla 39. Cuadro resumen comparativo de los resultados de las entrevistas grupales semiestructuradas para la validación de datos y obtención de información.

El Nabo	Santa María del Zapote	Buenavista
Validación*		
	Ancho del área de inundación de 0.70 en toma de datos y 3 mts. de acuerdo a los informantes.	
Problemáticas		
Escases de lluvias		
Improductividad en cultivos		
	Inundaciones	
Conflictos entre ejidatarios por usos de suelo		
		Explotación y saqueo clandestino por parte de externos y falta de denuncia
Proyectos por parte de las autoridades gubernamentales deficientes.		
Falta de seguimiento a proyectos		
Desconfianza ante procesos de intervención de autoridades.		
Falta de capacitación e información.		

El Palo Bobo (<i>Ipomoea murucoides</i>) quiere ser erradicado por dañar a sus animales.		
	Gran degradación de la parte baja de la cuenca (posterior a la presa)	
Fortalezas		
Poco aprovechamiento del agua de los arroyos, por lo que no existen grandes alteraciones en todo el tramo de muestreo.	Poco aprovechamiento del agua de los arroyos, por lo que no existen grandes alteraciones en la parte alta de la cuenca.	Poco aprovechamiento del agua de los arroyos, por lo que no existen grandes alteraciones en todo el tramo de muestreo.
Interés por la conservación.		
		Se han llevado a cabo una gran cantidad y diversidad de proyectos en la Localidad.
Necesidades y propuestas		
	Búsqueda de alternativas para obtener ingresos económicos.	
Interés por proyecto ecoturístico.		
Interés por un espacio para recreación de los habitantes de la localidad San Miguelito.		
	Gran interés por querer aprovechar el agua de los arroyos.	
Mayor conocimiento con respecto a lo que implica formar parte de un ANP.		
	Interés por ser beneficiados con Pago por Servicios Ambientales.	

**Toda la información fue aprobada positivamente a excepción de la presentada en la tabla 39.*

En resumen, las tres microcuencas presentan una problemática que combina los factores ambientales “naturales” asociados al tipo de clima prevaleciente en las regiones semi-áridas del centro del país, principalmente la escasez de agua por la irregularidad en la precipitación, así como ocurrencia de eventos extremos extraordinarios. A estos factores se le suma la alteración de tipo antropogénico, lo que conlleva a problemas de sobrepastoreo, actividad agropecuaria improductiva, mala utilización de los recursos bióticos y consecuentemente degradación de los mismos, así como azolvamiento de bordos.

A todo lo anterior y en estrecha relación con los factores “naturales” y “antropogénicos”, hay que agregar la degradación de las condiciones socioeconómicas de sus pobladores, lo que se traduce en una mala calidad de vida que los lleva incluso a la falta o escasez de alimento, lo que ha llevado sobretodo a los jóvenes a una desvalorización de los recursos naturales; lo que, aunado a

una falta de interés y carencia de apoyos por parte de los distintos niveles de gobierno, está conduciendo a un proceso de urbanización que se percibe como prácticamente irremediable.

A pesar de lo antes mencionado se percibe un gran sentido de identidad con la tierra por parte de los ejidatarios, principalmente personas mayores, quienes son los dueños de las tierras, y quienes tienen un gran interés por el desarrollo de proyectos ecoturísticos y productivos que pudieran beneficiar su economía y la conservación de los recursos naturales, situación que fue coincidente en las tres microcuencas.

Sin embargo, uno de los aspectos que quedaron claros en las entrevistas semiestructuradas individuales y grupales que se llevaron a cabo, es la importancia de un proceso de capacitación y otorgar mayor información real y precisa a los habitantes de las localidades, con la finalidad de ofrecerles la capacidad de tomar decisiones asertivas a su conveniencia con respecto a sus tierras. Esto se puede dar con la elaboración del Programa de Manejo del ÁNP, el cual puede otorgar un mecanismo de transparencia a través de una organización, cuyo instrumento debió haberse realizado al decretarse el área como zona de conservación y que hasta la fecha no se ha llevado a cabo por la autoridad competente.

Paradójicamente vale la pena mencionar que se observa que las regiones menos urbanizadas de la Ciudad de Querétaro ofrecen ecosistemas y recursos naturales relevantes que pueden representar áreas de oportunidad importantes que deben incluirse en las estrategias de desarrollo rural y en la consideración de alternativas de desarrollo regional, en donde la pobreza de las comunidades contrasta muchas veces con la riqueza natural de las zonas en que se asientan, convirtiéndose en zonas vulnerables a cambios en la utilización de suelos forestales a urbanos y de servicios a cambio de un beneficio económico volátil con la venta de las tierras.

IX. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se generó información sobre la caracterización física y biológica de tres unidades de escurrimiento pertenecientes a tres microcuencas occidentales de la Ciudad de Querétaro. Las conclusiones que se presentan a continuación se dan por microcuenca y finalmente de manera integral.

MICROCUEENCA EL NABO

En el caso de esta microcuenca, en el 2003 se generó un Plan de Manejo por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro, en donde se menciona que la microcuenca El Nabo presenta una problemática que combina los factores ambientales “naturales” asociados al tipo de clima prevaleciente en las regiones semi-áridas del centro del país, a saber: escasez de agua, mala distribución temporal de la precipitación, índices elevados de evapotranspiración, ocurrencia de eventos extremos extraordinarios. A estos factores se le suma la alteración de tipo antropogénico, lo que conlleva a problemas de sobrepastoreo, ineficiente utilización del recurso suelo, actividad agropecuaria improductiva, mala utilización de los recursos bióticos y consecuentemente degradación de los mismos, erosión hídrica en parcelas, azolvamiento de bordos.

Al comparar esta información con los resultados del estudio físico y biótico de los principales cauces de la microcuenca en este estudio, se deduce que, a pesar de ser una zona que en la actualidad está siendo cada vez más cercana a la zona urbana de la ciudad, sus cauces se encuentran en condiciones óptimas en cuanto a su calidad ambiental y estado más probable se refiere, lo que nos indica un contraste entre las zonas más bajas de la microcuenca, en donde las tierras han sufrido cambios de uso de suelo y de ser zonas agrícolas se han convertido en fraccionamientos.

El tipo de vegetación dominante en las laderas de los arroyos muestreados es la selva baja caducifolia, sin embargo los resultados del análisis biótico muestran bajos índices de riqueza y diversidad biológica en vegetación riparia, misma situación que se repite para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

La parte alta y media de la microcuenca se encuentran en buen estado de conservación y no hay uso excesivo de los recursos, por lo que conservan sus características y condiciones naturales del tipo de ecosistema, lo cual fue verificado con la información obtenida con los habitantes de las localidades aledañas, quienes mencionan que las

alteraciones que ha tenido la cuenca han sido mínimas a lo largo del tiempo y éstas han sido a causa de las variaciones climatológicas.

Los informantes de las localidades San Miguelito y Mompaní, en su mayoría ejidatarios de edad avanzada, se encuentran sumamente interesados y comprometidos con la conservación del medio ambiente y sus recursos naturales. Sin embargo, los más jóvenes expresan una degradación de las condiciones económicas, lo que se traduce en una mala calidad de vida y problemas asociados a la escasa infraestructura urbana, llevándolos a una desvalorización de los recursos naturales que está conduciendo a un proceso de urbanización que ellos perciben como irremediable, prevaleciendo la idea de que es en la dirección de la microcuenca El Nabo donde se dirige el crecimiento de la mancha urbana de la zona metropolitana de la ciudad de Santiago de Querétaro.

Las tierras que forman parte del Ejido San Miguelito, tramitaron un amparo y actualmente no forman parte del Área Natural Protegida, lo antes señalado debido a la falta de información por parte de los habitantes y a intereses de externos por sus tierras para ser transformadas en zonas habitacionales.

MICROCUCENCA SANTA MARÍA DEL ZAPOTE

La Microcuenca Santa María del Zapote cuenta con un estudio previo (Plan Rector de Producción y Conservación) elaborado en el 2006, en donde se menciona que no se tiene el problema de inundación, sin embargo a principios del 2010, en donde hubieron lluvias torrenciales la localidad con el mismo nombre se vio severamente afectada con problemas de inundación, lo que nos indica que existen condiciones o factores que están provocando esta clase de problemáticas.

Con los estudios llevados a cabo se obtuvieron diferencias significativas con las condiciones de los arroyos en la parte alta, media y baja de la microcuenca. La parte alta de la microcuenca, arroyo La Víbora, presentó una calidad ambiental visual como subóptimo, presentando características físicas y morfológicas en buen estado de conservación, además de haber sido el único arroyo que en el tipo de cauce coincidió con lo establecido con Rosgen y Silvey, resultado ser un arroyo de tipo A, lo cuales se presentan en las partes altas de las cuencas.

La parte media de la microcuenca, corresponde al arroyo La Estancia y se encuentra aguas arriba de la presa El Zapote, por lo que es evidente las alteraciones que ha sufrido el cauce, el cual fue ampliado y por lo tanto hubo desmonte de la vegetación, además de que, por la cercanía a la presa, se tiene una gran cantidad de pastoreo, alterado también las riberas. El tipo de vegetación dominante en las laderas en el arroyo La Víbora es el bosque tropical caducifolio degradado, en donde aún se observa la presencia de especies nativas de la zona.

El arroyo La Estancia, aguas abajo de la presa El Zapote, y que ya forma parte de la parte baja de la microcuenca, las condiciones del cauce están completamente alteradas por la influencia del hombre, debido principalmente a la presa que se encuentra aguas arriba, la cual modifico el funcionamiento natural del arroyo, además de que las laderas se encuentran totalmente invadidas por parcelas y por las primeras casas de los habitantes de la localidad. En este caso ya se pueden encontrar desperdicios o residuos sólidos urbanos en gran cantidad y no se encontró agua en el arroyo en todo el transcurso del año. Como consecuencia de lo antes mencionado, la vegetación riparia presente en esta zona es muy pobre. Este fue el caso en el que se tuvo la menor calificación en cuanto a la calidad ambiental visual se refiere, otorgándole una categoría de marginal.

Los resultados del análisis biótico muestran bajos índices de riqueza y diversidad biológica en vegetación riparia, misma situación que se repite para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, sobretodo para la parte baja de la cuenca en donde no se pudo llevar a cabo este último análisis por la ausencia de agua en todo el tramo del arroyo.

Los informantes de la localidad Santa María del Zapote son personas propositivas y con gran interés en el desarrollo de proyectos para mejorar o restablecer las condiciones naturales de la cuenca, sin embargo, mencionan y hacen evidente las carencias económicas y alimenticias de las que están sujetos, lo que los lleva a buscar alternativas de ingresos económicos, como la venta de sus tierras.

MICROCUEENCA BUENAVISTA

Al igual que las anteriores, esta microcuenca cuenta con un Plan Rector de Producción y Conservación elaborado en el 2007, es la microcuenca más grande, en cuanto a su extensión se refiere, con respecto a las anteriores, por lo que para este proyecto, se seleccionó una de las unidades de escurrimiento de las partes altas de la microcuenca,

correspondientes a los arroyos cercanos a la localidad La Carbonera, cuya zona es considerada como de las más conservadas del Municipio de Querétaro.

Los arroyos La Fría y La Muerta se determinaron en condiciones óptimas, con vegetación nativa característica de bosque tropical caducifolio y con una dinámica representativa de arroyos temporales en condiciones aceptables; no obstante en las adjuntas de estos arroyos, muy cercano a las casas de la localidad La Carbonera, se hacen evidentes las afectaciones de esta cercanía, desembocando drenaje sobre el canal y residuos sólidos urbanos, entre otros; contaminando significativamente el agua que bajaba sin alteración antrópica.

Coincidiendo con los otros dos casos, existe un gran interés por los habitantes de la localidad por llevar a cabo proyectos para mejorar y restablecer las condiciones del arroyo en la zona afectada, además de seguir conservando las partes altas de sus cauces y cerros.

CONCLUSIÓN INTEGRAL

El análisis integral de los resultados obtenidos permitió valorar en su justa dimensión el impacto que los mismos pueden tener en la bioconservación, manejo de recursos naturales y la rehabilitación ecológica.

Entre las conclusiones más importantes de este estudio destaca que los resultados de la caracterización de las unidades de escurrimiento de las tres microcuencas demuestran que el Área Natural Protegida Zona Occidental de Microcuencas, es una zona conservada, brindando una gran cantidad de servicios ambientales tales como la provisión del agua en calidad y cantidad, captura de carbono y generación de oxígeno, amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales, modulación o regulación climática, protección de biodiversidad, protección y recuperación de suelos, el paisaje y lugares aptos para la recreación, entre otros. Por lo que su conservación es primordial para resguardar los últimos recintos de ecosistemas naturales en una ciudad predominantemente urbana y justificar el rechazo de cambios de uso de suelo de estas zonas.

Los ejidatarios de todos los sitios, quienes aún poseen sentido de identidad con la tierra y las actividades agropecuarias son personas mayores de edad y señalan, con cierta

preocupación, el desinterés de los jóvenes por las actividades del campo quienes tampoco dan muestra de un interés hacia el futuro.

Uno de los hallazgos más importantes en el área técnica fue, que a pesar de haberse aplicado diferentes métodos para calificar la integridad ambiental del sistema, todos ellos coincidieron en identificar aquellas variables que han sido alteradas, así como los factores que están brindando resiliencia al sistema. Los análisis geomorfológicos arrojaron que en general se trata de sistemas fluviales que aún no han sido fuertemente alterados en su estructura y función, a pesar de las fuertes presiones por el crecimiento urbano.

Los resultados del análisis biótico nos indican que existe una importante diversidad biológica en los arroyos y las laderas, que si bien no es comparable con otras zonas del país, al obtener resultados de bajos índices de diversidad, tanto para vegetación como para macroinvertebrados acuáticos, al ser comparados con sitios similares se observa la misma tendencia para cuencas periurbanas.

Existe desconocimiento y falta de información en todos los casos con respecto a las condiciones, normatividad e implicaciones que tiene el Área Natural Protegida, por lo que se señala la importancia de la elaboración del Programa de Manejo de la ZOM.

Derivado de las consideraciones anteriores y a los intereses de los habitantes de las localidades con mayor influencia en las unidades de escurrimiento, se sugirieron una serie de propuestas establecidas en los planes de manejo que pudieran otorgar beneficios ambientales y económicos significativamente mayores que los beneficios económicos que pudieran generar el vender las tierras para convertirlas en zonas urbanas, erradicando los ecosistemas naturales presentes en estas zonas.

Para finalizar, es importante mencionar nuevamente que las características de estos sitios están siendo amenazadas seriamente por uso y deterioro causado por el hombre sobre estas microcuencas, entre los que destaca la invasión de sus cauces, aprovechamiento excesivo de sus manantiales, la destrucción del bosque ripario y la introducción de especies exóticas, entre otras, lo que pone un reto importante para la conservación, rehabilitación y/o restauración de estos ecosistemas, mismo que deberá ser enfrentado mediante mecanismos altamente participativos para su éxito.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abarca, F.J. 2007. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos en: Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
2. Barbero Joseph y Ferron Cortés. 2005. Sociedad y comunidad en el trabajo comunitario. En trabajo comunitario, organización y desarrollo social. Editorial Alianza, Madrid, España.
3. Barbour, M.T., J. Gerritsen; B.D. Snyder y J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Peryphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U. S. Environmental Protection Agency; Office of Water. Washington, D.C.
4. Begon, M., J.L. Harper & C.R. Townsend. 1990. Ecology, Individuals, populations and communities. Blackwell Sc., Boston, E.E.U.U.
5. Blackburn, T.M. & K. J. Gaston. 1996 The distribution of bird species in the New World: patterns in species turnover. *Oikos*, 77: 146-152.
6. Caldera, S.A. 2007. Tesis: Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende, Guanajuato. Universidad Autónoma de Querétaro.
7. Chevalier, J.M., Buckles, D.J. 1995. SAS2, Guía para la investigación colaborativa y la movilización social.
8. CNA, SEMARNAP. 1999. Compendio básico del agua en México. CNA. México.
9. Cody, M. L. 1975. Towards a theory of continental species diversities: bird distributions over Mediterranean habitat gradients. En: Ecology and evolution of communities (ed. M. L. Cody & J. M. Diamond), pp. 214-257. Harvard: Belknap Press.
10. Cody, M. L. 1986. Diversity, rarity, and conservation in Mediterranean-climate regions. En: Conservation biology (ed. M.E. Soulé), pp. 122-152. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
11. Colwell, R.K. & J. A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 345: 101-118.
12. Córdova, A.M. 2010. Tesis: Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato. Universidad Autónoma de Querétaro.
13. Cotler, H., M. Mazari, J. De Anda. 2006. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. INE-SEMARNAT.
14. Dall, P.C. 1995. Commonly used methods for assessment of water quality. En: Toman, M.J. y F. Steinman (eds.) Biological Assessment of stream water quality. Special Issue TEMPUS S_JEP 4724. University of Ljubljana, pp. 49-70.

15. Delegado, M. 1995. Espacio público y comunidad, de la verdad comunitaria a la comunicación generalizada.
16. Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. 1999. Gestión de Cuencas y Ríos Vinculados con Centros Urbanos. Comisión Económica para América Latina y El Caribe.
17. García, C.E. 2006. Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Santa María del Zapote. Municipio de Querétaro-FIRCO.
18. García, C.E. 2007. Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Buenavista. Municipio de Querétaro-FIRCO.
19. Gaston, K.J. & Blackburn, T.M. (2000). Pattern and process in macroecology. Blackwell Science, Oxford.
20. González, T.M., García, D.J., Lara F., Garilleti R. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua Ingeniería Civil 143/2006, pág. 97
21. Gullan, P.J. and Cranston, P.S. (1994) The Insects: An Outline of Entomology. Chapman and Hall, London. 491 pp.
22. Hernández, S.L. y Treviño, C.J. 2001. Árboles riparios en Informe CONACYT: Diversidad biológica de ríos y arroyos del centro de México: bases para su conocimiento y conservación. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
23. Holt-Gimenez, Eric. 1996. The Campesino a Campesino Movement. Institute for Food and Development Policy. California, Estados Unidos.
24. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. México.
25. Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.
26. Krebs, C.J. 1978. Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Second Edition. Harper and Row, New York. 678 pp.
27. Koleff, P. 2005. Conceptos y medidas de la diversidad beta, en G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.), Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma. Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, pp. 19-40.
28. Lindegaard, C. 1995. Chironomidae (Diptera) of European Cold Springs and Factors Influencing Their Distribution. Journal of the Kansas Entomological Society 68 (2) suppl.: 108-131.
29. Loreau, M. 2000. Are communities saturated? On the relationship between α , β and γ diversity. Ecology Lett., 3: 73-76.
30. Luna, B. 2009. Nombre tesis. Universidad Autónoma de Querétaro.

31. M.R. Vidal-Abarca. 1990. Los ríos de las cuencas áridas y semiáridas: una perspectiva ecológica comparativa y de síntesis. *Scientia gerundensis*, 16/1:219-228.
32. Magurran 1989 Magurran, A.E. 1989. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton, Nueva Jersey, EEUU.
33. Mandaville, S. M. 2002. *Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics and Protocols*. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax (Project H-1). Disponible en <http://www.chebucto.ns.ca/ccn/info/Science/SWCS/studies.html>
34. Monsalve S. G. 1999. "Hidrología en la Ingeniería" Ed. Alfaomega.
35. Municipio de Querétaro. 2005. *Estudio Técnico Justificativo de la ZSCE Zona Occidental de Microcuencas*.
36. Municipio de Querétaro. 2009. *Diagnóstico Ambiental Municipal del Municipio de Querétaro*.
37. Murguía, M. 2005a. *Biogeografía Cuantitativa: un análisis de métodos y desarrollo de herramientas*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM.
38. Pérez Munguía R.M., R. Pineda López y M. Medina Nava. 2007. *Integridad biótica de ambientes acuáticos en: Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. 71-111. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
39. Pérez Munguía, R.M. y R. Pineda López 2005. *Diseño de un índice de integridad biótica para ríos y arroyos del Centro de México, usando las asociaciones de macroinvertebrados*. *Entomología Mexicana* 2005. 4:241-245.
40. Pharo, E. J., A. J. Beattie & D. Binns. 1999. *Vascular plant diversity as a surrogate for bryophyte and lichen diversity*. *Conserv. Biol.*, 13: 282-292.
41. Pineda-López, R. y L. Hernández-Sandoval. 2000. *La microcuenca Santa Catarina: estudios para su conservación y manejo*. Serie Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
42. Pineda-López, R.F. y Díaz-Pardo, E. 2001. *Informe CONACYT: Diversidad biológica de ríos y arroyos del centro de México: bases para su conocimiento y conservación*. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
43. PNUMA, SEDESU, CONCYTEQ. 2008. *Perspectiva del Medio Ambiente Urbano: GEO Zona Metropolitana de Querétaro*. División de Evaluación y Alerta Temprana, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Querétaro, Querétaro.
44. Rangel-Ch., J.O., P. Lowy-C. & M. Aguilar. 1997. *Colombia Diversidad Biótica II: Tipos de vegetación de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia-IDEAM, Bogotá D.C., Colombia).

45. Roitman, Patricia. 2005. Modelos de Manejo Integral de Microcuencas, Rescate de la Cuenca Lerma-Chapala. Documento Interno de trabajo. SEMARNAT, Querétaro.
46. Romero, D., Ordenes, F., Apablaza, V., Reyes, C. y Vásquez A. 2004. Evaluación Ambiental de las Cuencas Urbanas del Piedemonte Andino de Santiago de Chile. Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, Centro EULA de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción, Magíster en Geografía y Magíster en Gestión y Planificación Ambiental de la Universidad de Chile.
47. Rosgen, D y L. Silvey. 1998. Field Guide for Stream Classification. 2nd. Edition.
48. Rosgen, D. 1994. A classification of natural rivers. *Catena*. Wildland Hydrology, 157649 U.S. Highway 160, Pagosa Springs, CO 81147.
49. Rosgen, D. 1996. Applied River Morphology. United States of America.
50. Routledge, R. D. 1977. On Whittaker's components of diversity. *Ecology*, 58: 1120-1127.
51. Routledge, R. D. 1984. Estimating ecological components of biodiversity. *Oikos*, 42: 23-29.
52. Ruberto, A. R., Depettris, C. A., Pilar, J. V. Prieto, A. N., Gabazza, S. E., Zárate, M. 2006. Impacto hidrológico por incremento de las áreas impermeables en cuencas urbanas Subcuenca Cisterna, Resistencia, Chaco. Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas (Tucci, C., Motta Marques, D. 2000. Avaliação e Controle da Drenagem Urbana, Vol. 1 y 2. Gráfica Editora Pallotti, Porto Alegre, RS, Brasil).
53. Sabih, J. 1993. Manual para la evaluación de tecnología con productores. IPRA-CIAT.
54. SEDESU. 2009. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de Estado de Querétaro. COPLADEQ.
55. Shmida, A. & M. V. Wilson. 1985. Biological determinants of species diversity. *J. Biogeog.*, 12: 1-20.
56. Simberloff, D.S. [1983]: 'Competition Theory, Hypothesis Testing, and Other Community Ecological Buzzwords', *American Naturalist*. 122, pp. 626-635. Reprinted in Salt (ed.) [1984
57. Timoney, K.P., G. Peterson y R. Wein. 1997. Vegetation development of boreal riparian plant communities after flooding, fire and logging, Peace River, Canada. *Forest Ecology and Management*. Vol. 93: 101-120.
58. Universidad Autónoma de Querétaro. 2003. Plan de Manejo de la Microcuenca El Nabo, Municipio de Querétaro, Qro. SEMARNAT.
59. Whittaker, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.*, 30: 279-338.

60. Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21: 213-251.
61. Whittaker, R. H. 1977. Evolution of species diversity in land communities. *Evol. Biol.*, 10: 1-67.
62. Wilson, M. V. & A. Shmida. 1984. Measuring beta diversity with presence-absence data. *J. Ecology*, 72: 1055-1064.
63. Zárate, Hernández, J. E. 2003. La comunidad imposible, alcances y paradojas del moderno comunalismo. En *La comunidad a debate*.