



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



MCIA
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH

**FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA RED
HIDRÁULICA SUPERFICIAL DE LA PARTE SUR-SURESTE DEL
MUNICIPIO DE MORELIA, MICHOACÁN: HACIA UN MODELO DE
GESTIÓN”**

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

presenta la

I.Q. Idolina Molina León

Director de Tesis:

Dr. Ricardo Miguel Pérez Munguía

Codirectora de Tesis:

M.C. Anabel Cruz Flores

Morelia, Michoacán, febrero del 2011

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA RED HIDRÁULICA SUPERFICIAL DE LA PARTE SUR-SURESTE DEL MUNICIPIO DE MORELIA, MICHOACÁN: HACIA UN MODELO DE GESTIÓN

Por

IDOLINA MOLINA LEÓN

Febrero 2011

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Dirigida por: Dr. Ricardo Miguel Pérez Munguía

En este estudio se cuantifica y evalúa la calidad ambiental general para diez sitios de la red hidráulica superficial de la parte sur-sureste del municipio de Morelia, Michoacán, que abastece en un 30% a la ciudad y se encuentran dentro de las partes altas de las Redes Hidrológicas: RH-12Gb y RH-18Gd. El objetivo general es encontrar las variables que permitan sustentar de forma técnica y científica un modelo de gestión de este recurso hídrico. Se aplican cuatro procesos sistematizados: 1. Geomorfológicos, que permiten determinar el estado más probable del cauce así como los tipos de sustrato; 2. Calidad ambiental visual, los cuales determinan la estructura del hábitat y 3. El Índice de Calidad del agua (ICA) para evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas. 4. Con la información generada en los tres procesos, encontrar las variables que agrupan a los sitios de acuerdo a su categoría de calidad.

De acuerdo a los resultados, se encontró que las variables: conductividad, sólidos disueltos totales, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, alcalinidad, dureza total, cloruros, salinidad, coliformes fecales, sustrato disponible, embebimiento, patrón velocidad/profundidad, alteración del canal, frecuencia de riffles, máxima profundidad, ancho del área de inundación y el tipo de sustrato (D_{50}), son las que muestran sensibilidad para agrupar a los sitios en las categorías de calidad óptima, subóptima y pobre, de tal forma que se define la interrelación que guardan entre sí estas variables que hacen comprensible el entendimiento de la calidad ambiental general del

área en estudio y con ello se propone con base en la normatividad, fortalecer la importancia de revegetar los cauces con zarzamora (*Rubus* sp) como vegetación ribereña nativa, usando modelos de trasplante de las áreas conservadas a las áreas degradadas, así como con la misma técnica restablecer la vegetación riparia.

En este sentido es importante destacar que la alteración física de las áreas de inundación, deberá darse con los principios geomorfológicos usados en el estudio, puesto que de esta manera se garantiza la recuperación natural del cauce, de igual forma se debe llevar a cabo la reconstrucción de la secuencia, tamaño y frecuencia de rabiones con un reacomodo de los substratos de manera local.

DEDICATORIA

A mi padre **Onécimo Molina Novas**, porque aunque ya no esté presente físicamente está en mi corazón, siempre fue un gran apoyo, ejemplo de superación y fortaleza en toda actividad emprendida.

A mi madre **Domitila León de la Rosa**, amorosa y paciente, mi razón de vivir, inspiración para iniciar y concluir este arduo trabajo.

A mis hermanos y hermanas, **Alejandro, Vicente, Bartolo, Juan, Esteban, Minerva, María Antide, María Hermelinda** y en especial a **Arminda**; por su paciencia, apoyo, confianza y respeto.

A **Olga, Norma, Verónica, Lupita, Bibiana, María Isabel, Miriam, Naomi, Liz Mary, Juan Pablo, Gustavo, Abisaid, Diego y Junior** por su cariño, amor y sobre todo por esperar a que terminara esta gran tarea. Mis hermosos tesoros.

A mis amigas **Anabel Cruz Flores, Ma. de Lourdes Rodríguez Manzo, María Isabel Ornelas Mendoza, Luz Hortencia Torrero López, Alejandra Torrero L, Griselda López Carrillo, Martha Magaña Urbina** por su cariño, apoyo, comprensión y por alentarme a seguir. Pacientes compañeras en este proyecto.

A mi familia adoptiva a mis amas **Navorina Colín Benítez, Rosa María Torres Ponce de León y Doña Nicolasa López**, mis sobrinas **Maru, Arianna, Ilse, Lady, Gaby e Ivette** por su cariño y apoyo incondicional.

RECONOCIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**, en particular al **PROGRAMA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**, en especial a las **JEFATURAS DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO, FACULTAD DE BIOLOGÍA, INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA CIVIL**. A los **Laboratorios de Análisis Químico, Investigación Genética y Microbiología, Entomología, Acuática, Ingeniería Ambiental e Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, por permitirme ocupar sus instalaciones para llevar a cabo la parte experimental de los análisis y por el apoyo en la realización de este proyecto.

A mi asesor, **Dr. Ricardo Miguel Pérez Munguía** por su disposición y generosidad para compartir sus conocimientos, su permanente guía en la dirección de este trabajo, su tolerancia, paciencia y apoyo incondicional.

A los integrantes de la mesa de revisión del trabajo **M en C. Anabel Cruz Flores, M. en C. Gabriel Martínez Herrera, Dr. Raúl Francisco Pineda López, Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortazar**; por sus observaciones y comentarios en el proceso y terminación de mi trabajo.

Al **Dr. Javier Ponce Saavedra** por el apoyo en el análisis multivariado aplicado en el proyecto.

Al **Dr. José Fernando Villaseñor Gómez** por impulsarme a seguir este proyecto, por su apoyo brindado para concluir la maestría.

A la **I.Q. María Silvia Aguilera Ríos** por sus enseñanzas y su aportación a mi formación académica.

Al **Dr. Miguel Martínez Trujillo** por su aportación en la aplicación de la técnica de coliformes.

Al **Biólogo Luis Gustavo Garfias Chávez** del Departamento de Calidad del Agua, Dirección Local Michoacán (CONAGUA) por el apoyo en la aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) a este proyecto de investigación.

A **Liliana Patricia Cerritos Barriga y Carmelita**, por su apoyo como personal administrativo del Programa de la Maestría.

A **Alejandra Muñoz Ramírez, Alejandra Hueramo Ochoa, Rosa Elvia Cruz Romero, Vania Miren Ramírez Melchor, Rosa María Ortiz Muñoz, Goreti Herrera Aguirre, Miguel Ángel García Velázquez, Ulises Torres García, Jorge David Magaña Moreno, Rubén Hernández Morales, César Manríquez Ascencio**, por el apoyo brindado en las salidas al muestreo en campo; Gran equipo de trabajo.



A todos los **profesores de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental**, mi admiración y respeto, personas comprometidas en el desempeño de sus labores.

A mis **compañeros de la Maestría y amigos** por su presencia y apoyo. Gracias los voy a recordar siempre.

Capítulo 3. Metodología	
3.1 Selección y ubicación de los sitios	30
3.2 Caracterización	33
3.2.1 Caracterización Geomorfológica	33
a) Método de Rosgen (1996)	33
b) Método de Bunte y Abt (2001).	36
3.2.2 Caracterización de Calidad Ambiental Visual (Barbour <i>et al</i> , 1999)	36
3.2.3 Caracterización de la Calidad del Agua	38
a) Determinación de parámetros físicos, fisicoquímicos y bacteriológicos	39
b) NOM-127-SSA1-1994	41
c) Índice de Calidad del Agua (ICA)	41
3.3. Análisis estadísticos	42
3.4 Modelo de Gestión Propuesto	44
CAPÍTULO 4. Resultados y Discusión	
4.1 Geomorfología de los sitios en estudio	45
4.1.1 Descripción de la estructura geomorfológica del cauce y Valle por el tipo de corriente de acuerdo a la clasificación de Rosgen, 1998.	47
4.2 Calidad Ambiental Visual de los sitios en estudio	65
4.2.1 Descripción de la calidad ambiental visual del cauce Utilizando el protocolo de Barbour <i>et al</i> , 1998.	66
4.2.1.1 Evaluación de la calidad del hábitat con base en los criterios de la calidad ambiental visual (CAV).	66
4.3 Índice de Calidad del Agua de los sitios en estudio.	81
4.3.1 Determinación del Índice de Calidad del Agua	81

4.3.2 Variación espacial del índice de Calidad del Agua en los los sitios de la red hidráulica superficial en estudio	82
4.3.3 Variación temporal del Índice de Calidad del Agua en los en los sitios de la red hidráulica superficial en estudio	85
4.3.3.1. Clasificación de los sitios por su grado de Contaminación e ICA procesado.	85
4.4 Análisis Estadísticos	93
4.4.1 Procesamiento de la información recopilada de los diez los diez sitios de la red hidráulica superficial de la parte sur-sureste del municipio de Morelia, Michoacán.	93
Conclusiones	117
Bibliografía	120
Glosario	126
Apéndice	129

LISTA DE FIGURAS

Capítulo	Descripción	Página
2.1	Formas de valle en un cauce	23
3.1	Regiones hidrológicas de los sitios del área en estudio	30
3.2	Localización de los sitios de muestreo (Imagen © 2009 Digital Globe, INEGI).	31
3.3	Ubicación de los sitios y las cortinas rompepicos para el control de avenidas en el río chiquito.	32
3.4	“Clave de Rosgen” para la clasificación de ríos naturales (tomada de Rosgen 1996).	35
3.5	Mediciones para determinar el tipo de corriente del cauce de los sitios en estudio	36
3.6	Diagrama de flujo para la elaboración de la propuesta del modelo de gestión del recurso hídrico de los sitios de referencia.	44
4.1	Mediciones en la determinación del tipo de corriente y valle	45
4.2	Formas de valle ( corresponde al tipo “U” y  al tipo “V”, conforme a Montgomery D.R. y Buffington J.M., (1993) y tipo de corriente de los sitios del área en estudio.	46
4.3	Corte seccional del sitio 1 “Las Viboritas”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	47
4.4	Construcción de caminos e impactos en la ribera derecha del sitio “Las Viboritas”	48
4.5	Corte seccional del sitio 2 “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	49
4.6	Pastoreo de ganado e impactos en el sitio 2 “Aguas debajo de las adjuntas del río chiquito”	50
4.7	Corte seccional del sitio 3 “Las Golondrinas”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	51
4.8	Formación de islas en el centro del cauce e impactos en el sitio “Las golondrinas”	52

4.9	Corte seccional del sitio 4 “Infonavit”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	53
4.10	Imagen de los impactos en el sitio “Infonavit”	54
4.11	Corte seccional del sitio “Descarga de río bello”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	54
4.12	Impactos ocasionados por afectaciones humanas en el sitio 5 de la descarga residual	55
4.13	Corte seccional del sitio “Aguas arriba de la descarga de Río Bello”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	56
4.14	Impactos en el cauce del sitio “Aguas arriba de la descarga de río bello”	57
4.15	Corte seccional del sitio “Arroyo San Miguel”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	58
4.16	Impactos en las riberas del sitio “Arroyo San Miguel “.	59
4.17	Corte seccional del sitio 8 “Venadario”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	60
4.18	Unidad de manejo ambiental, caminos e impactos en el cauce del sitio “Venadario”	61
4.19	Corte seccional del sitio “Río Paredones fosa”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	61
4.20	Desprendimiento de material de taludes e impactos en el cauce del sitio “Río paredones, fosa”	62
4.21	Corte seccional del sitio 10 “Salida del cañón, el oasis”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos	63
4.22	Imagen del paisaje del sitio “Salida del cañón el Oasis”	63
4.23	Imagen que muestra los substratos rocosos del sitio “Salida del cañón, el Oasis”	64
4.24	Línea de tendido para extracción de agua en el cauce del sitio “Salida del cañón, el Oasis”	65
4.25	Calidad Ambiental Visual del sitio “Las Viboritas”	67
4.26	Sitio “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”	68

4.27	Acumulación anormal de sedimentos e infiltración de agua en el sitio “Golondrinas”	70
4.28	Calidad ambiental visual del sitio “Infonavit”	72
4.29	Degradación ambiental del sitio “Descarga de río bello”	74
4.30	Sitio “Aguas arriba de la descarga de río bello”	75
4.31	Calidad ambiental del sitio “Arroyo San Miguel”	77
4.32	Calidad ambiental del sitio “Venadario”	78
4.33	Calidad del hábitat del sitio “Río paredones”	79
4.34	Calidad Ambiental Óptima del Sitio “Salida del cañón, el Oasis”	81
4.35	Gráficos de las variables que presentan heterogeneidad en sus valores	83
4.36	Gráficos de las variables que presentan homogeneidad en sus valores	83
4.37	Variación espacial del ICA de la red hidráulica superficial de la parte sureste de Morelia, Michoacán	84
4.38	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Viboritas”	86
4.39	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio 2	86
4.40	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Golondrinas”	87
4.41	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Infonavit”	88
4.42	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Descarga de río bello”	82
4.43	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Aguas arriba de la descarga de río bello”	90
4.44	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Arroyo San Miguel”.	90
4.45	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Venadario”	91
4.46	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Río Paredones”	91
4.47	Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Salida del cañón, el Oasis”	92
4.48	Gráfico del análisis de Outliers	95

4.49	Gráficos de Distribución normal	96
4.50	Prueba de Tukey-Kramer de las variables que mejor separaron las categorías de la calidad ambiental predicha por el CAV.	100
4.51	ACP de los sitios de la red hidráulica en estudio en el espacio multivariado	102
4.52	Ordenamiento de los sitios del área de estudio por su categorización (análisis de discriminantes)	103
4.53	Diagrama de agrupamiento Cluster (Ward)	104
4.54	Mapa que muestra la relación entre la Calidad del Hábitat y la Calidad del Agua.	111
4.55	Problemática y propuesta para los sitios de la columna de agua en estudio.	113
4.56	Diagrama del modelo de gestión para los sitios de las RH-12 y RH-18	115

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Valores geomorfológicos para cauces con tipo de corriente “B”	24
2.2	Valores geomorfológicos para cauces con tipo de corriente “F”	25
3.1	Ubicación y designación de sitios selectos	32
3.2	Categorías para calificar la calidad ambiental visual	38
3.3	Métodos y Normas Oficiales Mexicanas, con las que se hicieron las mediciones de los parámetros fisicoquímicos	40
3.4	Clasificación del tipo de calidad del agua	42
4.1	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 1 “Las Viboritas”	48
4.2	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 2 “Aguas debajo de las adjuntas del río chiquito”	50
4.3	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 3 “Las Golondrinas”	52
4.4	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio “Infonavit”	53
4.5	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 5 “descarga de río bello”	55
4.6	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 6 “Aguas Arriba de la descarga de río bello”	57
4.7	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 7 “Arroyo San Miguel”	59
4.8	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 8 “Venadario”	60
4.9	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 9 “Río Paredones fosa”	62
4.10	Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”	65
4.11	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 1 “Las Viboritas”	66

4.12	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 2 “Aguas debajo de las adjuntas del río chiquito”	68
4.13	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 3 “Golondrinas”	69
4.14	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 4 “Infonavit”	71
4.15	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 5 “Descarga de río bello”	73
4.16	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 6 “Arriba de la descarga de río bello”	74
4.17	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 7 “Arroyo San Miguel”	76
4.18	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 8 “Venadario”	77
4.19	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 9 “Río paredones”	79
4.20	Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”	80
4.21	Coeficientes de ponderación en el cálculo del ICA	81
4.22	Variables que muestran heterogeneidad y homogeneidad en sus valores	82
4.23	Variables correlacionadas conforme al coeficiente de correlación de Spearman	98
4.24	Análisis de varianza de una sola vía (ANOVA)	99
4.25	Análisis de ordenamiento ACP	101
4.26	Análisis de discriminantes de acuerdo a la condición por sitios	103
4.27	Descripción breve de la problemática en los sitios del área de estudio y la forma para resolverla	108

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El agua es considerada como un factor crítico para el desarrollo de las naciones y quizá sea el recurso que define los límites del desarrollo sustentable, ya que no sólo es indispensable para el desarrollo económico y social de la humanidad sino también para el funcionamiento de los ecosistemas del planeta (SEMARNAT, 2008), el 70% de la superficie del planeta está cubierta de agua, de este, el 97.5% es agua salada que se encuentra en océanos y mares, el restante es agua dulce. De esta última, el 68.7% se encuentra en los glaciares, el 30.1% es agua subterránea, el 0.8% es permafrost (congelación perpetua); de manera que del total del agua en el planeta, únicamente el 0.4% es agua superficial (ríos y lagos principalmente) y de la atmósfera, potencialmente útil para el mantenimiento de la biodiversidad y para abasto de las actividades humanas (GEO 4, PNUMA 2007).

Además, la distribución de este recurso, no es homogénea sobre la superficie, puesto que existen áreas en las que abunda, como en la cuenca amazónica, en tanto que en otras áreas, como los desiertos, su disponibilidad es muy baja o nula. México está considerado como un país con baja disponibilidad de agua, la gran mayoría del agua dulce proviene de las lluvias, pero en su dinámica se infiltra al subsuelo, de tal suerte que el agua subterránea abastece a 75% de la población, 61% de la industria y 33% de la agricultura. Sin duda, el agua subterránea es fundamental para el país, puesto que es la principal fuente de abasto (FEA, 2006). Explicándose así que los recursos hidráulicos más contaminados o sobreexplotados se concentran en las zonas más pobladas del país, o en las cercanías de éstas, en la mayoría de ríos y lagos la calidad del agua es inadecuada para varios tipos de usos (SEMARNAT, 2009).

Con frecuencia el agua subterránea emerge formando corrientes superficiales, en estos sitios las características y propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas, se conservan con poca variación en los primeros metros del sistema superficial, por lo que el estudio de estos puntos, nos permite reconocer la calidad del agua subterránea. Una vez en la superficie, las corrientes son empleadas para distintos usos, frecuentemente para trasladar contaminantes

provenientes de aguas residuales, que pueden ser introducidos y transportados hacia la red de suministro de agua (Jiménez-Cisneros, 2008). Estos ecosistemas superficiales, conforman la red que dentro de una cuenca comunican a todos sus elementos ecosistémicos (Machado & Roldán, 1981). Su estudio ecológico de acuerdo a Pérez-Munguía y Pineda-López (2006) ha permitido reconocer los procesos que son la causa de su degradación, causando dos tipos de impacto principales: 1) Degradación física, que altera básicamente los sustratos donde puede habitar la biota; Así como la modificación de la velocidad de la corriente en los sistemas lóticos, y como consecuencia modificación en la estructura del cauce incrementando la pérdida de sustratos; al mismo tiempo que se pierden refugios, zonas de reproducción y alimentación para la biota acuática. Estos procesos con frecuencia afectan el estado más probable de un cauce, que de acuerdo con Rosgen (1996), corresponde con el tipo de corriente; que ha sido conformado por los procesos geomórficos longitudinales y transversales, asociados a la dinámica del agua y sus procesos de disipación de energía. Estas alteraciones estructurales en el hábitat han sido consideradas entre las mayores fuentes de estrés en los sistemas acuáticos e indicadoras de alteraciones en la funcionalidad de una cuenca y 2) La degradación en la calidad del agua, como consecuencia de las actividades antropogénicas que conducen a la contaminación orgánica e inorgánica, tanto por fuentes puntuales como no puntuales en los sistemas riparios.

El creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, debido al aumento en los niveles de contaminación, ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Existen diversos índices numéricos para llevar a cabo esta evaluación, a partir de las ponderaciones de parámetros físicoquímicos, bacteriológicos y de calidad ambiental seleccionados de acuerdo al uso que se le da al agua. El diagnóstico a través de monitoreos de la calidad del agua, conlleva al cumplimiento de los requerimientos de la normatividad ambiental sobre calidad de vertimientos de aguas a fuentes naturales.

La información que generan los indicadores ambientales mejora la efectividad de los programas de gestión de la biodiversidad, ecodiversidad y geodiversidad; cuando se utilizan para evaluar tendencias mundiales o nacionales, tienden un puente entre los campos de los que elaboran las políticas y la ciencia. La conservación y la integridad de las aguas

continentales son un indicador excelente de la conservación de los ecosistemas terrestres (OSACPyT, 2005).

El uso del Índice de Calidad del Agua (ICA), es la única forma normalizada en México para valorar la condición ambiental de los ecosistemas acuáticos; considerando que solo informa sobre aspectos relacionados con contaminación puntual y/o no puntual, y que no reconoce las alteraciones morfológicas sobre los cauces, está limitado en la explicación sobre la integridad biótica que ocurre en ellos. Por lo que en sistemas canalizados fuertemente alterados pueden correr aguas de excelente calidad (Pérez-Munguía et al. 2007). Este sistema estimativo (ICA) se desarrolló desde principios de los años setenta, relaciona la existencia de varios contaminantes y el grado de impacto en los diferentes usos de la misma. Se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Este sistema clasifica a los cuerpos de agua desde altamente contaminada cuyo valor del ICA es cercano o igual a 0% y de 100% para agua en excelente calidad. Sin embargo, para la diversificación en las formas y tipos de contaminación, este índice, no muestra la realidad, por lo que actualmente en tanto se desarrolla un nuevo índice para evaluar la calidad del agua el criterio de evaluación considera los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST); que permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa (SEMARNAT 2009). Por otro lado el ICA no reconoce las fuentes de degradación ambiental general de los ambientes acuáticos, limitando técnica y científicamente la propuesta de gestión del recurso hídrico.

Sin embargo, en el seguimiento de la investigación y tomando como base los parámetros significativos del ICA y los que complementen por su importancia el grado de impacto del hombre sobre los recursos hídricos, se hace necesario localizar un conjunto de sitios en los ríos con diferentes grados de perturbación (conservados y degradados). En la actualidad es muy difícil pensar que existan sitios prístinos, por lo que los sitios mejor conservados son los mínimamente afectados por la poca o ninguna intervención del hombre (poco

perturbados) y que se caracterizan como sitios de referencia, por tener una extensa vegetación ribereña natural; una diversidad apropiada de sustratos; un cauce naturalmente estructurado al igual que sus respectivas márgenes; con variaciones naturales del volumen de agua, así como riberas estables (Hughes, 1995).

1.2 OBJETIVO

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la variación de la calidad ambiental de la red hidráulica superficial del área montañosa del sureste del municipio de Morelia, Michoacán, para desarrollar un modelo de gestión del agua.

1.2.2. Objetivos específicos

Caracterizar con bases geomorfológicas y de valoración de la calidad ambiental, sitios de muestreo con distintas condiciones de impacto.

Calcular el índice de calidad del agua en las distintas condiciones de impacto encontradas en la zona de estudio.

Determinar las posibles relaciones entre la calidad del hábitat con la calidad del agua.

Elaborar un modelo de gestión del agua para la zona de estudio con base en criterios de calidad del ambiente.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los cauces están determinados por el paisaje y los elementos que regulan la dinámica hidráulica dentro del mismo, se encuentran estables a partir de la disipación de la energía ordenada por el thalweg (del alemán camino del valle), fenómeno que se encuentra íntimamente ligado a la distribución de los substratos, lo que a su vez en combinación con la estructura de las riberas, permite que los ríos sean sistemas que naturalmente se autodepuran y con ello las variables que califican el índice de calidad del agua se mantienen estables.

En el estudio de estos ecosistemas se están realizando avances tanto técnicos como científicos con la participación interdisciplinaria de biólogos, químicos, bioquímicos, ingenieros ambientalistas, ingenieros civiles e ingenieros químicos. Que de forma conjunta han contribuido al interés por estudiar la conservación de los sistemas lóticos, a través de la identificación de variables que provean de información confiable para el diseño de métodos multimétricos que permitan informar de manera rápida y científicamente válida sobre el estado de conservación de estos valiosos recursos acuáticos.

Específicamente la evaluación de la calidad ambiental general permitirá reconocer los efectos que ocasionan los procesos de degradación antrópica en la red hidráulica superficial de la zona montañosa de la parte sur-sureste de Morelia, Michoacán, ya que esta red hidráulica es la región que abastece en un 30% del agua superficial a la ciudad de Morelia; además de ser un área que tiene un alto valor escénico, ésta información deberá ser considerada para la propuesta de un modelo de gestión de la calidad del agua, como un propósito para los ingenieros ambientalistas.

1.4. ALCANCE

La trascendencia de este trabajo reside directamente sobre la propuesta técnica y científica del modelo de gestión del recurso hídrico, empleando metodologías que reconozcan tanto la calidad del agua, así como la calidad ambiental general de la red hidráulica superficial de la parte sur-sureste del municipio de Morelia, Michoacán. Bajo este contexto, a continuación se enlistan los alcances particulares de las actividades comprendidas.

Debido a que actualmente no es posible considerar la existencia de sitios prístinos, este modelo contendrá elementos de valoración que permitan localizar en el área de estudio, los sitios mejor conservados, con impactos mínimos por la poca intervención del hombre, considerándolos, conforme a Hughes (1995) como sitios de referencia.

Ya que los procesos de degradación antrópica en los cuerpos de agua, se manifiestan con distintos grados y tipos de impacto; este estudio a través de análisis de agrupamiento y de ordenación, permitirá agrupar a los sitios en gradientes multimétricos de degradación.

Obtener un compendio de parámetros medidos y determinados para la calidad del agua, aplicando la NOM-127-SSA1-1994, SEMARNAT y CNA (2005) y las NMX correspondientes; en los diez sitios seleccionados del área de estudio.

Caracterizar geomorfológicamente los sitios y establecer su valoración ambiental, a fin de complementar el compendio fisicoquímico con información que haga más comprensible los efectos de la contaminación.

Elaborar el modelo de gestión que permita tomar decisiones en materia de programas y proyectos encaminados a la protección, conservación y recuperación del recurso hídrico y/o aprovechamiento para un uso específico.

1.3. HIPÓTESIS

El estudio sistematizado en un ciclo anual de la red hidráulica superficial de la parte sureste de Morelia, Michoacán; permitirá identificar a los fenómenos causa-efecto como consecuencia de los procesos de degradación antrópica para encontrar a las variables que clasificarán a los sitios de estudio por el tipo de impacto con base en los indicadores de la integridad ecológica y así reconocer a los sitios de referencia para integrarlos en el modelo de gestión del recurso hídrico.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Gestión del Agua

2.1.1 El agua como recurso

De los recursos naturales, el agua es el más importante porque permite mantener la calidad de vida de una población y de forma general las actividades económicas del país. México se encuentra dentro de las cinco naciones megadiversas, por su número de especies de reptiles, mamíferos, anfibios y plantas con gran porcentaje de sus especies endémicas (CONAGUA, 2008), se estima que reúne hasta el 17% de la diversidad total del mundo. Por esta razón existe el compromiso ético y moral con las generaciones futuras de conservar los ecosistemas y recursos naturales en buen funcionamiento, para poder lograr el equilibrio hídrico que requieren los cuerpos de agua superficiales y subterráneos del país que permita su uso sustentable a través de esquemas de servicios ambientales.

Es importante saber que el agua potencialmente disponible en el país es de $4.76 \times 10^{10} \text{ m}^3$ (la que se precipita menos la que se evapotranspira). Su disponibilidad natural media por habitante ha disminuido por aumento en la población. En 1955 era de $11,500 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$, en 2004 se calculó en $4,547 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ y para 2025 se espera disminuya a $3,822 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$, lo que significa una disponibilidad baja. De esta solo se utiliza el 15% del volumen equivalente a $7.26 \times 10^{10} \text{ m}^3$ (CONAGUA, 2005).

En el estado de Michoacán, la condición generalizada de las cuencas es de insuficiencia, lo que indica que existe un grave problema de sobreexplotación. Oficialmente, solo la cuenca de Pátzcuaro cuenta con un volumen disponible de $8,100 \text{ m}^3/\text{año}$; sin embargo, de acuerdo al balance del "Programa para la Recuperación Ambiental del Lago de Pátzcuaro", se estimó un volumen disponible de $3'770,000 \text{ m}^3$. La cuenca del Bajo Río Balsas, 18-L dispone de $10'859,000 \text{ m}^3/\text{año}$ que se localiza aguas debajo de la presa "La Villita", casi en la descarga del Río Balsas al mar, lo que dificulta el aprovechamiento de este volumen. En el territorio de Michoacán, las cuencas de esta región generan $5.632 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{año}$, de donde se concesiona sólo el

48% del volumen y el 52% se va a la reserva de agua para el sector eléctrico (PHV2030EMO, 2009).

2.1.2 Modelo de uso y manejo

En México la mayoría del agua dulce proviene de las lluvias y en su dinámica se infiltra al subsuelo. Conforme a la Secretaria del Medio ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2009) la fuente principal de abasto en el país es el agua subterránea, siendo la zona con la mayor abundancia en agua, el sureste de México, y que no corresponde al área donde el agua es mayormente requerida, puesto que las zonas más demandantes se encuentran en el norte del país, lo que ha ocasionado problemas en su manejo (CONAGUA, 2002).

Geográficamente dos terceras partes del territorio nacional son áridas o semiáridas, lo que obliga al uso eficiente del agua en actividades como el riego, la industria y el hogar, lo que cobra especial relevancia considerando que la población del país se ha cuadruplicado en los últimos 55 años (de 25 millones en 1950 a 103 millones en 2005), de acuerdo al volumen de 77,321 millones de metros cúbicos concesionados a diciembre de 2006 (no incluye la generación de energía hidroeléctrica), el 77% corresponde al uso agrícola (pecuario, acuacultura y múltiples), 14% al público y el 9% a la industria que obtiene agua de ríos y acuíferos (CONAGUA, 2008).

En el estado de Michoacán, el uso del agua es en orden de importancia con 87.95% agrícola, 5.4% público urbano y 3.7% industrial. El resto que corresponde a un 3% se reparte entre los usos pecuario y múltiple. El 77.64% del volumen total concesionado es de fuentes superficiales y el 22.36% subterráneo. Las cuencas Tepalcatepec, la 12-P Ciénega de Chápala y la 12-R Lago de Cuitzeo, son principalmente utilizadas para abasto por aguas subterráneas, en tanto que por fuentes superficiales, se utilizan las cuencas 18-K río Tepalcatepec, la 18-I río Cupatitzio y 18-G río Cutzamala, ordenadas de mayor a menor volumen (CONAGUA, 2009).

El manejo de los recursos hídricos en México es una larga historia, se tiene evidencia que los antiguos pobladores del Valle del Anáhuac, hicieron para fines agrícolas y de abastecimiento a sus poblaciones a través de antiguos acueductos. Hacia el siglo XVII, se construyó la primera gran obra hidráulica de América, con el embalsamiento del río Lerma, generando la Presa de Yuriria, además de la construcción de varios acueductos para abastecer a las ciudades coloniales. Sin embargo, este manejo se intensificó a partir de los años 30, con grandes inversiones en

instalaciones para almacenamiento de agua y para el uso de aguas subterráneas con el propósito de expandir el riego y el abastecimiento de poblaciones en rápido crecimiento.

Con la promulgación del Código Agrario de 1934, el gobierno federal precisa la legislación sujetando a la comunidad rural y a los ejidos a un control federal de la explotación del agua (Sanderson, 1981); en los 70's, el gobierno firmó un acuerdo tripartito con el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, así en 1975 se disponía del Plan Hidrológico Nacional (PHN) con una nueva ley y una autoridad nacional del agua, lo que permitió a partir de 1983 el desarrollo institucional y logros en infraestructura como la transferencia de responsabilidades del gobierno federal sobre el abastecimiento de agua y saneamiento a las municipalidades y los estados; la creación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 1986, la instauración de la Comisión Nacional del Agua (CNA) en 1988 y la creación del primer Consejo de Cuencas en Lerma-Chápala, constituido por usuarios del agua de varios sectores en 1989.

En los 90's del siglo XX, con el uso de aguas subterráneas y extracción acuífera para la demanda agrícola, urbana e industrial el gobierno federal descentralizó también la responsabilidad sobre grandes infraestructuras de riego hacia agencias autónomas conocidas como distritos de riego.

Para 1992, en el país se promulgó la Ley de Aguas Nacionales (LAN), la cual contenía disposiciones específicas para la función de CONAGUA, la estructura y funcionamiento de los consejos de cuenca, la participación pública en el manejo del agua, etc. Con el sistema Cutzamala se finalizó en 1993, uno de los proyectos de extracción más grandes del mundo ($19 \text{ m}^3/\text{s}$ al área metropolitana de la Ciudad de México). En 1997 se creó el primer comité técnico de aguas subterráneas para administrar una capa acuífera sobreexplotada en el estado de Guanajuato.

En 2004 se modificó la Ley de Aguas Nacionales y las trece regiones descentralizadas de CNA pasaron a ser organizaciones de cuencas para apoyar a consejos de cuencas más amplios que consideraban a la sociedad civil, al sector privado y grupos de ciudadanos (Scott, 2007). En http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_recursos_h%C3%ADricos_en_M%C3%A9xico, consultada el 19 de junio de 2009.

En México se ha propuesto un sistema para el manejo de los recursos hídricos que incluye tanto a las instituciones centrales (federales) como a las descentralizadas (cuencas y locales).

2.1.3. Políticas de Manejo

2.1.3.1 Políticas de Manejo Nacional

La gestión ambiental se centra en el manejo y preservación del recurso hídrico, siendo esta el eje que articula los recursos naturales, las actividades humanas y el medio ambiente.

A nivel nacional, se tienen normas jurídicas relevantes para la regulación del recurso hídrico como: la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente (LGEEPA), así como textos legales en materia de agua, incluyendo tratados internacionales y bilaterales entre gobierno, sector público y privado.

El tema del agua en México es debatido en la actualidad por los diversos factores que afectan este recurso como la contaminación por sustancias provenientes de la agricultura, vertidos domésticos e industriales, entre otros. Por lo tanto es fundamental mencionar la normatividad vigente que regula a éste recurso.

En la Constitución Política de los estados Unidos Mexicano se encuentran varios artículos que legislan el recurso hídrico; el artículo 27 considera como propiedad de la nación las aguas de mares territoriales, aguas marinas interiores, lagunas, lagos, ríos y sus afluentes, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, las que sirvan de límite al territorio nacional, entidades federativas, o cambie de una entidad a otra o que cruce la línea divisoria de la República. En este artículo también se establece que el Estado es el propietario original de las aguas nacionales. Referente a la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, menciona que sólo podrá realizarse por particulares mediante concesiones que otorgue el ejecutivo federal. Así también considera, el derecho del estado para imponer las modalidades a la propiedad privada que dicte el interés público y el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. El artículo 4o, establece el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar. En los artículos, 73, 115 y 122, establecen las facultades legislativas del Congreso de la Unión en

materia de Aguas, las jurisdicciones de los Municipios en materia de aguas y las autoridades de la Asamblea Legislativa del distrito federal en materia de agua, respectivamente (DOF 29-07-2010).

Ley de Aguas Nacionales (LAN) es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Mexicana en materia de aguas nacionales. Tiene como objetivo regular el uso, aprovechamiento o explotación de dichas aguas, así como su distribución, uso y preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. En su artículo 9, atribuye a la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) autoridad administrativa en materia de aguas nacionales. Está encargada de la formulación de la política hídrica nacional y su seguimiento, de vigilar el cumplimiento y aplicación de la Ley en materia, de expedir títulos de concesión, asignación o permisos de descarga y llevar el Registro Público de Derechos de Agua, así como apoyar y acreditar la participación y organización de los usuarios para mejorar la gestión del agua.

La LAN establece al agua como un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, responsabiliza al Estado y Sociedad de su preservación en cantidad y calidad; sin dejar de reconocer que es un asunto de seguridad nacional. Menciona que la gestión de los recursos hídricos se debe hacer de forma integrada y por cuenca hidrológica y que los servicios ambientales que proporciona el agua deben cuantificarse y pagarse. Reconoce además de los usos habituales del agua, el uso ambiental, admitiendo que la naturaleza es un usuario más del agua. Esta ley insta la creación de los Organismos de Cuenca y los Consejos de Cuenca, los primeros son organismos de índole gubernamental consideradas como unidades técnicas, administrativas y jurídicas especializadas, con carácter autónomo, adscritos a la CNA, a través de los cuales se lleva a cabo la gestión integrada de los recursos hídricos. Estos organismos sirven de apoyo a los Consejos de Cuenca (DOF 10-04-2008).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente (LGEEPA), tiene como finalidad ordenar la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos. Considera los criterios siguientes:

- 1) La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país.
- 2) Destaca la responsabilidad compartida entre el Estado y la Sociedad para prevenir la contaminación de las aguas superficiales y las del subsuelo.
- 3) Señala que la utilización de las aguas en las diferentes actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad de tratar las descargas que se generen, de tal forma que puedan ser utilizadas en otras actividades y se mantenga el equilibrio de los ecosistemas. Las aguas urbanas también deben recibir tratamiento previo a su descarga a los diferentes cuerpos de agua receptores.

Estos criterios deben ser considerados en las normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para el tratamiento del agua para el uso y consumo humano, también en la infiltración y descarga de aguas residuales en cuerpos de agua receptores considerados como bienes nacionales. Así como en el establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva en términos de la LAN. En las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deban obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios, y en general los usuarios de las aguas propiedad de la nación, para infiltrar aguas residuales en terrenos, o para descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones. En la organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, superficiales y subterráneas. También en la clasificación de cuerpos receptores de descarga de aguas residuales, de acuerdo a su capacidad de asimilación o dilución y la carga contaminante que éstos puedan recibir (DOF 06-04-2010).

El Plan Intergubernamental del Cambio Climático (PICC) celebrado en Antalya, Turquía 2009. Integra, para uso de los responsables de políticas y de otros profesionales, datos científicos, técnicos y socioeconómicos actualizados y tiene como finalidad apoyar a los gobiernos y a otros decisores de los sectores público y privado a formular e implementar respuestas adecuadas frente a la amenaza de un cambio climático inducido por los seres humanos.

2.1.3.1.1 *Impactos asociados con el cambio anual medio de la temperatura.*

De acuerdo al PICC 2008, habrá mayor disponibilidad de agua en los trópicos húmedos, menor en latitudes altas y aumento de sequías en latitudes medias y bajas semiáridas; también habrá centenares de millones de personas expuestas a un mayor estrés hídrico. Los cambios en los patrones de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente a la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico sobre todo en América Latina. Los efectos biofísicos proyectados como reducción del espesor y extensión de los glaciares y mantos de hielo y de los hielos marinos, y alteraciones de los ecosistemas naturales tendrán efectos perjudiciales en numerosos organismos, en particular aves migratorias, mamíferos y predadores superiores. El aumento en el nivel del mar intensificaría las inundaciones, las mareas de tempestad, la erosión y otros fenómenos costeros peligrosos, reduciría los recursos hídricos en gran número de islas pequeñas, a tal grado de ser insuficientes para cubrir la demanda en los períodos de escasa precipitación.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático presenta como estrategia de adaptación, la potenciación de la recogida de agua de lluvia, técnicas de almacenamiento y conservación de agua, reutilización, desalación, eficiencia de uso y de irrigación. Dentro del marco legal se proponen políticas nacionales sobre el agua y gestión integrada de los recursos hídricos, gestión de fenómenos peligrosos relacionados con el agua. Las opciones de adaptación y mitigación, tienen el propósito de integrar las políticas climáticas en estrategias de desarrollo, reglamentaciones y normas, impuestos y gravámenes, permisos comerciales, incentivos financieros, acuerdos voluntarios, instrumentos de información y actividades de investigación, desarrollo y demostración de carácter más general.

En México, con base en la estimación del PICC en el aumento de las temperaturas entre 1 y 6 grados Celsius, el Instituto Mexicano de Tecnología del agua espera que para el 2050 disminuya del 7 al 12% el nivel de precipitaciones en las cuencas del sur, del 3% en la cuenca del Golfo de México y del 11% en la cuenca central. A consecuencia de la disminución en las precipitaciones, también disminuirá el flujo hidrográfico, lo cual contribuye a una mayor evapotranspiración. Así también se espera un aumento en la cantidad de huracanes de categoría 5 (Martínez-Pollioptro, 2007).

2.1.3.2 Políticas de Manejo Estatal

En el Estado de Michoacán, las medidas normativas para preservar los recursos hídricos y el entorno ecológico, se observan en la Constitución Política del Estado de Michoacán de Ocampo, Ley del Agua y Gestión de Cuencas, Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental del Estado de Michoacán de Ocampo y la Ley de Desarrollo Forestal del Estado.

La Constitución Política del Estado de Michoacán de Ocampo, cuenta con artículos sobre el recurso hídrico; en su artículo 123, fracciones V, X, XV, XVI respectivamente, señala las facultades y obligaciones de los ayuntamientos proporcionar en sus jurisdicciones los servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y disposición de sus aguas residuales. Otorgar licencias y permisos para construcción y participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia. Procurar que los pueblos de su jurisdicción tengan tierras y aguas necesarias para su subsistencia, cuidando de la conservación de sus arbolados, ejidos, tierras comunales y patrimonios de familia. Participar, en su ámbito de competencia, en la protección, preservación y restauración de los recursos naturales y del equilibrio ecológico. El artículo 145 menciona que el estado reconoce y garantiza el derecho de propiedad en los términos que establece la Constitución Federal; con entera sujeción a ésta el Congreso expedirá leyes para regular el aprovechamiento de las aguas que no sean de propiedad nacional y se localicen en dos o más predios, para vigilar, dentro del territorio del Estado, el respeto a las disposiciones constitucionales sobre capacidad para adquirir el dominio de las tierras, aguas, bosques y sus accesiones y para fijar la extensión máxima de la propiedad rural y llevar a cabo el fraccionamiento de los excedentes, procurando el fomento y desarrollo de la auténtica pequeña propiedad (DOE 19-Febrero-2007).

La Ley del Agua y Gestión de Cuencas, establece como objetivo, regular la coordinación entre las autoridades municipales y estatales, y entre estas y la federación, para la administración, explotación, uso y aprovechamiento integral y sustentable de las aguas nacionales y sus bienes inherentes, así como las particulares de manera directa o mediante convenios y acuerdos. Señala la participación de organizaciones, instituciones académicas, autoridades federales, estatales y

municipales, en la creación de comités de cuenca para fines de planeación de los diversos usos del agua y su saneamiento en las cuencas. Así también intervienen en la participación de los sectores social y privado, en la elaboración de estudios y proyectos y construcción de obras hidráulicas, incluyendo su operación, administración y explotación. Esta ley se apoya en los artículos siguientes: El artículo 4o. Refiere los principios que sustentan la política hídrica en el Estado, dentro de los cuales menciona la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica, así como la de los recursos hídricos de forma descentralizada e integrada privilegiando la acción directa y las decisiones por parte de los actores locales y por cuenca hidrológica. El estado en coordinación con la federación se asegurará que las concesiones y asignaciones de agua estén fundamentadas en la disponibilidad efectiva del recurso en las unidades hidrológicas que corresponda, e instrumentará mecanismos para mantener o restablecer el equilibrio hidrológico en las cuencas en que participe la entidad; también fomentará la solidaridad en materia de agua entre entidades federativas, usuarios y organizaciones de la sociedad, en las distintas porciones de las cuencas, subcuencas y microcuencas, con el concurso de Comités, Consejos y Organismos de Cuenca. Hace mención que la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrológica, se sustenta en el uso múltiple y sustentable de las aguas y la interrelación que existe entre los recursos hídricos con el aire, el suelo, flora y fauna, otros recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas que son vitales para el agua. El uso doméstico y público urbano, agrícola y el ambiental, en este orden, tendrán prelación en relación con cualesquier otro uso. El artículo 108 establece que la Comisión, la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente y los organismos operadores municipales o intermunicipales asumirán realizar mediciones, estudios, investigaciones, planes y proyectos considerados en el Programa Hidráulico Estatal para la conservación y mejoramiento de la calidad del agua. Formular planes y programas integrales de protección de los recursos hidráulicos del estado, tomando en cuenta la relación entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua. Vigilar el cumplimiento de la normatividad para descargas de aguas residuales, que el agua para consumo humano cumpla con las normas oficiales mexicanas vigentes, promover, coordinar, supervisar y establecer medidas para evitar la contaminación de las aguas superficiales o del subsuelo por desechos sólidos, tóxicos y lodos de tratamientos; así también ejercer las atribuciones en materia de prevención y control de la contaminación del agua, conforme a la LGEEPA del estado (DOE 23 de Agosto de 2007).

El Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental del Estado de Michoacán de Ocampo, tiene como finalidad reglamentar las disposiciones de impacto ambiental, declaración de áreas naturales protegidas, aprovechamiento, prevención y control de la contaminación atmosférica y de aguas. En el artículo 4o, menciona que la Secretaria deberá promover ante las autoridades competentes la realización de estudios de impacto y riesgo ambiental, previos al otorgamiento de permisos, autorizaciones o concesiones para realizar obras y actividades, independientes de su naturaleza, cuando existan elementos que permitan prever deterioro de ecosistemas o del medio ambiente. El artículo 8o, establece que el Plan de Manejo Ambiental deberá contemplar las medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales. El artículo 13, considera que pueden producirse daños graves a los ecosistemas, cuando en los lugares en los que se pretenda realizar obras o actividad existan cuerpos de agua, especies de flora y fauna silvestre o especies endémicas, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial, proyectos y actividades que puedan causar desequilibrios al ambiente. El artículo 178, establece vigilar el aprovechamiento racional, la prevención de contaminación de las corrientes de agua en el Estado, las de jurisdicción federal, concesionadas para la prestación de servicios públicos; de acuerdo al artículo 179, se deberá prevenir y controlar la contaminación del agua concesionada para la prestación de servicios públicos, de las que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población (DOF 17-mayo-2004).

2.1.3.3 Políticas de Manejo Regional

A nivel municipal se tiene la Ley Orgánica Municipal, la cual señala las atribuciones y responsabilidades de los gobiernos municipales, entre las que destacan: contribuir al cumplimiento de los planes y programas del municipio, impulsar la colaboración y participación de sus habitantes, proponer al ayuntamiento medidas para la prestación de servicios públicos y alternativas de solución para los problemas de sus localidades o regiones (PHV2030EMO, 2009).

2.1.3.4 Consejos de Cuencas

El artículo 3, fracción XV, de la LAN a nivel Nacional, los define como órganos colegiados de integración mixta, instancia de coordinación y concertación, apoyo, consulta y asesoría, entre la CNA, incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda, así como a las dependencias y

entidades de las instancias federal, estatal o municipal y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca hidrológica o región hidrológica. De acuerdo al artículo 13 de la misma ley, dichas acciones están orientadas a formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca (DOF 10-04-2008).

El gobierno federal y los cinco estados que comparten la Cuenca Lerma-Chápalá (Querétaro, México, Guanajuato, Jalisco y Michoacán), los usuarios del agua y el consejo de Cuenca Lerma-Chápalá, elaboraron un convenio de coordinación y concertación para la disponibilidad y distribución del agua superficial de la Cuenca Lerma-Chápalá, firmado en diciembre de 2004. Dicho documento establece reglas para mejorar la distribución del agua superficial disponible entre los usuarios, asegurando al mismo tiempo la conservación del Lago de Chapala y otros cuerpos de agua. También contiene acciones orientadas a resolver los problemas y conflictos por la competencia del agua superficial entre usuarios, así como atender temas que contribuyan a la recuperación del equilibrio hidroecológico de la cuenca (DOE 23 de Agosto de 2007).

2.1.4. Objetivos de la gestión

La gestión del recurso hídrico a nivel Nacional tiene los siguientes objetivos:

1. Proteger, mejorar, o restablecer las comunidades acuáticas y de los ecosistemas.
2. Mantener el nivel de calidad del recurso hídrico con la finalidad de entregarlo en igual, mínima o mejor condición del que fue recibido.
3. Llevar a cabo la explotación del recurso hídrico de manera racional, equitativa y sostenible. Asumiendo con responsabilidad las necesidades e intereses de quienes carecen de este recurso, y de quienes han contribuido en menor intensidad a problemas asociados a la protección ambiental y acatando la reglamentación que garantice la utilización óptima del recurso natural.

La gestión del agua en Michoacán y la región, asume los objetivos a nivel Nacional, la condición es procurar el manejo adecuado de sus cuencas hidrográficas y acuíferos, así como fortalecer la participación social en el cuidado y gestión del agua, aprovechando las vías que actualmente existen para este propósito con los Consejos de Cuenca del Río Balsas y Lerma-Chápalá, así

como de los órganos auxiliares conformados en el estado, como son las Comisiones de Cuenca del Lago de Pátzcuaro, del Lago de Cuitzeo, del Río Cupatitzio y del Río Duero, incluyendo al Comité de Playas Limpias del Municipio de Lázaro Cárdenas y organismos similares que se creen a futuro (PHV2030EMO, 2009).

2.1.5 Evaluación y gestión del agua en México

En busca de solucionar los problemas ambientales que afectan a los ecosistemas naturales, así como conocer y tener información sobre la estructura y su funcionamiento, se realizan evaluaciones tanto de los factores de stress como de las respuestas de éstos a las acciones que se podrían tomar para tratar de revertir su deterioro. La complejidad de los ecosistemas naturales es tal que, la respuesta de un sistema lótico a la incorporación de contaminantes depende, además de sus características hidrodinámicas y fisicoquímicas, de las comunidades bióticas que en él habitan. Por lo que siguiendo el Marco Institucional del manejo de los recursos hídricos, la responsabilidad la tiene la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a nivel federal las Comisiones Estatales del Agua (CEA), a nivel estatal y autoridades y consejos de cuenca. En México, es CONAGUA la dependencia federal de mayor nivel en el manejo de los recursos hídricos con las atribuciones que el Artículo 9 de la LAN le confiere, específicamente en apoyar y acreditar la participación y organización de los usuarios para mejorar la gestión del agua.

Para llevar a cabo la evaluación de la calidad o grado de contaminación del agua existen diversos índices. En el país se maneja el Índice de Calidad del Agua (ICA), como única forma normada para valorar la condición ambiental de los ecosistemas acuáticos, agrupa de manera ponderada algunos parámetros del deterioro de la calidad del líquido (León, 1991 en SEMARNAT 2000), con valores máximos considerados en la tabla del apéndice 1. A partir de los años 70's y hasta hace poco, CONAGUA a través de su Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA), calculaba el índice con 18 parámetros fisicoquímicos, considerado índice parcial, ya que no incluía a los metales pesados y compuestos orgánicos (no considerados originalmente en el ICA) provenientes de descargas industriales y domésticas, en tanto se desarrolla un nuevo índice que sustituya al ICA, con el objeto de mejorar el criterio de evaluación de la calidad del agua, se consideran solo 3 parámetros DBO₅, DQO y SST, como indicadores de la calidad y la influencia antropogénica. Sin embargo a nivel regional para calcular el ICA, que es uno de los objetivos del trabajo de tesis se consideraron solo 13 parámetros de los veinticuatro evaluados,

con base en los 18 que evalúa CONAGUA en el municipio, a partir de los cuales se clasificó a los cuerpos de agua por niveles de contaminación. Con valores que van de 0 a 100%, donde los valores cercanos al 100 indican mejor calidad (CONAGUA, 2008).

2.1.6 Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas

De acuerdo a la Ley Federal de Metrología y Normalización (artículo 47 fracción I) existen dos tipos de normas: Norma Oficial Mexicana (NOM) y Norma Mexicana (NMX). Estas contienen información, requisitos, especificaciones y metodología para su aplicación.

Norma Oficial Mexicana (NOM)

Es de uso obligatorio y su aplicación debe hacerse en la vigencia de la misma. En materia de descargas de aguas residuales se tienen las siguientes normas: NOM-001- SEMARNAT-1996, la que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales; NOM-002-SEMARNAT-1996, que indica los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y la NOM-003-SEMARNAT-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. En materia de salud ambiente para uso y consumo humano se aplica la NOM-127-SSA1-1994, la que indica los límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.

Norma Mexicana (NMX)

Es de uso no obligatorio, a menos que sea referida en una NOM y su aplicación se hace dentro de la vigencia de ésta. Es la CONAGUA a través del Comité de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales, quién tiene a su cargo las normas en materia de Análisis de Agua, para aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas y las Normas Mexicanas de productos químicos utilizados en la potabilización del agua para uso y consumo humano, con la finalidad de fomentar el uso sustentable del agua y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Las Normas Mexicanas de Análisis de Agua establecen los métodos de prueba que permitan determinar los parámetros que definen la calidad de los diferentes tipos de agua. En particular

para el trabajo de tesis se utilizaron los referente a los veinticuatro parámetros evaluados: Temperatura del aire, temperatura de la muestra, potencial de hidrógeno, conductividad, turbidez, sólidos disueltos totales, alcalinidad, acidez, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales, sulfatos, nitritos, fosfatos, dureza total, dureza de calcio, de magnesio y cloruros; además del flujo.

2.2 Ecosistemas de agua dulce

2.2.1 Importancia y conocimiento de los ecosistemas lóticos

Los ríos son modelos de erosión, transporte y depósito de sedimentos, donde las fuerzas que construyen a los cauces que conducen el agua en las redes superficiales de drenaje, son el resultado de los elementos del paisaje. Debido a esto, los procesos hidráulicos que ocurren dentro de los cauces se expresan en el poder de la corriente, este fenómeno es el resultado de tres variables principales, el peso específico del agua, el caudal y la pendiente (FISRWG 1998). En este sentido, la configuración general del paisaje, forma valles dentro de los cuales se conforman los cauces, esto hace que dentro de un mismo tipo de valle se encuentren ríos y arroyos con características geomorfológicas similares, en este principio se basa el concepto del estado más probable, propuesto por Rosgen 1996.

En la determinación del tipo de corriente, la forma del valle es un excelente indicador del grado de confinamiento del cauce en el valle y de su potencial de desarrollo o progresión lateral, así como los controles estructurales a los que puede estar sometido. Informa sobre la llanura o área de inundación, extensión del corredor ribereño, presencia de terrazas, aporte directo de sedimentos, desde las vertientes, entre otros. Los elementos clave que dan la forma del valle son la pendiente de las laderas y la anchura del fondo del valle. Por lo tanto se tienen cinco formas de valle (figura 2.1), abiertos como “A” (que corresponden al VIII de Rosgen, 1996) que es tipo extenso, “E” (IV de Rosgen) que es tipo de fondo confinado o semiconfinado; confinados como “V” (I y II de Rosgen) que es de tipo de fondo cóncavo, “U” (III y V de Rosgen) de tipo fondo plano; cerrado en cañón como “C” (IV de Rosgen).

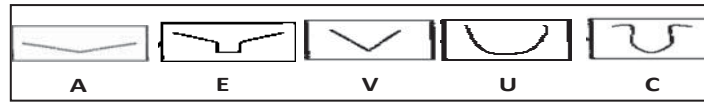


Figura 2.1. Formas de valle en un cauce

Los de tipo “V” son propios de áreas de montaña, en donde el cauce queda reducido por las laderas, que son de elevada pendiente; característicos de cabeceras, con abundantes procesos de vertiente (donde la vertiente en ocasiones es más inclinada) y corredor ribereño estrecho, reducido a una hilera paralela al cauce. Las pendientes del piso de valle a la parte alta tienen valores moderados, frecuentemente menores al 4%, en las cuales se encuentran suelos bien desarrollados por materiales parentales, que provienen de rocas piroclásticas. La vegetación riparia bien establecida. En los valles de tipo U, el cauce puede desviarse lateralmente, quedando limitado por las paredes inclinadas del valle, se agrupan en este tipo las artesas glaciares y los valles de fondo plano. Conforman complejas redes de drenaje, las pendientes del piso de valle a la parte alta tienen escalones moderados o mayores al 2%, en las cuales se encuentra vegetación riparia bien establecida.

Estos datos permiten encontrar las relaciones entre las variables físicas de los cauces que posibilitan la clasificación de estas geoformas en tipos definidos a partir de las características que resultan de los procesos geomorfológicos.

Los ríos se clasifican con base en su sinuosidad, en: ríos rectos cuando esta tiene valores entre 1 y 1.5, ríos poco sinuosos con valores de 1.06 a 1.26 y ríos sinuosos con valores entre 1.26 y 2, formas que pueden presentarse en tramos sucesivos de un mismo río; en función de la pendiente, el caudal líquido o sólido, de la granulometría y otros factores (Rocha Felices, 2009). La sinuosidad dependerá de la línea que une las máximas profundidades de cada sección transversal de un río y que se conoce como *thalweg* (camino del valle, en alemán), a partir de la cual se disipa la máxima energía que permite se lleven a cabo los procesos geomórficos (erosión, transporte y depositación). Esta línea no necesariamente se encuentra en el centro del cauce, sino que configura la forma de éste, dependiendo de la naturaleza del terreno y como consecuencia de la actividad del agua en sus cuatro dimensiones (longitudinal, lateral, vertical y temporal), conformando las secciones del sistema: estanques, rabiones y escalones, reconociendo dos tipos de sistemas longitudinales rabión-estanque y escalón-estanque (Pérez *et al*, 2007).

Los procesos geomórficos transversales, longitudinales y verticales, antes mencionados, ocurren simultáneamente determinando la construcción de los cauces, estos procesos están regulados por “el poder de la corriente”, fenómeno que resulta de la combinación de la magnitud de la descarga y de la pendiente, gradiente alto, para pendiente de moderada a alta (ríos de montaña con inclinaciones mayores a 4%) y gradiente bajo, para pendiente suave menores al 2%, precisando de esta forma el tipo de corriente vinculado con la topografía de la cuenca y el relieve del paisaje (A, B, C, D, E, F y G, con sus respectivas derivaciones, como “B3c” o “F4”). La investigación realizada para los sitios del área en estudio, se encontraron los tipos “B” y “F” que de acuerdo a la clave de Rosgen se describen como:

Tipo “B”

Sistemas moderadamente confinados, con pendientes que oscilan entre el 2 y 4 %, estructuralmente controlados por la red de drenaje. Este tipo de cauces se encuentran en valles de tipo II, III y VII. Los materiales del substrato están dominados por guijarros y rocas, con pequeñas cantidades de gravas y arenas. Estos se asocian con materiales residuales provenientes de rocas por depositación aluvial y/o coluvial. En el cuadro 2.1, se muestran los valores geomorfológicos para este tipo de corriente. Estos cauces se caracterizan por series de rabiones irregularmente separados por estanques de distintas dimensiones, el espacio entre estanque y estanque está ocupado por largos rabiones que miden entre 3 y 4 veces el ancho de la ribera máxima. Las riberas son estables y contribuyen con pequeñas cantidades de materiales para el cauce durante eventos de avenidas. En estas corrientes, los materiales que provienen de la vegetación riparia, constituyen un importante componente, puesto que son los que diversifican los hábitats disponibles para la biota.

Cuadro 2.1. Valores geomorfológicos esperados para cauces con tipo de corriente “B”.

Tipo de Corriente “B”	
Tasa ancho/profundidad	> 12
Tasa de confinamiento	1.4 – 2.2
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	Guijarros y rocas
Pendiente	0.02 – 0.04
Sinuosidad	> 12

Tipo “F”

En estos cauces, la altura de las laderas es muy alta con respecto a la altura de la ribera máxima, por lo que son profundas incisiones en el paisaje fuertemente confinadas, en donde el valor esperado de la tasa de confinamiento es menor a 1.4. Estos cauces se encuentran en valles de tipo IV, VI, VIII, X y XI. Frecuentemente tienen pendientes menores al 2%, conformados por sistemas de rabiones y estanques, la tasa de ancho/profundidad es de alta a muy alta (> 12). Los materiales del substrato están dominados por guijarros con pequeñas cantidades de grava y arena, estas últimas se encuentran dentro de los espacios que configuran los guijarros. En el cuadro 2.2 se muestran los valores geomorfológicos para este tipo de corriente. El abastecimiento de sedimentos es de moderado a alto dependiendo de la erodabilidad de los taludes. La estabilidad del cauce es provisto por la vegetación riparia, mientras que la estabilidad de las riberas está relacionada con la vegetación ribereña (frecuentemente árboles y arbustos) que se asocia a estructuras rocosas prevalentes. Debido a la estructura y erodabilidad de los taludes estos sistemas son muy frágiles y pueden fácilmente ser alterados en sus condiciones hidráulicas, si se construyen obras dentro de los límites de los taludes.

Cuadro 2.2. Valores geomorfológicos esperados para cauces con tipo de corriente “F”.

Tipo de Corriente “F”	
Tasa ancho/profundidad	> 12
Tasa de confinamiento	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	Guijarros
Pendiente	< 0.02
Sinuosidad	> 1.21

Los procesos de erosión, transporte y depositación están directamente asociados con la concavidad del perfil. En un río de montaña la pendiente del canal es alta; los principales procesos que se presentan son de erosión y transporte, el material del lecho es grueso granular y la sección transversal usualmente se encuentra encañonada. Contrariamente, los ríos de planicie presentan un perfil transversal con una pendiente más suave, el material del lecho está conformado principalmente por material fino granular, la depositación es el proceso dominante y la sección transversal presenta una llanura de inundación amplia (Posada, 1994).

Tras la erosión los fragmentos son transportados lejos de la roca madre dependiendo de la energía de disipación, el agua arrastra fragmentos de diferentes tamaños incluso grandes rocas cuando la corriente es suficientemente fuerte. Las partículas pequeñas como la arena están en suspensión en el agua. El poder de la corriente resultante de la pendiente pronunciada del terreno, permite al río transportar grandes bloques, cuando la pendiente se suaviza y el poder de la corriente disminuye, el agua ya no transporta fragmentos de grandes dimensiones pero si transporta partículas como arena, arcilla y limo, al igual que en el curso medio del río que además deposita sobre el lecho fragmentos de mayor tamaño. La rodadura de los fragmentos erosiona y suaviza sus bordes por lo que cuanto más largo sea el recorrido, más redondeados resultan los fragmentos mientras que los menos resistentes llegan a desintegrarse para formar los sedimentos resultantes de este transporte.

La variación de estos fenómenos afecta la dinámica del poder de la corriente que varía de acuerdo al pulso del flujo temporalmente de forma dimensional con el ciclo hidrológico natural, originando tres tipos de descargas de agua: la *formadora de canal* o *dominante* (*punto que alcanza la corriente cada cinco años*), la *efectiva* y la de *máxima ribera* (*bankfull stage, punto máximo que alcanza la corriente en 1.5 a 2 años*). Siendo la *formadora de canal* la que ocasiona procesos geomórficos longitudinales y transversales. Todas estas líneas conforman la estructura del cauce y por lo tanto están determinadas por el valle delimitado por las montañas o colinas circundantes, en estos procesos geomorfológicos, se incluyen también los de meteorización, erosión y movimientos tectónicos condicionados por la litología y la resistencia de los suelos a los procesos de erosión (Rosgen, 1996). Las principales características de los valles son su perfil transversal y su situación de incisión o ensanchamiento. La primera es una sección o corte que cruza en ángulo recto al valle de la corriente, las paredes del valle levantadas a los lados formando crestas en los filos de la montaña son llamadas parte-aguas y separan el valle central de los valles laterales. La segunda tiene que ver con la velocidad de reducción de las paredes del valle ya que la velocidad de la corriente corta no solo hacia abajo sino lado a lado o lateralmente en los bordes del cauce, si se destina a la erosión de sus bordes una mayor energía de la corriente formará sobre el fondo del valle una planicie de inundación que tenderá a ensancharse siempre, haciendo al valle cada vez más amplio.

Los valles junto con las riberas y su riqueza en biodiversidad, proporcionan al río características geomorfológicas, químicas y biológicas que difieren de forma gradual en importancia entre unos

y otros y a lo largo del mismo sistema; características que describen el funcionamiento del río como un continuo (Vannote *et al*, 1980), considerando tres tramos del río: tramo alto o cabecera, tramo intermedio y tramo bajo o desembocadura.

En el tramo alto o de cabecera de los ríos el agua es fría, transparente, rápida, con escasa profundidad y muy oxigenada, los fondos están formados por gravas y cantos grandes. Los cauces suelen ser sombreados.

En el tramo intermedio el río se ensancha, las aguas reducen su velocidad y se suceden los estanques y rabiones. Los fondos se van haciendo finos, sobre todo en los remansos.

En el tramo bajo o de desembocadura las aguas son turbias y la corriente escasa, así como la concentración de oxígeno del agua. La temperatura es más elevada que en los dos tramos anteriores y su contenido salino y de carga contaminante también mayor. El cauce puede ser ancho y profundo y el sustrato del fondo serán arenas y limos. La vegetación solo sombrea parte de la orilla.

Bajo este concepto los ríos como sistemas vivos que integran la calidad ambiental de los ecosistemas, permiten la conectividad a lo largo de él (desde su cabecera hasta su desembocadura) entre los diferentes hábitats y microambientes y entre la biota que vive en el río como una unidad en su función. Por lo tanto los parámetros físicoquímicos que permiten evaluar la calidad del agua y llevar a cabo esta conectividad, se espera varíen en gradientes secuenciales dependiendo del orden del cauce. En la cabecera donde el agua erosiona y transporta, se tienen altas concentraciones de oxígeno disuelto por el intercambio con la atmósfera debida a la frecuencia de rabiones, producto del poder de la corriente por la pronunciada pendiente, por lo tanto la presencia de materia orgánica por escurrimiento superficial y restos vegetales será baja, así como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo), la cantidad de sólidos disueltos que permite la transparencia del agua, la conductividad y la entrada de luz, limitando la tasa de crecimiento de productores primarios y microorganismos heterótrofos. En el curso medio del río donde el agua transporta y deposita, estos parámetros cambian, la temperatura, los sólidos disueltos, la turbidez, la conductividad, la disponibilidad de los nutrientes, la materia orgánica y la entrada de luz se espera aumenten un poco más, ya que la pendiente va decreciendo, así como la presencia de rabiones y el lecho es más amplio, se encuentran autótrofos como algas y otras

plantas acuáticas que pueden ser abundantes (presencia de fitoplancton). La diversidad de especies alcanza su máximo. En la desembocadura donde el agua solo sedimenta los parámetros como la temperatura, la solubilidad de sólidos, la conductividad la disponibilidad de nutrientes, la materia orgánica, la entrada de luz y en consecuencia la fotosíntesis, aumentaran todavía más, haciendo más turbia el agua, por la ausencia de rabinos, la pendiente llega a ser del 0%, y el cauce se hace mucho más amplio, se tiene la depositación de sustratos finos, existen los organismos heterótrofos con una reducida variedad de especies en los niveles tróficos. Existe poca vegetación y mucho fitoplancton.

Las propiedades fisicoquímicas descritas anteriormente y que refieren a un tramo del cauce de manera propia y natural se presentarán a través de un gradiente continuo de un tramo a otro tramo, es decir que dichas condiciones van cambiando poco a poco dependiendo del avance en el cauce de tramo a tramo y no de manera drástica; sin embargo hay parámetros como el pH (debida a la composición de los terrenos), los cloruros (indicador de contaminación residual) y la dureza (depende de la región geográfica), que no siguen este orden en sus variaciones, si no que cambian drásticamente modificando la calidad del agua como producto de las actividades antrópicas y específicamente ante descargas residuales, industriales o domésticas vertidas directamente al cauce, alterando sus condiciones ambientales y su estado más probable, de tal forma que a pesar de la entrada de contaminantes, si el río conserva sus procesos hidráulicos, la resiliencia se conserva, en consecuencia el río puede procesar los efectos de este impacto. Minimizando así los cambios en la identidad de las especies en la comunidad y el funcionamiento del cauce. De acuerdo a los tópicos de ecología 2003, un estrés excesivo o la simplificación de la complejidad natural llevan a estos ecosistemas intactos más allá de los límites de resiliencia o sustentabilidad, amenazando su habilidad de autodepuración para proveer bienes y servicios importantes tanto a corto como a largo plazo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

El estado de Michoacán de Ocampo se localiza en la Región Centro Occidente de la República Mexicana, entre los paralelos 17° 54'34'' y 20°23'37'' Norte y los meridianos 100°03'23'' y 103°44'09'' Oeste. Colinda al norte con los estados de Jalisco, Guanajuato y Querétaro; al este con Querétaro, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; y al oeste, con Colima y Jalisco. Está integrado por 113 municipios y cuenta con una superficie total de 58 643.63 km², que representa el 3% de la nacional (1 959.248 km²). Su litoral se extiende a lo largo de 210.5 km de longitud sobre el Océano Pacífico (PHI2030EMO, 2009).

La ciudad de Morelia se localiza en el valle de Guayangareo, en la zona de ladera del sur, su superficie es de 1199.02 km², que representa el 2.03% del territorio del estado. Está situada a los 19° 42' de latitud norte y a los 101° 11' de longitud oeste, a una altitud de 1920 msnm. Colinda al norte con Tarimbaro, Chucandiro y Huaniqueo, al este con Charo, al sudeste con Lagunillas, Tzintzuntzan, Quiroga y Coeneo (INEGI 1999).

El estudio está realizado en las partes altas de dos subcuencas: 1) Río Chiquito, dentro de la RH-12Gb región hidrológica Lerma-Santiago, cuenca de L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria, subcuenca L. de Cuitzeo y 2) Paredones dentro de la RH-18Gd región hidrológica Balsas, cuenca R. Cutzamala, subcuenca R. Purungeo (figura 3.1). Las dos áreas en estudio se encuentran dentro de un mismo paisaje, puesto que geológicamente pertenecen a las geoformas que delimitan un punto del parteaguas de las regiones hidrológicas.

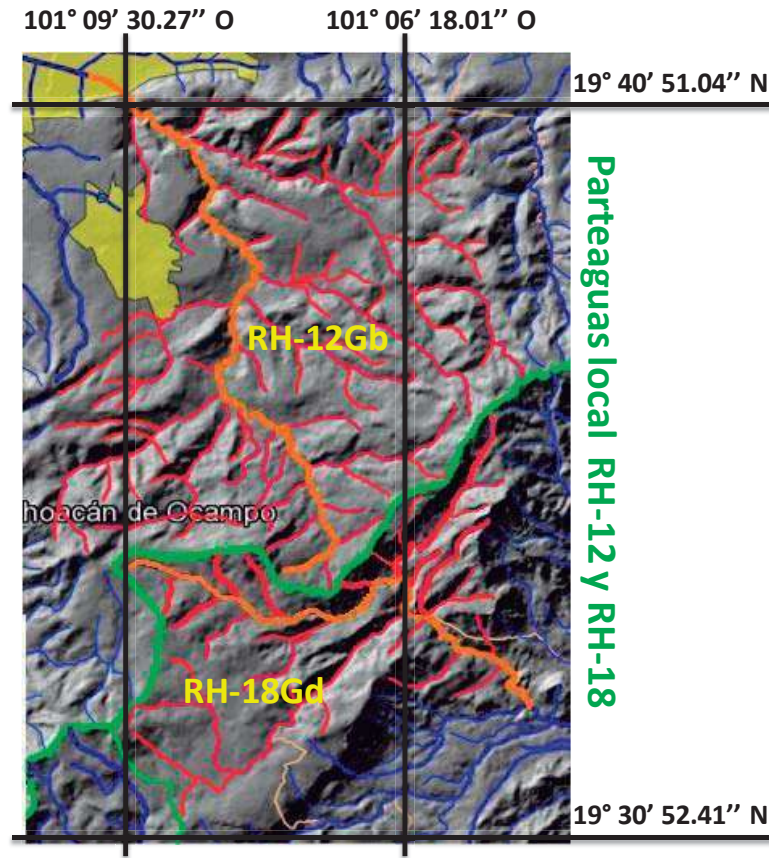


Figura 3.1. Regiones hidrológicas de los sitios del área en estudio

3.1 Selección y ubicación de los sitios

Para la selección de los sitios, se utilizaron los siguientes criterios: accesibilidad, diferencias geomorfológicas, evidentes impactos en distinto grado y tipo, asimismo que formen parte de la zona de captación de agua superficial para abastecimiento de la ciudad de Morelia. Se usó un geoposicionador portátil (GPS eXplorits 210), registrando su localización geográfica y altitud (figura 3.2), así como el orden al que pertenecen las corrientes. Para posteriormente localizarlos en imágenes de satélite (2011Cnes SPOT. © 2011 Digital Globe, 2011 INEGI. Google 2011). De esta manera fueron seleccionados 10 sitios, que se describen en el cuadro 3.1. Se muestra en la figura 3.3 los sitios monitoreados y la ubicación de las estructuras de control de avenidas (cortinas rompepicos) con las cuales

se reduce la velocidad de la “avenida” hidráulica, se retienen sólidos gruesos y adicionalmente permiten la infiltración al subsuelo, del volumen retenido.

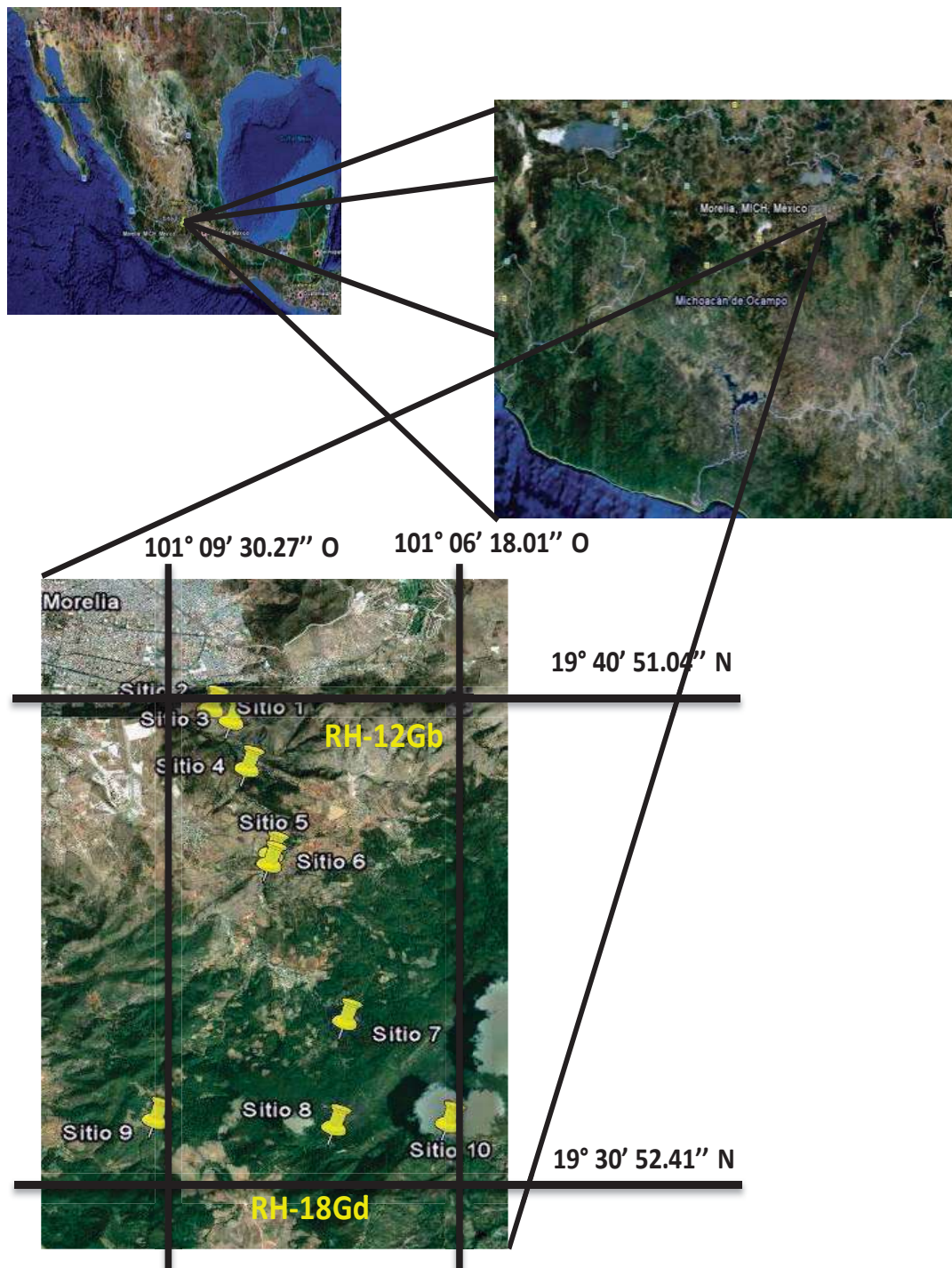
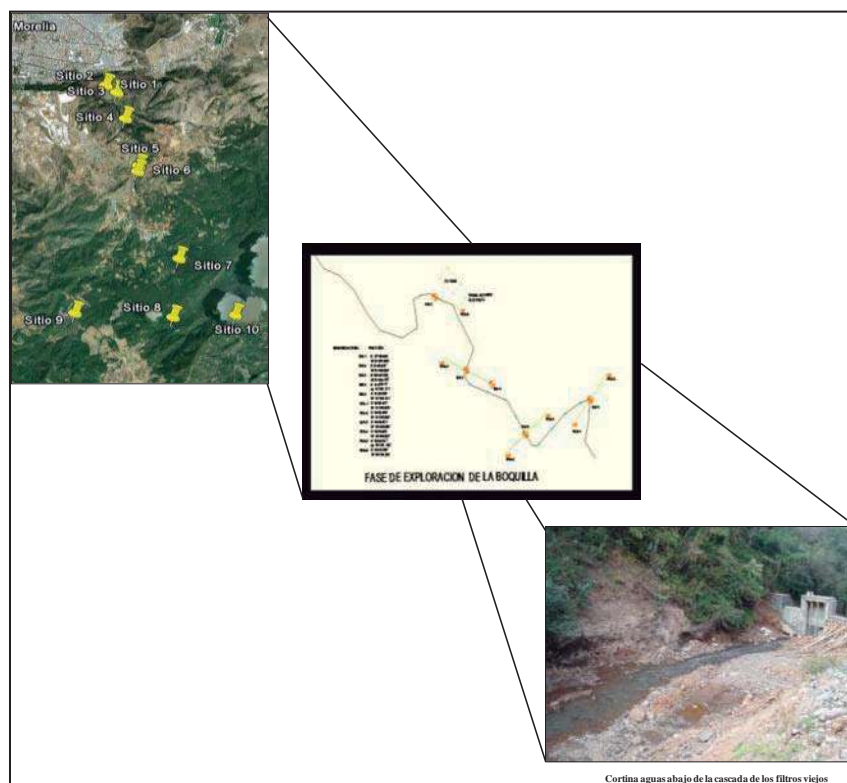


Figura 3.2. Localización de los sitios de muestreo (Imagen © 2009 Digital Globe, INEGI).

Cuadro 3.1. Ubicación y designación de sitios selectos.

SITIO	UBICACIÓN	DESIGNACIÓN	ALTITUD	LATITUD N	LONGITUD W
1	Filtros Viejos, aguas arriba de la 4ª cortina	Las Viboritas	1964 msnm	19° 40' 27"	101° 08' 58"
2	Filtros Viejos, aguas abajo de las adjuntas del río chiquito		2004 msnm	19° 40' 18"	101° 08' 47"
3	Filtros viejos, aguas arriba de las Adjuntas del río chiquito	Las Golondrinas	2004 msnm	19° 39' 58"	101° 08' 35"
4	Filtros viejos, sitio intermedio entre las adjuntas del río Chiquito y la descarga de río bello	El Infonavit	2058 msnm	19° 39' 52"	101° 08' 28"
5	Aguas debajo de la descarga de río bello	Descarga río bello	2058 msnm	19° 38' 57"	101° 08' 04"
6	Aguas arriba de la descarga de río bello		2073 msnm	19° 38' 27"	101° 08' 16"
7	Aguas abajo de la Cascada del arroyo San Miguel	Arroyo San Miguel	2140 msnm	19° 36' 27"	101° 07' 22"
8	Adjuntas del arroyo “El Campanario” y “Cascadas de Ichaqueo” (venadario)	El Venadario	1982 msnm	19° 35' 06"	101° 07' 31"
9	Río Paredones (fosa)	La fosa	1982 msnm	19° 35' 15"	101° 06' 32"
10	Salida del cañón “el Oasis”, en el cauce del río “Paredones”	Cañón “El Oasis”	1883 msnm	19° 34' 59"	101° 05' 56"

**Figura 3.3. Ubicación de los sitios y las cortinas rompepicos para el control de avenidas en el río chiquito.**

3.2 Caracterización

La caracterización se realizó con tres métodos: geomorfología, calidad ambiental visual y calidad del agua; que permitan en su conjunto reconocer las características puntuales para cada sitio. Se hicieron mediciones tanto en campo como en laboratorio de los parámetros que permiten cuantificar las características físicas, fisicoquímicas, bacteriológicas, geomorfológicas y de calidad ambiental visual, que de acuerdo con los métodos, técnicas y normas se requieren.

3.2.1 Caracterización Geomorfológica

Esta se hizo aplicando el método de Rosgen (1996); para la determinación de los sustratos en los cauces se empleó la metodología propuesta por Bunte y Abt (2001). El objetivo fue determinar el tipo de corriente del cauce de los sitios en estudio. Estos métodos también revelaron los efectos de los impactos ambientales, que afectaron a los procesos hidráulicos de los cauces en estudio.

a) Método de Rosgen (1996)

Este método determina el estado más probable del cauce, de acuerdo al modelo de clasificación de las corrientes, considerando la sinuosidad, el movimiento de la corriente y las relaciones del ancho y la profundidad del cauce, la pendiente y el tipo de sustrato y los referidos a la clave gráfica de Rosgen (figura 3.4). Para lo cual se hacen mediciones en un corte seccional del cauce, tomando como referencia de inicio la ribera máxima, la cual está delimitada por el nivel correspondiente al caudal de la máxima crecida ordinaria, que tiene variaciones con las estaciones del año, presentándose mayor caudal en época de precipitación y menor o casi nulo en la época de estiaje, por lo tanto la máxima ribera es un importante indicador de las variaciones en el nivel del agua (figura 3.5), las mediciones se realizan de acuerdo a los datos requeridos en la hoja de campo para clasificación de corrientes (apéndice 2) mismos que se recolectan como sigue:

1) Se localiza el estado máximo de profundidad marcando la altura de la ribera máxima (*bankfull stage*), la cual indica el nivel máximo que alcanza el agua por lo menos cada 1.5 a

2 años. La ribera máxima se delimita localizando pequeñas terrazas en donde cambia la estructura del sedimento debido al depósito de materiales finos. Para determinar el nivel de la ribera máxima y su ancho, se empleó un nivel Láser marck III.

2) Con base en este nivel se obtiene la máxima profundidad (MP) como la mayor lectura de altura al fondo del cauce. El corte seccional de profundidad del cauce se hizo tomando distancias del nivel al fondo del cauce cada 5 cm y al restar la altura del nivel del agua a estas lecturas se obtuvieron las profundidades del cauce activo. La profundidad promedio se estima dividiendo la suma de todas las lecturas de altura a la ribera máxima entre el número de lecturas obtenidas.

3) La altura del área de inundación se determina considerando que ésta es el doble de la máxima profundidad con respecto de la ribera máxima. La planicie de inundación es la extensión lateral del cauce que por lo menos cada cinco años el agua inunda.

4) El ancho del área de inundación (AAI) se obtuvo encontrando en los taludes de los cauces, el nivel de la altura del área de inundación y midiendo la distancia que separa este nivel en ambas riberas.

5) La tasa ancho/profundidad (TA/P) es la relación entre el ancho de la máxima ribera y la profundidad media.

6) La tasa de confinamiento (TC), es la relación entre el ancho del área de inundación y el ancho de la máxima ribera. Predice como las paredes del cauce confinan a la corriente, incluso en eventos de avenidas o “crecidas” del agua.

7) Para definir con precisión los tipos de cauce, es necesario determinar la estructura del sustrato, empleando el criterio D_{50} , se predice el tamaño de partícula más común en los materiales del sustrato, además de la frecuencia con que ocurren los tamaños de otras partículas, al mismo tiempo es posible reconocer las variaciones que existen entre los sustratos de los rabiones y estanques. Las determinaciones se hicieron con base en el método de Bunte y Abt (2001).

8) La pendiente del cauce se determina tomando como referencia dos puntos en la superficie del agua separados por una distancia mayor a 30 metros, la diferencia de alturas dividida entre la distancia proporciona el gradiente de la pendiente.

9) La sinuosidad del cauce se obtiene midiendo, entre al menos dos meandros (punto medio de una curvatura) del cauce activo, la longitud del thalweg, denominada longitud del cauce (Ic) y la distancia que separa en línea recta a los puntos extremos de la medición llamada longitud del valle (IV). A la división entre la longitud del cauce y la longitud del valle se le conoce como gradiente de sinuosidad.

Debido a que este parámetro está determinado por la pendiente y la formación de meandros y estructuras de control de la corriente, tales como los rabiones, el valor de sinuosidad permite reconocer la calidad física del cauce, con base en la posición del cauce en el paisaje. De manera que en zonas de poca pendiente, con valores menores a 0.03, se predicen cauces muy sinuosos, con valores en los que la longitud del cauce es al menos 1.4 veces la del valle, en tanto que en cauces de pendientes moderadas a fuertes, entre 0.04 y 0.99, se predicen cauces tendientes a ser rectos o menos sinuosos.

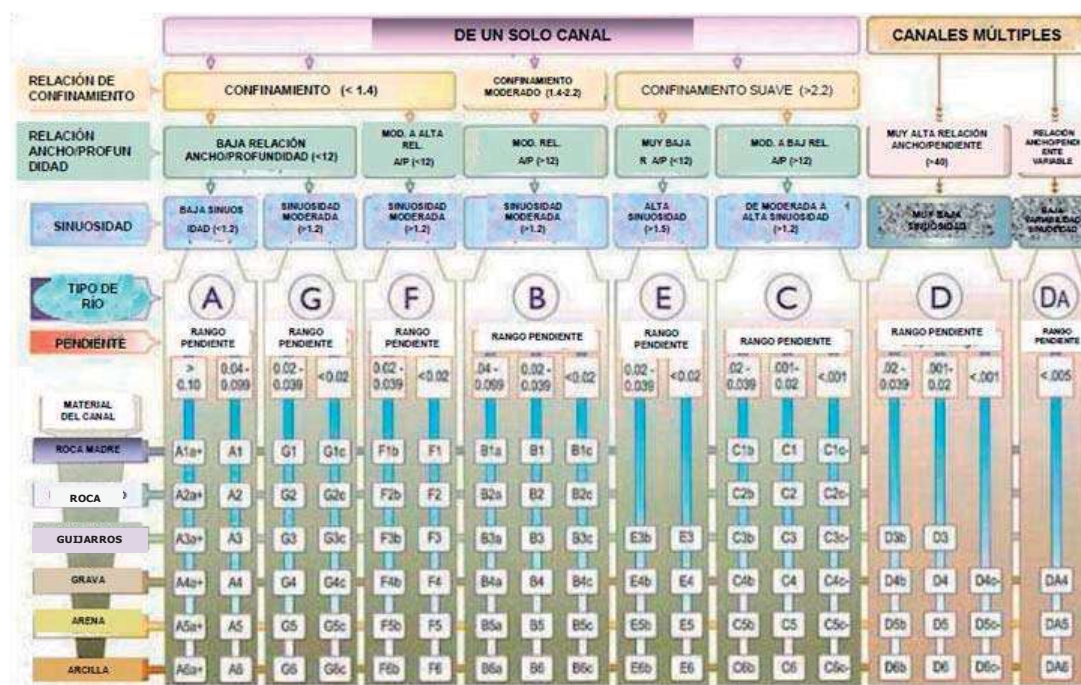


Figura 3.4. “Clave de Rosgen” para la clasificación de ríos naturales (tomada de Rosgen 1996).

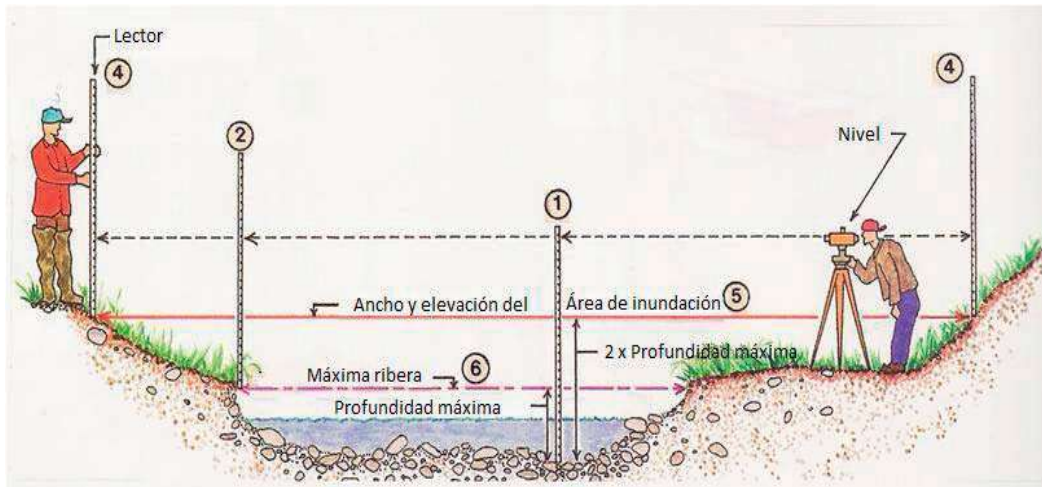


Figura 3.5. Mediciones para determinar el tipo de corriente del cauce de los sitios en estudio

b) Método de Bunte y Abt (2001).

Determina el diámetro dominante (D_{50}), por acumulación de la frecuencia de las partículas de origen rocoso del fondo del río. Se hicieron 100 lecturas de los sustratos, cada partícula fue tomada al azar, considerando como área de muestreo todo el cauce dentro del tramo en estudio cubriendo la mayor área posible, previamente se estimó la proporción entre el área ocupada por rabiones y estanques, a fin de representar los sustratos conforme a esta. Cada partícula fue medida en su diámetro diagonal y se registraron los tamaños y tipos de sustratos (arenoso, grava o cantos rodados), tablas especialmente diseñadas donde se agrupan los resultados por categorías (apéndice 3).

3.2.2 Caracterización de Calidad Ambiental Visual (Barbour *et al.*, 1999)

Se hizo para estimar 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 flujo del agua, condiciones de la vegetación de las riberas y de la zona riparia y la condición de la planicie de inundación. Para lo cual se utilizó el protocolo de Barbour *et al* (1999), como sigue:

Consta de trece criterios de evaluación, que se califican en un tramo representativo del río, el cual corresponde a 40 veces el ancho del cauce; su aplicación se hace con base en la topografía del lugar en estudio, factor que se divide en gradiente alto (mayor al 3% de pendiente) 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 planicies (menor al 3% de pendiente). Siguiendo los criterios del estado más probable, los criterios son:

1. *Sustrato disponible para la epifauna*. Se refiere a la cantidad y variabilidad de sustratos disponibles para el asentamiento de macroinvertebrados, se califica en ambos gradientes.
2. *Embebimiento*. Considera a la 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*. Se refiere a la presencia de cuatro patrones de velocidad/ profundidad: suave-somero, suave-profundo, rápido-somero y rápido-profundo, presentes en los ríos de montaña, se califica para el gradiente alto.
5. *Variabilidad de los estanques*. Considera la variabilidad en el tamaño y profundidad de los estanques. Con cuatro patrones: estanques pequeños y someros, estanques pequeños y profundos, estanques grandes y someros y estanques grandes y profundos, presentes en los ríos de planicie, se califica para el gradiente bajo.
6. *Gradiente de sedimentación*. Califica la acumulación anómala de sedimentos, se califica en ambos gradientes.
7. *Estatus del flujo*. Considera la forma como la corriente toca las riberas, se califica en ambos gradientes.
8. *Alteraciones del canal*. Se consideran aquellas evidencias de modificaciones y/o alteraciones en el canal como resultado de obras construidas por el hombre, se califica en ambos gradientes. Cuando la obra tiene más de veinte años, es posible considerarla de bajo impacto, puesto que el cauce ya la ha incluido en su estructura.

9. *Frecuencia de rabiones*. Se refiere a la frecuencia en la presencia de rabiones en el tramo bajo 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*. Califica la tasa entre la longitud de la línea de máxima profundidad y la longitud del canal en línea recta, se califica para el gradiente bajo.
11. *Estabilidad de las riberas*. Se refiere a la proporción que ocupan en el tramo las evidencias de erosión y/o fallas de las riberas.
12. *Protección vegetal de las riberas*. Estima la proporción de las riberas del cauce que se encuentran con vegetación ribereña nativa.
13. *Ancho de la zona de vegetación riparia*. Estima el ancho de la zona de amortiguamiento proporcionado por la vegetación nativa de la zona riparia en ambas riberas.

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 en estudio (Cuadro 3.2). La evaluación visual emplea variables en microescala con respecto al tamaño de la sección de río en estudio, como la estimación del embebimiento de los sustratos y otras en macroescala a nivel de cuenca, como ocurre con el tipo de corriente presente. En su conjunto este protocolo evalúa 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.

Cuadro 3.2. Categorías para calificar la 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

3.2.3 Caracterización de la Calidad del Agua

Se ha valorado a partir de variables físicas, fisicoquímicas y bacteriológicas, evaluadas de forma individual. Esta evaluación ha permitido obtener a través de los parámetros

fisicoquímicos información de la naturaleza de las especies químicas en el agua y sus propiedades físicas, y que junto con los bacteriológicos permiten informar sobre el uso del recurso hídrico. Se ha utilizado la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, octubre 2000), con el fin de tener un control sanitario del agua para uso y consumo humano y el índice de calidad del agua (ICA) como una herramienta útil en el programa de gestión del recurso hídrico (CNA, 1995).

a) Determinación de parámetros físicos, fisicoquímicos y bacteriológicos.

Se programaron muestreos mensuales en un ciclo anual para cada uno de los diez sitios en estudio. El muestreo se dividió en trabajo de campo y laboratorio.

- Trabajo de campo.

Se tomaron muestras en garrafas de tres litros y para Coliformes en bolsas Whirlpak (polietileno), se transportaron en hieleras para que conservaran la temperatura adecuada para su posterior análisis.

Se hizo la determinación “*in situ*” de los parámetros fisicoquímicos siguientes: temperatura del aire, temperatura de la muestra, potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad y turbidez, lo cual se hizo por inmersión en el agua del multiparamétrico hydrolab (Quanta) calibrado previamente, en el cuadro 3.3, se muestra el método y la norma mexicana aplicada. Al mismo tiempo se determinó también el caudal del cauce activo por el método sección-velocidad, considerando cuatro secciones en las que se evaluó la velocidad superficial del flujo con un flujómetro Flow Mate 2000 y para determinación del área se tomó lectura cada cinco centímetros de la profundidad del cauce para una mayor exactitud. El caudal se calculó con la fórmula propuesta por FISRWG (1998):

$$Q = V \times A \quad (3.1)$$

Donde: Q = es el caudal medido en m^3/s

V = es la velocidad promedio del agua en cada sección (m/s)

A = es el área medida para cada sección (m^2).

- **Trabajo de laboratorio**

Con base en la normatividad vigente, se hizo la determinación de los siguientes parámetros fisicoquímicos: demanda bioquímica de oxígeno que incluye oxígeno disuelto, por el método de Winkler por oxidación del ión yoduro, demanda química de oxígeno, por digestión con dicromato de potasio; coliformes totales y fecales, por fermentación con el método del número más probable; sulfatos, por precipitación con cloruro de bario; fósforo total, extractado con persulfato y determinado por el método del ácido ascórbico; nitritos, por la diazotación del nitrito con la sulfanilamida, la cual forma un compuesto de copulación rosado (púrpura rojizo) con la naftilendiamina; cloruros, por el método de Mhor mediante valoración con nitrato de plata usando cromato potásico como indicador; dureza total, por titulación con EDTA usando como indicador eriocromo negro T; dureza de calcio, por titulación con EDTA usando como indicador murexida y dureza de magnesio; acidez por titulación con álcali; alcalinidad, por titulación con ácido y sólidos sedimentables, por sedimentación. En el caso de sólidos sedimentables se usó el cono imhoff, en el método espectrofotométrico se utilizó el spectronic 20, los métodos y normas mexicanas se indican en el cuadro 5.

Cuadro 3.3. Métodos y Normas Oficiales Mexicanas, con las que se hicieron las mediciones de los parámetros fisicoquímicos.

PARÁMETRO	MÉTODO	NORMA
T aire (°C)	Electroquímico	NMX-AA-007-SCFI-2000
T muestra (°C)	Electroquímico	NMX-AA-007-SCFI-2000
Conductividad eléctrica (μS/cm)	Electroquímico	NMX-AA-093-SCFI-2000
Ph	Electroquímico	NMX-AA-008-SCFI-2000
Salinidad (PSS)	Electroquímico	NMX-AA-112-SCFI-1995
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electroquímico	NMX-AA-034-SCFI-2001
Turbidez (NTU)	Electroquímico	NMX-AA-038-SCFI-2001
Oxígeno disuelto (mg/L)	Electroquímico	NMX-AA-012-SCFI-2001
% de Saturación de oxígeno	Electroquímico	NMX-AA-112-SCFI-1995
Sólidos sedimentables (mL/L)	Sedimentación	NMX-AA-004-SCFI-2000
Acidez (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-036-SCFI-2001
Dureza total (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-072-SCFI-2001

Cuadro 3.3. Continuación

Dureza de magnesio (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-072-SCFI-2001
Nitritos (mg/L)	Espectrofotométrico	NMX-AA-099-SCFI-2006
Sulfatos (mg/L)	Espectrofotométrico	NMX-AA-074-1981
Fosfatos (mg/L)	Espectrofotométrico	NMX-AA-029-SCFI-2001
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Volumétrico y dilución	NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda química de oxígeno (mg/L)	Espectrofotométrico	NMX-AA-030-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-073-SCFI-2001
Coliformes totales (NMP/100 mL)	Fermentación (NMP)	NMX-AA-102-SCFI-2006
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Fermentación (NMP)	NMX-AA-102-SCFI-2006

b) NOM-127-SSA1-1994

Esta norma tiene la finalidad de establecer con eficacia el control sanitario del agua para uso y consumo humano, así como abastecer con calidad adecuada a la población para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, por lo que se establecen límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas (DOF, octubre 2000).

c) Índice de Calidad del Agua (ICA)

Es un método estandarizado que mide la calidad del agua, aplicado en el país por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Este índice establece el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y se expresa como porcentaje de agua pura, por lo tanto un valor igual o cercano a 0 % será para agua altamente contaminada y un valor cercano al 100% indica agua en excelentes condiciones (SEMARNAT 2009). Los parámetros considerados para el cálculo se seleccionaron por su importancia relativa para reconocer el grado de contaminación y estos fueron: potencial de hidrógeno, turbidez, sólidos disueltos totales, cloruros, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad específica, alcalinidad, dureza total, nitritos, fosfatos totales, coliformes totales, coliformes fecales y temperatura de la muestra.

El cálculo del ICA se realizó aplicando la ecuación siguiente (SEMARNAT 2009).

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3.2)$$

Donde: ICA = Índice de calidad del agua global

I_i = Índice de calidad para el parámetro i

W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = Número total de parámetros

A partir del valor obtenido y en función del uso específico del agua, se estima el nivel de contaminación de un cuerpo de agua (cuadro 3.4), siendo este índice una herramienta útil en el programa de gestión del recurso hídrico.

Cuadro 3.4 Clasificación del tipo de calidad del agua.

Tipo de calidad del agua	Color	Intervalo DBO ₅	Intervalo DQO	Intervalo SST
Excelente	E	DBO ₅ ≤ 3	DQO ≤ 10	SST ≤ 25
Aceptable	A	3 < DBO ₅ ≤ 6	10 < DQO ≤ 20	25 < SST ≤ 75
Poco contaminado	PC	6 < DBO ₅ ≤ 30	20 < DQO ≤ 40	75 < SST ≤ 150
Contaminado	C	30 < DBO ₅ ≤ 120	40 < DQO ≤ 200	150 < SST ≤ 400
Altamente contaminado	AC	DBO ₅ > 120	DQO > 200	SST > 400

Fuente: Subdirección General Técnica, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, CONAGUA, 2006

3.3. Análisis estadísticos

Se han aplicado para encontrar las posibles relaciones entre la calidad ambiental visual y el tipo de corriente con la calidad del agua, la finalidad es conocer el conjunto de variables que en un modelo de gestión pueden ser consideradas; las determinaciones se hicieron con los paquetes estadísticos Jump JMP v. 6.0 (SAS Institute, 2005) y MultiVariateStatisticalPackage MVSP v. 3.2 (Kovach Computing Services, 1998). La secuencia es la siguiente:

- Para encontrar si en todos los sitios, los valores de las variables pertenecen a una misma población de datos, la matriz de datos se procesó mediante un análisis de datos aberrantes (Outliers), utilizando las distancias de Mahalanobis.
- Mediante el análisis de normalidad de datos, se encuentran las variables que presentan distribución normal, para tomar decisiones sobre la estandarización de los datos y/o verificar las herramientas estadísticas a usar.
- Para encontrar redundancia entre las variables, se aplicaron análisis de correlación paramétrica de Pearson (asociación lineal), tomando en cuenta la distribución de los

datos. Para considerar que la correlación es significativa, se utilizó como límite mínimo en el coeficiente de correlación $r > 0.7$. En caso de que no todas las variables presenten distribución normal, el análisis de redundancia se complementa con el análisis de correlación no-paramétrica, considerando como límite mínimo un valor del coeficiente de correlación de Spearman $r > 0.7$ con un nivel de significancia $P < 0.05$. El objetivo es encontrar las variables que muestren una correlación significativa reduciendo la matriz de datos, descartando a las variables que ofrecen la misma información con el cuidado de seleccionar a las que expliquen fenómenos distintos. De tal forma que se eligen las que por su importancia describen al universo de datos disponibles; sin embargo este análisis por sí mismo no descarta variables, únicamente se toma como uno de los criterios de selección, puesto que los más destacados a considerar son aquellos que mejor expliquen la variación en el ambiente.

- d) Empleando análisis de agrupamiento (Cluster) con todas las variables con el método de Ward, se obtiene la jerarquía de los conglomerados o grupos, de acuerdo a los valores de los parámetros donde los sitios se agruparon por su calidad ambiental para obtener una categorización por grupos.
- e) Con la categorización de cada sitio, se hicieron análisis de Varianza de una sola Vía (ANOVA), para observar la variación propia de cada variable en sitios con distinta categorización, y que por su valor de probabilidad $< F 0.05$, muestren diferencias estadísticamente significativas entre los sitios y el total de las muestras.
- f) Con el propósito de encontrar a las variables que separen mejor la condición de categorización de los sitios, se realiza la prueba de comparación de Tukey-Kramer usando una probabilidad $> F 0.05$.
- g) El análisis de ordenamiento, con el método de componentes Principales (ACP), muestra las variables que permiten encontrar en tres componentes el mayor porcentaje de explicación en forma acumulativa de la variación múltiple entre las muestras estadísticas; de esta forma se muestra en el espacio tridimensional la diferencia multivariada de los parámetros que explica la agrupación de los sitios del área en estudio.
- h) Se aplicaron análisis de discriminantes, con el cual se verificó el porcentaje de muestras “mal clasificadas” respecto de la categorización de degradación de los sitios, de tal

forma que el análisis sugiere hacer modificaciones al respecto, sin embargo hacer una reclasificación conlleva a verificar la información. El gráfico detalla el porcentaje de probabilidad de aceptación (90% y 50%) de las variables conjuntamente con la condición de degradación agrupando a los sitios de acuerdo a esta condición.

- i) Finalmente se obtienen las variables que muestran sensibilidad para agrupar y clasificar a los sitios en gradientes multimétricos, generando información técnica y científica que oriente y sustente las alternativas para tomar las decisiones sobre los parámetros a considerar en un modelo de gestión de la calidad del agua de los sitios de referencia.

3.4 Modelo de Gestión Propuesto

El modelo de gestión que se propone, integra la información obtenida en campo y determinada en laboratorio como se muestra en la figura 3.6, tasando las relaciones que conservan las variables que definen la condición geomorfológica, la calidad ambiental con aquellas que corresponden a la calidad del agua, considerando que las dos primeras son las que mantienen la estabilidad hidráulica de los sistemas en estudio.

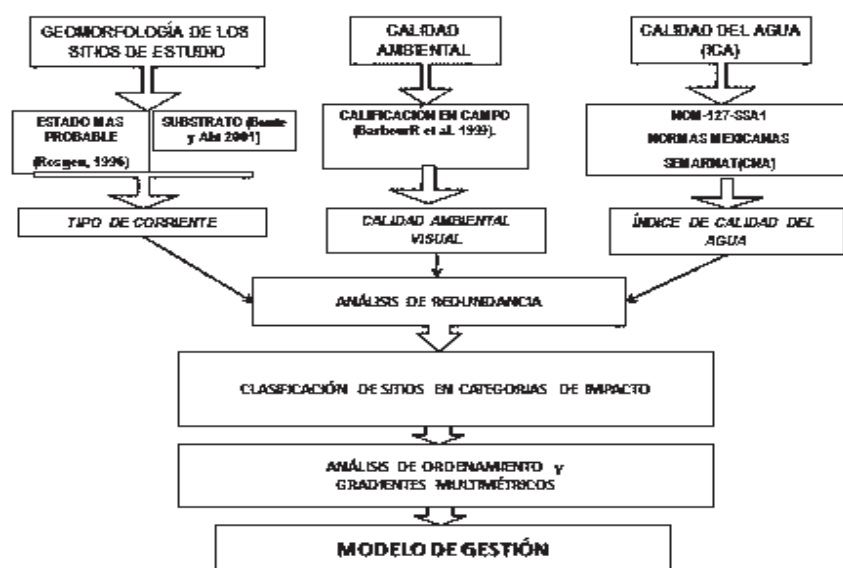


Figura 3.6. Diagrama de flujo para la elaboración de la propuesta del modelo de gestión del recurso hídrico de los sitios de referencia.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Geomorfología de los sitios en estudio

El estudio geomorfológico se realizó considerando que los sistemas lóticos presentan tres características generales (Luna, 1962): 1. El cauce por donde corre el flujo de agua; 2. El valle que representa la llanura de inundación, denominado cauce mayor, ocupado en proceso de crecidas para disipar la energía de las aguas, el cual almacena materiales sedimentarios de gran fertilidad (Ureña, 2000) y 3. La red hidrográfica, que establece la intercomunicación entre los ríos y arroyos dentro de las cuencas en estudio. Bajo el concepto de cuenca, la clasificación de la corriente de Rosgen (1966) considera, la red de drenaje, la complejidad de la cuenca (el relieve, formas de la tierra y morfología del valle del paisaje o sea el “estado más probable”); también se incluye a los procesos fluviales, a los materiales de depósito, la influencia climática y una zona de vida amplia (figura 4.1).



Figura 4.1. Mediciones en la determinación del tipo de corriente y valle.

Con base en esta metodología se determinó que los sitios 6, 7 y 9 corresponden a corrientes de tipo “B” y valles de tipo III, en tanto que el sitio 10 se encontró asociado a un valle II. Los sitios 1, 2, 3, 4, 5 y 8 corresponden a corrientes “F” y forman parte de un mismo valle, tipo IV. Las formas de valle encontradas fueron del tipo “V” para sitios de montaña moderadamente confinados con fondos cóncavos y para cuando sus vertientes son más inclinadas y “U”

confinados con fondo plano. Los sitios que presentan valores que corresponden con el tipo de corriente fueron: 1, 3, 8, 9 y 10; y los que presentan alteraciones en algunos de sus valores fueron: 2, 5 y 6 reportaron baja sinuosidad, el 4 obtuvo tasa de confinamiento elevada y baja sinuosidad, el 7 presentó tasa ancho/profundidad y sinuosidad baja (figura 4.2).

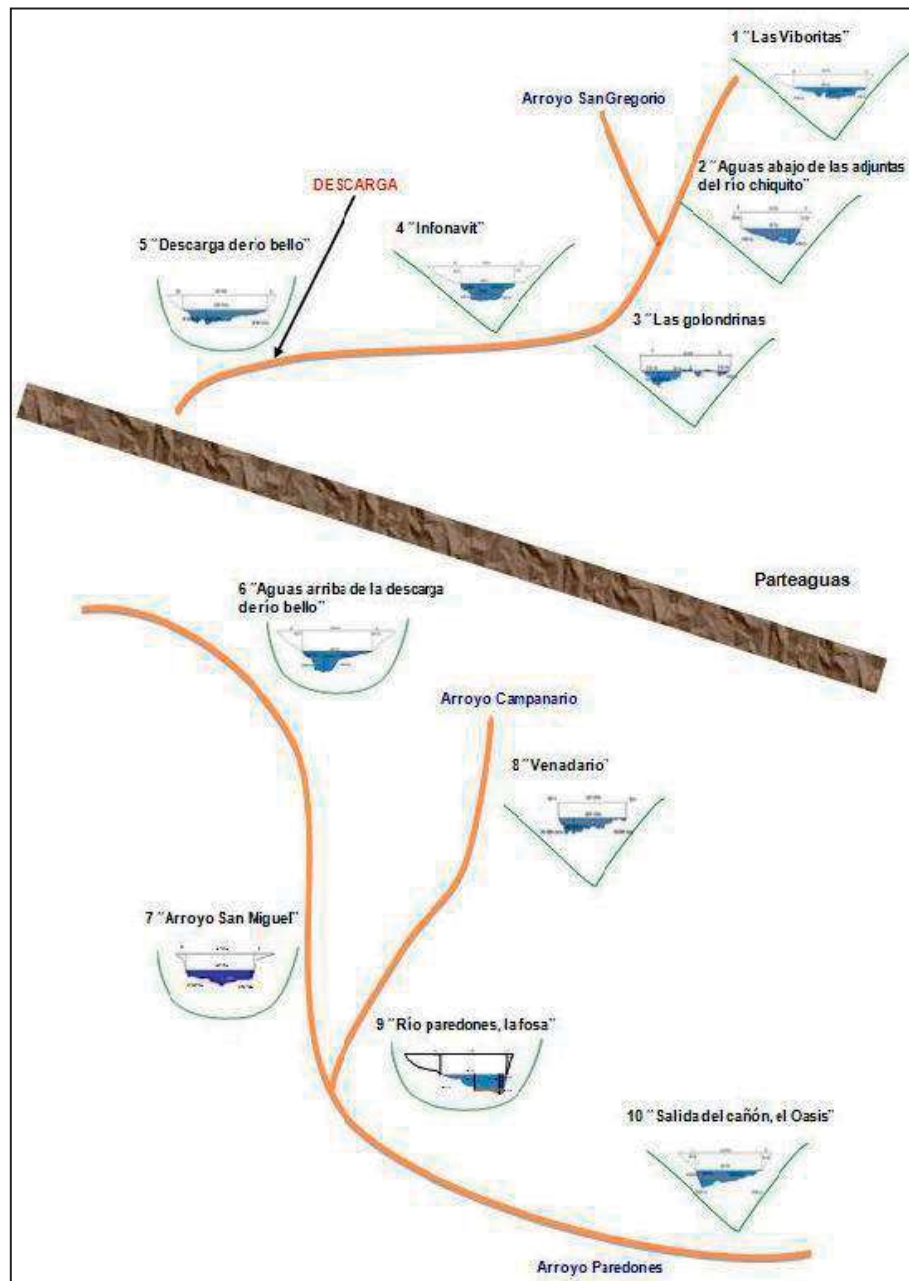


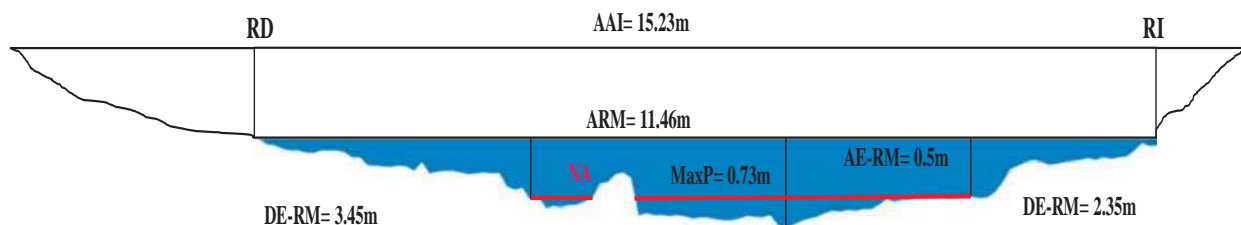
Figura 4.2. Formas de valle (\cup corresponde al tipo "U" y \vee al tipo "V", conforme a Montgomery D.R. y Buffington J.M., (1993) y tipo de corriente de los sitios del área en estudio.

4.1.1. Descripción de la estructura geomorfológica del cauce y valle por el tipo de corriente de acuerdo a la clasificación de Rosgen, 1998.

De acuerdo a los resultados encontrados cuatro cauces son de tipo “B” y seis de tipo “F”, por lo que se describen como sigue:

Sitio 1 “Las Viboritas”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo de corriente F3b (figura 4.3), los cuales presentan un intervalo de pendiente que va de 0.02 a 0.039, lo que permite que sus vertientes sean muy inclinadas, su garganta es más abierta que se caracteriza por tener valores en la tasa ancho/profundidad mayores a 12; son profundas incisiones en el paisaje fuertemente confinadas, se observan como cañones, en los cuales los materiales de los taludes son la única fuente de abasto de los substratos del cauce y estos tienen como materiales de substrato dominante a los guijarros que son prevalentes. Este sitio se encuentra dentro de un valle tipo “V” (IV).



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.3. Corte seccional del sitio 1 “Las Viboritas”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.1 se muestran los valores geomorfológicos del cauce en este sitio, en el cual se observa que todos se encuentran dentro de los intervalos esperados para el tipo determinado; sin embargo se observó como alteración la disminución del ancho de la franja de vegetación riparia y ribereña, sobre todo del lado derecho del cauce; acumulación de grava y arena en esa orilla y en los estanques, como resultado de la erodabilidad de los taludes, puesto que se trata conforme a Rosgen (1996), de un sistema frágil; fácilmente impactado por la construcción de cortinas para el control de avenidas aguas abajo, puesto que durante la construcción de estas, fueron eliminados

los deflectores naturales que disminuyen la velocidad de la corriente; así como por el camino de terracería, la construcción del acueducto que transporta agua del manantial “Huertitas” a los “Filtros viejos” y las actividades deportivas, turísticas y de pastoreo.

Pero de manera conjunta estos impactos aún no han causado efectos suficientes para alterar la hidráulica del cauce, por lo que se conservan las variables geomorfológicas dentro de los valores esperados. Esto le permite al sistema recuperar sus condiciones ambientales para favorecer el establecimiento de la biota acuática, este fenómeno se encuentra asociado según Barbour et al. (1999), FISRWG (1998), Montgomery D.R. y Buffington J.M.(1993) con la estructura del fondo del cauce y de las riberas, de tal suerte que si estos elementos del sistema no han sido suficientemente impactados, el río conserva su resiliencia. Esto es congruente con lo encontrado en distintos ecosistemas riparios por (Pérez-Munguía 2005; Figueroa et al 2003; Roldán 2003 y 2000/60/CE), quienes detallan que la presencia de materiales gruesos en el sustrato es condición necesaria para el establecimiento de la biota acuática. Al tiempo que esperamos que esta recuperación también se vea reflejada en la disminución de los efectos que tienen los impactos que alteran la calidad del agua (figura 4.4).

Pero estos impactos pueden aumentar si se intensifican estas actividades o no se toman medidas preventivas, de mitigación y/o de remediación, tales como: proporcionar espacio a los ríos, respetar sus áreas de inundación y sus riberas, evitar el desvío de las corrientes superficiales, controlar y delimitar las áreas turísticas, de deporte y sobre todo de pastoreo.

Cuadro 4.1. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 1 “Las Viboritas”

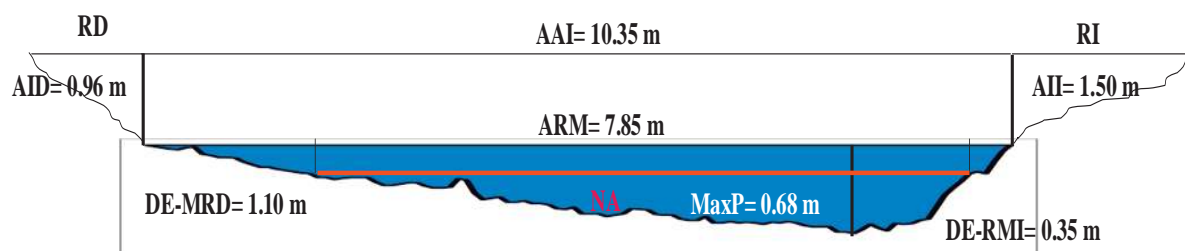
Sitio 1		
	Valores obtenidos (observados)	Valores del tipo de corriente (esperados)
Ancho de la Máxima Ribera (m)	11.46 m	
Profundidad Media(m)	0.53	
Tasa ancho/profundidad	21.26	> 12
Profundidad máxima (m)	0.73	
Ancho del área de inundación (m)	15.23	
Tasa de confinamiento	1.32	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	128-256 mm Guijarros grandes	Guijarros
Pendiente	0.03	0.02 – 0.039
Sinuosidad	1.21	> 1.2
Tipo de Corriente F3b		



Figura 4.4. Construcción de caminos e impactos en la ribera derecha del sitio “Las Viboritas”

Sitio 2 “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo F4 (figura 4.5); el cual difiere del tipo del sitio 1 en el valor de la pendiente que debe ser menor al 2% y en el tamaño de los subtratos, siendo estos grava muy gruesa.



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.5. Corte seccional del sitio 2 “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.2, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que la sinuosidad es de 1.03, correspondiendo a un valor menor al esperado a los

cauces del tipo F4, haciendo al cauce sea más recto, trayendo como consecuencia que las descargas disminuyan el tiempo de ocurrencia, ya que el thalweg se pierde e incrementa la erosión que ocurre. El impacto se tiene en la ribera derecha, donde se observó disminución de la protección riparia y ribereña y como sistema con elevada tasa ancho/profundidad presentó acumulación de sedimento del sustrato. Las actividades humanas que contribuyen a este impacto es el pastoreo de ganado a las orillas de las riberas; actividades turísticas, deportivas y la construcción del acueducto mencionado anteriormente, que aún no alteran de forma aparente la hidráulica del cauce (figura 4.6).

Cuadro 4.2. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 2 “Aguas debajo de las adjuntas del río chiquito”

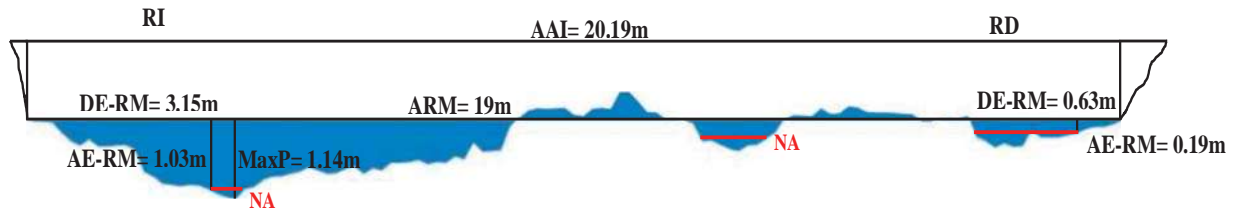
Sitio 2		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	7.85 m	
Profundidad Media(m)	0.3855	
Tasa ancho/profundidad	20.36	> 12
Profundidad máxima (m)	0.68	
Ancho del área de inundación (m)	10.31	
Tasa de confinamiento	1.313	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	32-64 mm Grava muy gruesa	Grava muy gruesa
Pendiente	0.0123	< 0.02
Sinuosidad	1.03	> 1.2
Tipo de Corriente F4		



Figura 4.6. Pastoreo de ganado e impactos en el sitio 2 “Aguas debajo de las adjuntas del río chiquito”

Sitio tres “Las golondrinas”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo F4b (figura 4.7); que a diferencia del tipo del sitio 1, se encontró grava muy gruesa como sustrato dominante, al igual que en el sitio 2, característico del intervalo de variación en cauces del tipo “F”.



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.7. Corte seccional del sitio 3 “Las Golondrinas”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.3, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que todos se encuentran dentro de los valores que corresponden al tipo F4b. Las actividades mencionadas en el sitios 2 y la actividad agrícola que ha provocado la infiltración de sustancias así como la erosión de los taludes y las riberas provocando depósitos anormales de sedimentos embebidos entre la grava y arena en el centro y orilla derecha del cauce, dejando material y vegetación riparia al descubierto, en forma de islas, que de acuerdo con Barbour et al. (1999), esto es resultado de una fuerte alteración en la capacidad de transporte de la corriente, puesto que en estos sistemas de montaña, debiera estar ocurriendo erosión natural de los cauces y el transporte de los materiales erosionados, hacia puntos de retención donde se estructuran los meandros. Reflejándose este hecho en el corte transversal del cauce, permitiendo observar una convexidad por los sedimentos presentes en el centro (figura 4.8).

Cuadro 4.3. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 3 “Las Golondrinas”

Sitio 3		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	19 m	
Profundidad Media(m)	0.27	
Tasa ancho/profundidad	70.37	> 12
Profundidad máxima (m)	1.14	
Ancho del área de inundación (m)	20.19	
Tasa de confinamiento	1.062	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	32-62 Grava muy gruesa	Grava muy gruesa
Pendiente	0.038	0.02 – 0.039
Sinuosidad	1.43	> 1.2
Tipo de Corriente F4b		

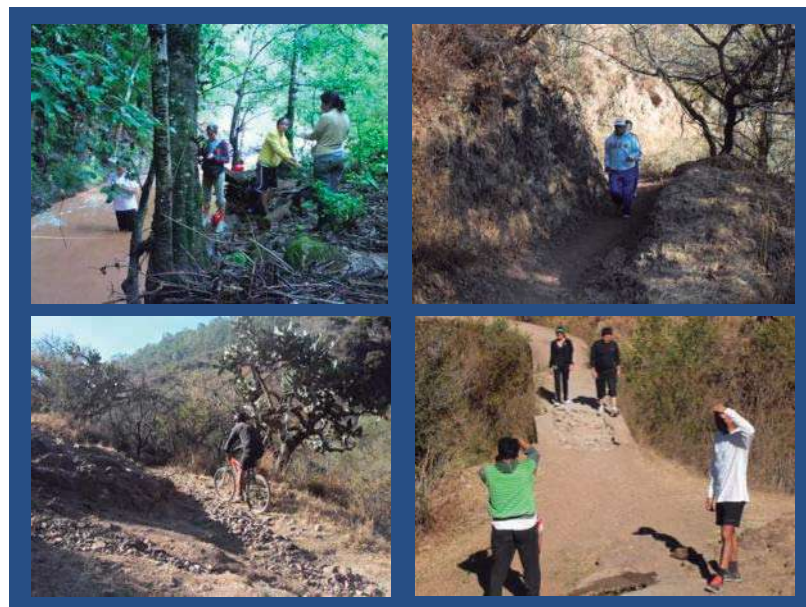
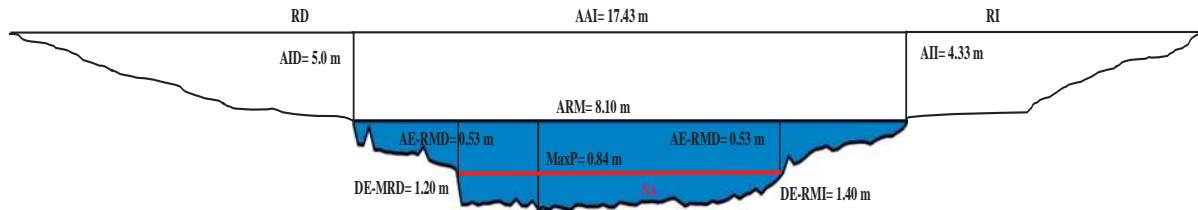


Figura 4.8. Formación de islas en el centro del cauce e impactos en el sitio “Las golondrinas”

4.1.1.4 Sitio 4 “Infonavit”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo F3b (figura 4.9); el que corresponde con el mismo tipo del sitio 1. Este sitio al igual que los anteriores, forma parte del mismo tipo de valle y es esperable que en tanto no cambie el tipo de valle se conserve el mismo tipo de cauce.



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.9. Corte seccional del sitio 4 “Infonavit”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.4, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que la sinuosidad se reporta con un valor de 1.07 menor al esperado que debiera ser mayor a 1.2, las actividades mencionadas en el sitio 3, así como la recepción del agua proveniente del sitio de la descarga, la acumulación de basura, son las que en este tramo del cauce han disminuido la cubierta vegetal y la disipación de la máxima energía, erosionando a las riberas, haciendo al cauce más recto y acumulando sedimentos en ambas orillas (figura 4.10). La erosión en las riberas ha incrementando el área de inundación, expresado en el valor de 2.15 de la tasa de confinamiento mayor al esperado. Estas afectaciones no han sido suficientes para impactar la hidráulica del cauce.

Cuadro 4.4. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio “Infonavit”

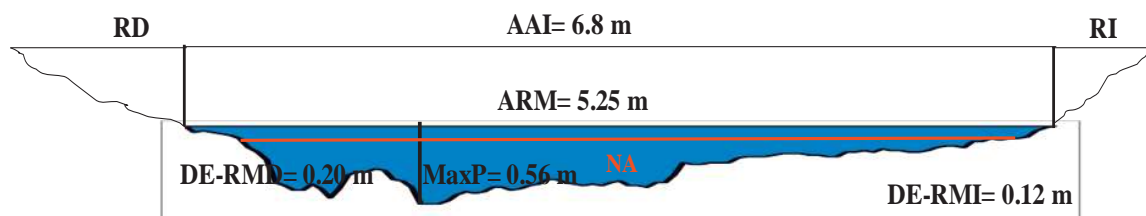
Sitio 4		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	8.10 m	
Profundidad Media(m)	0.552	
Tasa ancho/profundidad	14.67	> 12
Profundidad máxima (m)	0.84	
Ancho del área de inundación (m)	17.43	
Tasa de confinamiento	2.15	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	64-128	Guijarros
	Guijarros pequeños	
Pendiente	0.02	0.02 – 0.039
Sinuosidad	1.07	> 1.2
Tipo de Corriente F3b		



Figura 4.10. Imagen de los impactos en el sitio “Infonavit”

Sitio 5 “Descarga de río bello”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo F4 (figura 4.11), al igual que el sitio 2.



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.11. Corte seccional del sitio “Descarga de río bello”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.5, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que la sinuosidad ha disminuido debiendo ser mayor a 1.2 y se obtuvo de 1.027, esto por efecto de la descarga de agua residual doméstica, la construcción de la carretera sobre la margen de la ribera izquierda, construcción de viviendas sobre el terreno de la margen de la ribera derecha, tendido de cables y postes de energía eléctrica, así como la construcción del puente y el vado, aguas arriba de la descarga, lo cual ha causado alteración sobre la disipación de

la energía que altera a la corriente, provocando la canalización del cauce. Además de la invasión de las riberas, existe también una erosión muy fuerte de los taludes de estas y depósito de sedimentos en el centro del cauce, formando islas, las cuales son observadas a través de la convexidad en el corte transversal del cauce (figura 4.12).

Cuadro 4.5. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 5 “descarga de río bello”

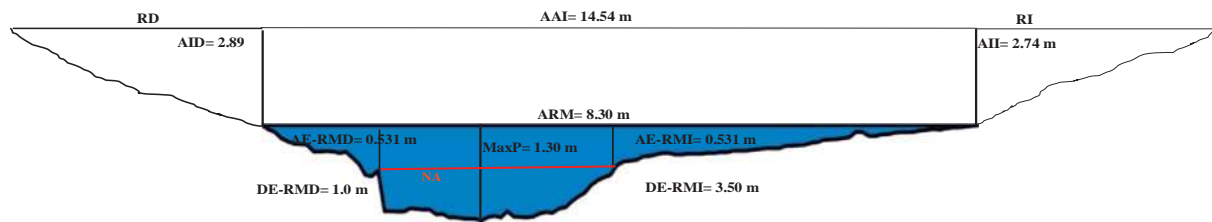
Sitio 5		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	5.25 m	
Profundidad Media(m)	0.2522	
Tasa ancho/profundidad	20.336	> 12
Profundidad máxima (m)	0.51	
Ancho del área de inundación (m)	6.8	
Tasa de confinamiento	1.295	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	16-32 Grava gruesa	Grava muy gruesa
Pendiente	0	< 0.02
Sinuosidad	1.027	> 1.2
Tipo de Corriente F4		



Figura 4.12. Impactos ocasionados por afectaciones humanas en el sitio 5 de la descarga residual.

Sitio 6 “Aguas arriba de la descarga de río bello”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo B3 (figura 4.13); los cuales están moderadamente confinados, con pendiente menores al 4%, característicos de sitios de montaña, los materiales del sustrato dominante son guijarros grandes. Son sistemas de fondo cóncavo, con vegetación riparia bien establecida y corredor ribereño estrecho, en el caso de este sitio se encuentran en valle del tipo “U” (III).



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.13. Corte seccional del sitio “Aguas arriba de la descarga de Río Bello”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.6, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que la sinuosidad se encuentra alterada, reportada como 1.097 menor al valor esperado que debería ser mayor a 1.2, para el tipo de corriente B3. Esta disminución en la sinuosidad, hace que el cauce tienda a ser más recto, por la construcción de la carretera de “Jesús del Monte” a “San Pedro de las Torres”, del vado y del puente aguas abajo de este cauce, así como la rectificación del cauce para recibir las descargas de aguas residuales del área de “Jesús del Monte”, el pastoreo y la entrada directa al cauce para la recarga de agua a pipas repartidoras. Todas estas actividades y los cambios en la vegetación han afectado el ancho de la zona riparia de ambas riberas, ocasionando la erosión de la ribera izquierda, la disminución en la capacidad de transporte de la corriente, encontrándose acumulación de sedimentos finos embebidos tanto en el fondo de los estanques como en la orilla derecha del cauce, los cuales se observan como materiales expuestos (figura 4.14). A pesar de estos impactos, la funcionalidad del cauce no ha sido afectada considerablemente, sin embargo cabe mencionar que si se tiene un control sobre algunas de las actividades el cauce podría tender a recuperarse más fácilmente.

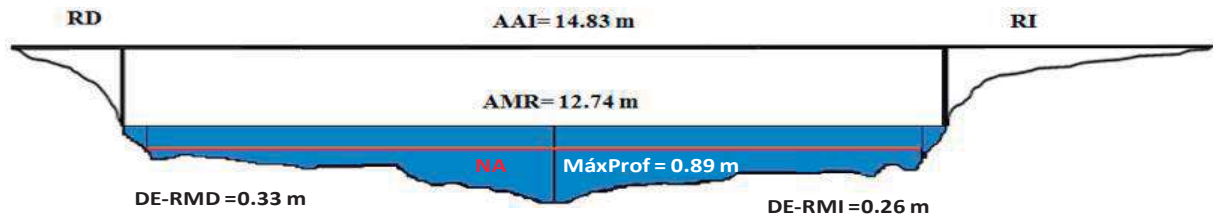
Cuadro 4.6. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 6 “Aguas Arriba de la descarga de río bello”

Sitio 6		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	8.30 m	
Profundidad Media(m)	0.5207	
Tasa ancho/profundidad	15.64	> 12
Profundidad máxima (m)	1.30	
Ancho del área de inundación (m)	14.54	
Tasa de confinamiento	1.74	1.4 – 2.2
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	128-256 Guijarros grandes	Guijarros grandes
Pendiente	0.02	0.02 – 0.039
Sinuosidad	1.097	> 1.2
Tipo de Corriente B3		

**Figura 4.14. Impactos en el cauce del sitio “Aguas arriba de la descarga de río bello”****Sitio 7 “Arroyo San Miguel”**

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo “B3c” (figura 4.15); el cual difiere del tipo del sitio anterior en la pendiente que debe ser menor a 0.02. En este sistema la vegetación riparia se compone por corredores de poca amplitud (en promedio menos de 10 m), donde dominan las especies *Fraxinus udhei* (fresno) y *Alnus* sp. (Aile), con distintas mezclas de helechos herbáceos

y arbustos de *Rubus* sp (Zarzamora), que rápidamente se mezclan con los bosques de pino y pino-encino, la vegetación dominante de toda la zona de estudio.



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.15. Corte seccional del sitio “Arroyo San Miguel”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.7, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que la tasa ancho/profundidad se encuentra alterada, ya que debería ser mayor a 12 y se obtuvo de 10.2, así como la disminución de la sinuosidad que tendría que ser mayor a 1.2 y se obtuvo de 1.04. Como se muestra en la figura 4.16, en este tramo se observó disminución de vegetación riparia y ribereña en la ribera izquierda del cauce, desprendimiento de materiales de los taludes, sobre todo del talud derecho, lo que ha disminuido la disipación de energía ocasionada por el movimiento del agua, modificando el transporte de sedimentos, que se encuentran embebidos entre los guijarros, grava y arena; alterado la profundidad y con ello el riesgo de inundación en eventos de descarga de máxima ribera, alterando de esta forma la relación tasa ancho/profundidad. Las actividades que mínimamente están impactando al cauce, son la infiltración de sustancias provenientes de la agricultura, la acumulación de basura, las de campismo y turismo.

Cuadro 4.7. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 7 “Arroyo San Miguel”

Sitio 7		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	12.74 m	
Profundidad Media(m)	0.381	
Tasa ancho/profundidad	10.2	> 12
Profundidad máxima (m)	0.89 m	
Ancho del área de inundación (m)	14.83	
Tasa de confinamiento	1.48	1.4 – 2.2
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	90-128 Guijarros pequeños	Guijarros grandes
Pendiente	0.002	< 0.02
Sinuosidad	1.04	> 1.2
Tipo de Corriente B3c		

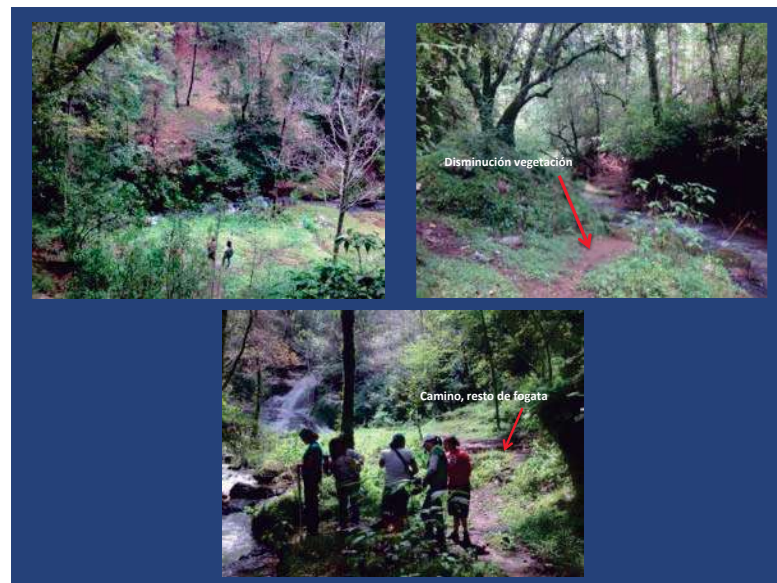
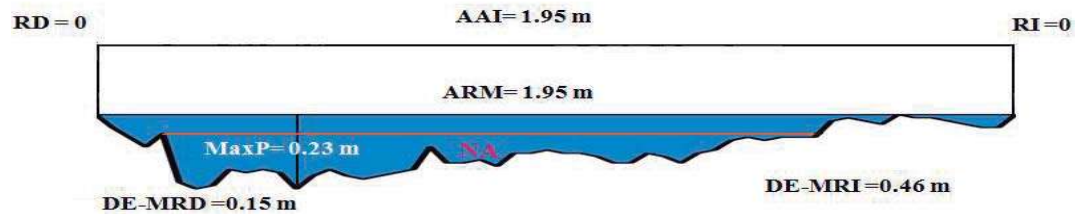


Figura 4.16. Impactos en las riberas del sitio “Arroyo San Miguel”.

Sitio 8 “Venadario”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo “F3b” (figura 4.17); al igual que el mismo tipo que en el sitio 1 y sitio 4, que corresponde a valles del tipo “V” (IV).



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.17. Corte seccional del sitio 8 “Venadario”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.8, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, en el cual se observa que las variables se encuentran dentro de los intervalos esperados, para el tipo de corriente F3b. Morfométricamente el cauce en este sitio no ha sido alterado, salvo la construcción de caminos de madera, palos y piedras para llegar a la parte más baja del cauce, la granja piscícola y la unidad de manejo ambiental (venadario) que se encuentran aguas arriba del tramo de muestreo (figura 4.18), las actividades de campismo, rapel, que constituyen una barrera para el transporte natural de sedimentos. Sin embargo estas afectaciones no han sido de gran magnitud en la alteración de los procesos hidráulicos de este sistema.

Cuadro 4.8. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 8 “Venadario”

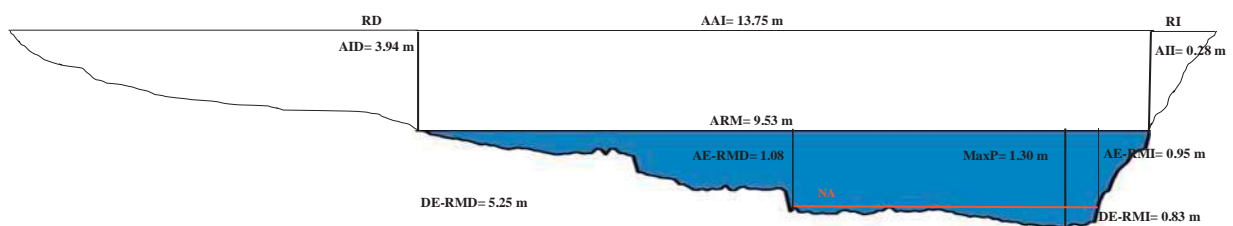
Sitio 8		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	1.95	
Profundidad Media(m)	0.1101	
Tasa ancho/profundidad	17.71	> 12
Profundidad máxima (m)	0.23	
Ancho del área de inundación (m)	1.95	
Tasa de confinamiento	1.0	< 1.4
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	128-256 Guijarros grandes	Guijarros
Pendiente	0.03	0.02 – 0.039
Sinuosidad	1.58	> 1.2
Tipo de Corriente F3b		



Figura 4.18. Unidad de manejo ambiental, caminos e impactos en el cauce del sitio “Venadario”

Sitio 9 “Río paredones, la fosa”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo B3 (figura 4.19); el que es del tipo del sitio 6. Corresponden también al mismo tipo de valle “U” (III).



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.19. Corte seccional del sitio “Río Paredones fosa”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos

En el cuadro 4.9, se muestran los valores geomorfológicos del cauce en sitio de estudio, en el cual se observa que los valores de las variables se encuentran dentro de los que corresponden al tipo de corriente B3. En este sitio se tiene la construcción de un puente aguas abajo del tramo de

muestreo, senderos, una línea de conducción de energía eléctrica (ambas riberas), pesca deportiva, pastoreo, afectaciones humanas que han provocado la disminución de la vegetación riparia y ribereña de la ribera derecha. Así también se observó una fuerte erosión de la ribera derecha y depósitos anormales de sedimentos en el centro del cauce (por aumento de caudal en la época de precipitación), los cuales se observan en la convexidad en el corte transversal de este, formando pequeñas islas (figura 4.20). Sin embargo, la magnitud de la afectación no ha modificado substancialmente los procesos hidráulicos del sistema, por lo que su recuperación sería más fácil si se delimitan las áreas de uso a zonas más o menos restringidas.

Cuadro 4.9. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 9 “Río Paredones fosa”

Sitio 9		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	9.53 m	
Profundidad Media(m)	0.708	
Tasa ancho/profundidad	13.46	> 12
Profundidad máxima (m)	1.30	
Ancho del área de inundación (m)	13.75	
Tasa de confinamiento	1.442	1.4 – 2.2
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	128-256 Guijarros grandes	Guijarros
Pendiente	0.03	0.02 – 0.039
Sinuosidad	1.58	> 1.2
Tipo de Corriente B3		

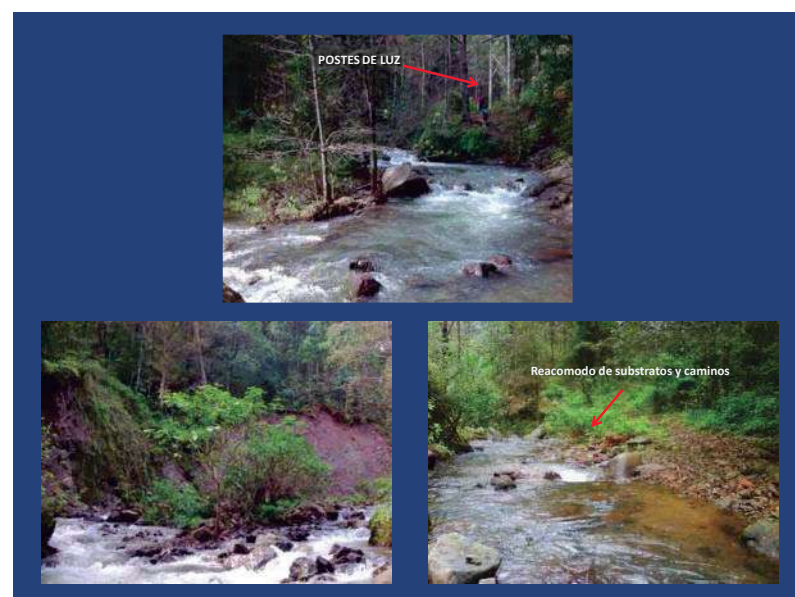
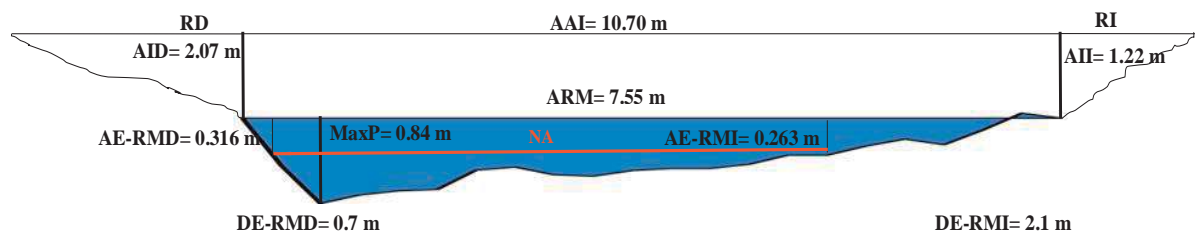


Figura 4.20. Desprendimiento de material de taludes e impactos en el cauce del sitio “Río paredones, fosa”

Sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”

La estructura geomorfológica corresponde con el tipo B3a (figura 4.21), son cauces moderadamente confinados, con pendientes moderadas menores a 10%, se encuentran en valles de tipo “V” (II), la vegetación riparia en este sitio se compone por corredores de poca amplitud (en promedio menos de 10 m), donde dominan las especies *Fraxinus udhei* (fresno) y *Alnus* sp. (Aile), con distintas mezclas de helechos herbáceos y arbustos de *Rubus* sp (Zarzamora), que rápidamente se mezclan con los bosques de pino y pino-encino, la vegetación dominante de toda la zona de estudio (figura 4.22).



RD = Ribera Derecha; RI = Ribera Izquierda; AAI = Ancho del Área de Inundación; ARM = Ancho de Ribera Máxima; DE-RM = Distancia del espejo de agua a la Ribera Máxima; AE-RM = Altura del espejo de agua a la Ribera Máxima; MaxP = Profundidad Máxima; NA=Nivel del agua.

Figura 4.21. Corte seccional del sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”, en el cual se muestran los valores geomorfológicos



Figura 4.22. Imagen del paisaje del sitio “Salida del cañón, el Oasis”

En el cuadro 4.10, se muestran los valores geomorfológicos del cauce del sitio en estudio, donde se observa que las variables se encuentran dentro de los intervalos para el tipo de corriente encontrado. Morfométricamente no está alterado. Es un cauce altamente sinuoso (2.2), que presenta una pendiente elevada (0.096), lo que significa que hay en el sistema escalones, como un efecto de la propia naturaleza por lo que no se puede considerar como un evento de impacto; esto hace que el cauce sea más energético, aumentando el poder de la corriente con una capacidad de transporte suficiente para mover grandes rocas (figura 4.23). Sin embargo en el sitio ocurren fuentes de impacto como: ecoturismo (rapel y escalada) actividad realizada por personas con formación ambiental por lo que contribuyen con mejoras al paisaje, como es la extracción de basura y la conservación de la vegetación rupícola; el tendido de una línea de abastecimiento de agua de bajo impacto que pasa sobre el cauce, entre las piedras, sin ninguna canalización ni obras de derivación de aguas. La fuente de mayor impacto encontrada es la construcción de un puente aguas arriba en el camino a Tumbisca; sin embargo, esto no impacta de manera importante debido a la estructura rocosa de los taludes y materiales del substrato del cauce, siendo esta geoforma la mayor área de protección del sistema (figura 4.24). Por lo tanto este sistema podría ser considerado como el mejor conservado, caracterizándolo como un sitio de referencia de acuerdo a las características de Huges (1995). Cabe destacar que en la vegetación riparia y rupícola se encuentran elementos florísticos de importancia ornamental y económica, tales como orquídeas epifíticas y epiliticas, de manera destacada se encuentran especies protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2001, como es el caso de *Hintonella mexicana*. Además el sitio se encuentra en la zona de transición hacia la tierra caliente por lo que las condiciones de protección del cañón permiten la presencia de elementos arbóreos típicos de la selva baja caducifolia como es el género *Caesalpinia*.



Figura 4.23. Imagen que muestra los substratos rocosos del sitio “Salida del cañón, el Oasis”

Cuadro 4.10. Valores geomorfológicos y tipo de río del sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”

Sitio 10		
	Valores obtenidos	Valores del tipo de corriente
Ancho de la Máxima Ribera (m)	7.55 m	
Profundidad Media(m)	0.38	
Tasa ancho/profundidad	19.86	> 12
Profundidad máxima (m)	0.7743	
Ancho del área de inundación (m)	10.70	
Tasa de confinamiento	1.41	1.4 – 2.2
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (mm)	64-128 Guijarros pequeños	Guijarros
Pendiente	0.096	0.04 – 0.099
Sinuosidad	2.2	> 1.2
Tipo de Corriente B3a		

**Figura 4.24. Línea de tendido para extracción de agua en el cauce del sitio “Salida del cañón, el Oasis”**

4.2 Calidad Ambiental Visual de los sitios en estudio

Para los sitios en estudio, se encontró que la mayoría presenta alteración en la vegetación riparia y ribereña, lo cual deja sin protección a las riberas, afectando su estabilidad y a alguno de los elementos restantes evaluados. La calidad del hábitat encontrada en el área de estudio (calidad ambiental visual), la cual se avaluó con base en 200 puntos, fue para los sitios 7, 8, 9 y 10 categoría de calidad óptima, para 1, 2, 3, 4 y 6 subóptima y para el 5 pobre.

4.2.1 Descripción de la calidad ambiental visual del cauce utilizando el protocolo de Barbour et al, 1998.

Se evaluaron las variables de gradiente alto para todos los sitios puesto que la pendiente del paisaje corresponde con valores mayores al 3%, debido a que el área de estudio se encuentra en la zona montañosa de la parte alta de las cuencas de los sistemas analizados.

4.2.1.1 Evaluación de la calidad del hábitat con base en los criterios de la calidad ambiental visual (CAV).

Sitio 1 “Las Viboritas”

La evaluación fue de 146 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad subóptima, conforme a la categorización expresada en el cuadro 3.2. Los valores obtenidos para cada variable se presentan en el cuadro 4.11, encontrando que ocho de ellas presentan algún grado de alteración.

Cuadro 4.11. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 1 “Las Viboritas”

Sitio 1	
Sustrato Disponible	15.0
Embebimiento	16.0
Patrones Velocidad/Profundidad	18.0
Gradiente Sedimentación	14.0
Status del Flujo	15.0
Alteraciones del Canal	15.0
Frecuencia de Riffles	14.0
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 6
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 5
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 7 Der. 5
Calificación	146.0
Categoría (CAV)	Subóptimo

Se encontró que las actividades deportivas y turísticas, han afectado el ancho de la zona riparia; el pastoreo a contribuido a la disminución de la vegetación en la ribera derecha, no se observaron árboles ni arbustos, lo que permite el ingreso de sedimentos arrastrados por el escurrimiento lateral, durante la época de lluvias. En este sitio se encontró evidencia de embebimiento de las rocas por algas filamentosas, lo que puede ser provocado por las concentraciones de formas químicas de Nitrógeno y Fósforo en la columna de agua, en especial porque aguas arriba se

encuentra la descarga de río Bello, que puede afectar todos los sitios aguas abajo como resultado de los impactos al caudal derivados de la construcción de las presas del programa de prevención de inundaciones realizado por el OOAPAS 2006. Esto último fue concluido por Torres-García (2009), al estudiar las respuestas de los macroinvertebrados acuáticos a los impactos descritos al caudal. Debido a que se trata de una corriente “F”, se caracteriza como un sistema frágil que presenta desprendimiento de materiales de sus taludes, en el cuadro 4.11, los valores de las variables permiten reconocer que en su conjunto los efectos de los impactos al sistema son: la disminución de la vegetación riparia y ribereña en el margen derecho por efecto del camino a San Pedro de las Torres, esta obra y las actividades deportivas (atletismo, ciclismo y motociclismo) han incrementado el ingreso de partículas, erosionando la ribera derecha, lo cual ocasiona acumulación de sedimentos en los estanques y en la orilla correspondiente del cauce, modificando la frecuencia de rápidos. La construcción de cortinas para el control de avenidas y el acueducto de abastecimiento a los filtros viejos, han alterado al canal, modificando los procesos de disipación de la energía, al mismo tiempo que lo hacen homogéneo al reducir o eliminar los patrones de velocidad /profundidad propios de los cauces de montaña, sobre todo en época de estiaje, reduciendo de esta forma la cantidad y variedad de sustrato disponible para la epifauna (figura 4.25). A pesar de los impactos provocados, el cauce aún no ha perdido su estabilidad, ya que las demás variables se encuentran dentro de la calidad óptima, con tendencia a restablecer el equilibrio dinámico del cauce.



Figura 4.25. Calidad Ambiental Visual del Sitio “Las Viboritas”

Sitio 2 “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”

Este sitio, de acuerdo a la evaluación reporto 164 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad subóptima, en el cuadro 4.12, se muestran los valores de las variables de calidad ambiental. Se encontró alteración en cuatro de los elementos evaluados.

Cuadro 4.12. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 2 “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”.

Sitio 2	
Sustrato Disponible	17
Embebimiento	16
Patrones Velocidad/Profundidad	17
Gradiente Sedimentación	18
Status del Flujo	18
Alteraciones del Canal	16
Frecuencia de Riffles	16
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 6
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 10 Der. 7
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 9 Der. 6
Calificación	164
Categoría (CAV)	Subóptimo

En este sitio se tiene disminución de la vegetación ribereña (poca cantidad de árboles y arbustos), dejando libre la entrada de partículas procedentes del desprendimiento de los taludes, lo cual contribuye a la erosión de las riberas, con efecto mayor en la del lado derecho, por lo que se ha alterado la sinuosidad del cauce. Al igual que los sedimentos, los nutrientes se transportan en forma de solución, debido a que la vegetación no es suficiente barrera, se observó poca cantidad de algas en forma de lentejas. Las actividades de construcción mencionadas en el sitio anterior, a excepción de las cortinas, varían mínimamente la frecuencia de rápidos y al canal, modificando la distribución de los materiales de los sustratos, encontrando arena embebida entre los guijarros y grava de estanques y orillas del cauce; así como acumulación de sedimentos finos en las orillas (figura 4.26), sin embargo se dispone de heterogeneidad en el hábitat acuático.



Figura 4.26. Sitio “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”

Sitio3 “Golondrinas”

La evaluación reportó 150 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad subóptima, en el cuadro 4.13, se muestran los valores de las variables de calidad ambiental, detectándose alteración en cuatro de ellas.

Cuadro 4.13. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 3 “Golondrinas”

Sitio 3	
Sustrato Disponible	17
Embebimiento	17
Patrones Velocidad/Profundidad	18
Gradiente Sedimentación	10
Status del Flujo	11
Alteraciones del Canal	18
Frecuencia de Riffles	16
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 10 Der. 2
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 9 Der. 5
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 9 Der. 8
Calificación	150
Categoría (CAV)	Subóptimo

Se observó que la construcción del camino de terracería, el acueducto, las actividades deportivas, turísticas y de pastoreo, así como el desprendimiento de material de los taludes, han alterado la protección vegetal y con ello se ha incrementado el ingreso de partículas finas, disminuyendo la capacidad de transporte, modifica el flujo del canal dejando materiales expuestos, así como acumulación anormal de sedimentos en el centro del cauce (islas), lo cual disminuye la cantidad de substratos disponibles como refugio para la epifauna. Se observaron también pequeñas cantidades de algas del lado de la ribera derecha del cauce, sobre todo en los meses de abril y mayo, cuando aumenta la cantidad e intensidad lumínica permitiendo su desarrollo, esto como consecuencia del máximo de concentración en los nutrimentos (nitrógeno y fósforo) en el sistema. En el lado izquierdo del cauce se observó la infiltración de agua que emana en forma de regadera (manantial), lo cual puede estar contribuyendo a la recuperación de este tramo del río, como se puede observar en la evaluación geomorfológica y ambiental que indica que las demás variables que permiten valorar la calidad ambiental, tienen calidad óptima (figura 4.27).

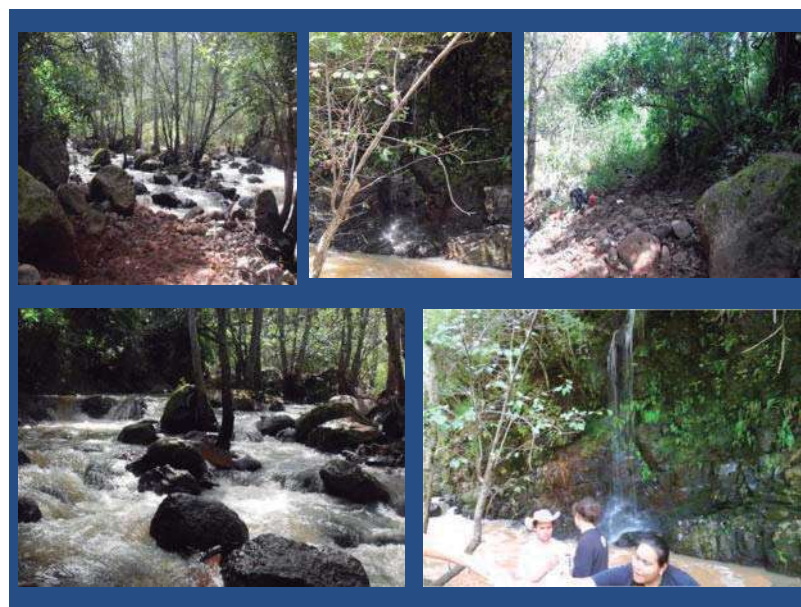


Figura 4.27. Acumulación anormal de sedimentos e infiltración de agua en el sitio “Golondrinas”

Sitio 4 “Infonavit”

La evaluación reportó 118 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad subóptima, en el cuadro 4.14, se muestran los valores de las variables de calidad ambiental del cauce del sitio en estudio. Se encuentra alteración en seis de los elementos evaluados.

Cuadro 4.14. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 4 “Infonavit”

Sitio 4	
Sustrato Disponible	14
Embebimiento	10
Patrones Velocidad/Profundidad	14
Gradiente Sedimentación	10
Status del Flujo	9
Alteraciones del Canal	12
Frecuencia de Riffles	12
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 7 Der. 5
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 7 Der. 5
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 5
Calificación	118
Categoría (CAV)	Subóptimo

La calidad subóptima del hábitat en este sitio, permitió observar que la calificación de los elementos evaluados disminuyó, en comparación con los tres sitios anteriores. Las afectaciones humanas son las mismas que en el sitio 3, las cuales han alterado la vegetación riparia y ribereña en ambas riberas. En cuanto a la estabilidad de las riberas, ha disminuido por la infiltración de sustancias provenientes de la actividad agrícola, la aportación de sustancias orgánicas e inorgánicas y bacterias, procedentes de la descarga de agua residual que se localiza en el sitio aguas arriba de este, incluso se observaron pequeñas cantidades de algas, en las orillas y bajo los sustratos, incrementándose en los meses de estiaje. Todo esto ha alterado la tasa de confinamiento, provocando la disminución de la sinuosidad, además de que se ha aumentado el ingreso de partículas finas, modificando el flujo del canal y la acumulación de sedimentos embebidos entre los guijarros, la grava y arena, en las orillas y estanques, modificando la profundidad de estos (figura 4.28). Por lo tanto se tiene menor disponibilidad de hábitat para ser colonizados por los organismos, siendo otro de los problemas, la acumulación de basura en ambas riberas. La tendencia del sistema es a la calidad óptima. En general estos impactos están asociados a la disminución en la capacidad de transporte del sistema.

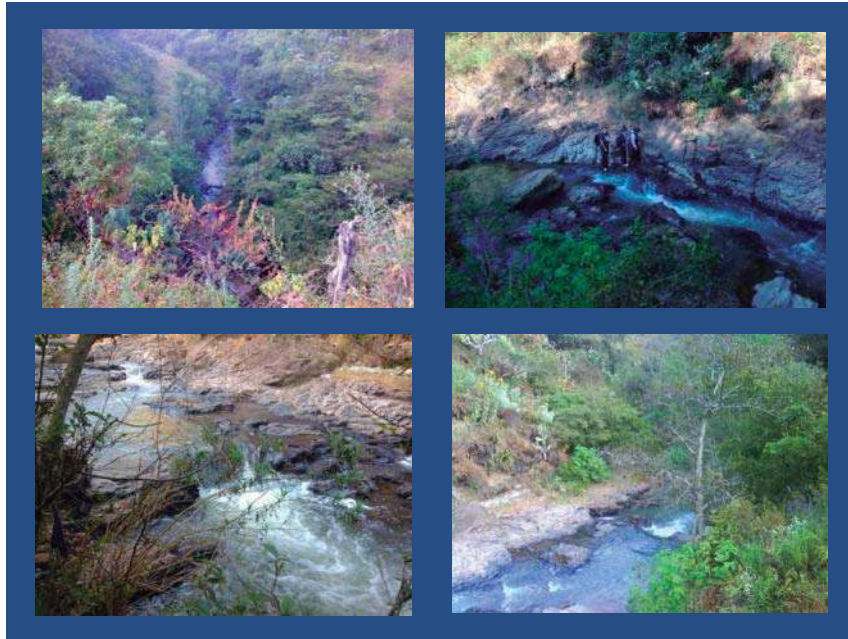


Figura 4.28. Calidad ambiental visual del sitio “Infonavit”

Los cuatro sitios anteriores, se encuentran aguas abajo del río Chiquito y reciben los efectos de las descargas de río Bello, incrementándose su impacto por el aumento en la concentración de nutrimentos y la disminución en la capacidad de autodepuración del sistema como consecuencia de actividades deportivas, la construcción de caminos y de obras de control del caudal.

Sitio 5 “Descarga de río bello”

La evaluación reportó 55 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad pobre, en el cuadro 4.15, se muestran los valores de las variables evaluadas, encontrando alteración en todas ellas.

Cuadro 4.15. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 5 “Descarga de río bello”

Sitio 5	
Sustrato Disponible	5
Embebimiento	4
Patrones Velocidad/Profundidad	8
Gradiente Sedimentación	8
Status del Flujo	6
Alteraciones del Canal	5
Frecuencia de Riffles	0
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 2 Der. 3
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 3 Der. 4
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 3 Der. 4
Calificación	55
Categoría CAV	Pobre

La calificación disminuye notablemente en comparación con los cuatro sitios anteriores. La construcción de las distintas obras (carretera, casas, puente, vado, agricultura, pastoreo, basura, escombro) en las riberas y aguas arriba, ha alterado la protección vegetal, incrementando el ingreso de partículas finas (acumulación de sedimentos en la convexidad del cauce), ocasionando baja sinuosidad del cauce y la pérdida en su capacidad de transporte, como resultado de la canalización. En este sitio se reciben las aguas residuales de las comunidades de Jesús del Monte que ha contribuido a la disminución de la condición ambiental, por la carga de sustancias químicas y bacterias que contiene. Así como la extracción de los sustratos, que además de disminuir la capacidad de autodepuración, puesto que se reduce el intercambio de oxígeno con el aire, también se pierden los sustratos disponibles para la colonización de la epifauna. De igual forma ha ocurrido la homogenización general en el ambiente acuático, previendo de esta manera que la biota solo este constituida de especies muy tolerantes a la degradación. Por lo tanto este es el sitio de mayor degradación ambiental encontrado en el área en estudio (figura 4.29).



Figura 4.29. Degradación ambiental del sitio “Descarga de río bello”

Sitio 6 “arriba de la descarga de río bello”

La evaluación reportó 144 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad óptima, en el cuadro 4.16, se muestran los valores de las variables evaluadas y la alteración en tres de ellas. Este sitio se encuentra aproximadamente a 150 metros de distancia, aguas arriba de la descarga de río bello, presentando una calificación superior al valor de 55 que presentó el sitio donde se tiene la descarga residual, como consecuencia de la degradación presente en este.

Cuadro 4.16. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 6 “Arriba de la descarga de río bello”

Sitio 6	
Sustrato Disponible	15
Embebimiento	15
Patrones Velocidad/Profundidad	18
Gradiente Sedimentación	15
Status del Flujo	17
Alteraciones del Canal	15
Frecuencia de Riffles	17
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 2 Der. 7
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 3 Der. 7
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 4 Der. 9
Calificación	144
Categoría (CAV)	Subóptimo

En este sitio, la construcción del camino de terracería del lado izquierdo del cauce, la rectificación de este para recibir las descargas de aguas residuales del área de “Jesús del Monte”, el puente y el vado que se encuentran aguas abajo del sitio, han afectado el ancho de la zona riparia; el pastoreo, la extracción de agua del cuerpo de agua por medio de pipas que entran hasta el cauce, la agricultura, han propiciado la disminución de la vegetación ribereña; lo cual ha permitido el acceso de partículas, modificando en ambos lados, la vegetación de la zona ribereña. Todas estas alteraciones han provocado la erosión de la ribera izquierda y la disminución de la sinuosidad, así como la capacidad de transporte de la corriente, lo que ha modificado el movimiento de los materiales de los substratos, encontrándose sedimentos finos entre la arena, la grava y los guijarros y acumulación de sedimentos en el lado derecho del cauce, limitando de esta forma la disponibilidad de hábitat para la epifauna (figura 4.30). El control de las actividades humanas que se realizan en este sistema, permitiría mejorar la calidad ambiental del cauce que tiende a ser óptima.



Figura 4.30. Sitio “Aguas arriba de la descarga de río bello”

Sitio 7 “Arroyo San Miguel”

La evaluación reportó 178 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad óptima, en el cuadro 4.17, se muestran los valores de las variables, encontrando que estos son elevados, propios para esta categoría en su calidad ambiental obtenida.

Cuadro 4.17. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 7 “Arroyo San Miguel”

Sitio 7	
Sustrato Disponible	19
Embebimiento	18
Patrones Velocidad/Profundidad	18
Gradiente Sedimentación	18
Status del Flujo	19
Alteraciones del Canal	16
Frecuencia de Riffles	18
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 7 Der. 9
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 9 Der. 10
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 9
Calificación	178
Categoría (CAV)	Óptimo

Las actividades de campismo, turismo, la agricultura y la acumulación de basura, han afectado el ancho de la zona de vegetación riparia y modificado la vegetación ribereña; el desprendimiento de materiales de los taludes, ha adicionado el ingreso de partículas al cauce. Estas alteraciones en su conjunto han provocado la erosión de la ribera derecha y la disminución en la sinuosidad, además de modificar la capacidad de transporte de la corriente, lo cual genera la acumulación de sedimentos finos en los estanques y en la orilla izquierda del cauce, modificando también la profundidad del cauce, así como el área de inundación (figura 4.31). Sin embargo estas actividades aún no son suficientes para inhibir la capacidad de autodepuración del sistema, de manera que la disponibilidad de sustratos que pueden servir de refugio para la epifauna, es suficiente.



Figura 4.31. Calidad ambiental del sitio “Arroyo San Miguel”

Sitio 8 “Venadario”

La evaluación reportó 184 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad óptima, en el cuadro 4.18, se muestran los valores de las variables de calidad ambiental obtenidas, encontrando que solo dos de estas variables presentan una mínima repercusión de acuerdo a sus valores.

Cuadro 4.18. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 8 “Venadario”

Sitio 8	
Sustrato Disponible	17
Embebimiento	18
Patrones Velocidad/Profundidad	18
Gradiente Sedimentación	17
Status del Flujo	18
Alteraciones del Canal	20
Frecuencia de Riffles	20
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 10 Der. 9
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 10 Der. 9
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 10 Der. 8
Calificación	184
Categoría (CAV)	Óptimo

La construcción de senderos para llegar a la parte baja del cauce, la unidad de manejo ambiental, la granja piscícola, así como las actividades de tirolesa, campismo y turísticas, así como el desprendimiento de material de los taludes como un efecto propio de la naturaleza que de acuerdo al tipo de corriente se trata de un sistema frágil, son las que han modificado de forma mínima el ancho de la zona riparia y a la vegetación ribereña, permitiendo el ingreso de partículas, modificando la capacidad de transporte de la corriente, encontrando que los materiales del fondo del cauce se encuentren embebidos con pequeñas cantidades de sedimentos finos, los cuales de manera natural son transportados (figura 4.32). Por lo tanto se tiene que existe variedad y cantidad de sustratos y estructuras naturales disponibles como refugios sobre todo para macroinvertebrados acuáticos.



Figura 4.32. Calidad ambiental del sitio “Venadario”

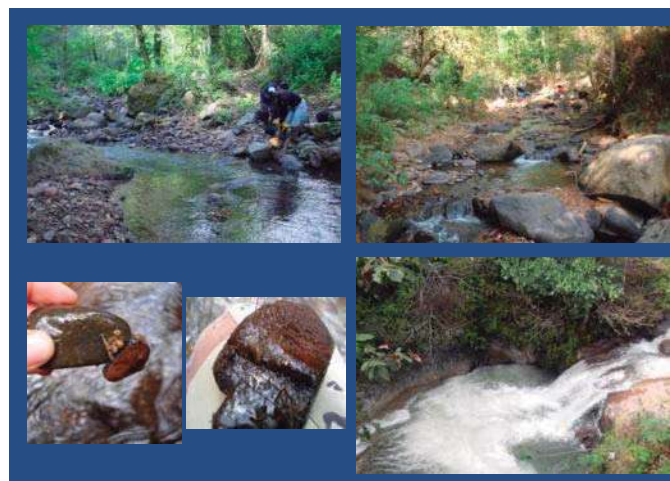
Sitio 9 “Río Paredones”

La evaluación reportó 170 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad óptima, en el cuadro 4.19, se muestran los valores de las variables evaluadas, encontrando alteración en tres de estas variables.

Cuadro 4.19. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 9 “Río paredones”

Sitio 9	
Sustrato Disponible	20
Embebimiento	18
Patrones Velocidad/Profundidad	19
Gradiente Sedimentación	15
Status del Flujo	20
Alteraciones del Canal	16
Frecuencia de Riffles	20
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 7 Der. 5
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 5
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 10 Der. 5
Calificación	170
Categoría (CAV)	Óptimo

La construcción del puente aguas abajo, las actividades de campismo, senderos, pesca deportiva, pastoreo y la red de energía eléctrica han afectado el ancho de la zona de vegetación riparia; aunado a esto, el desprendimiento de material de los taludes, ha permitido la entrada de partículas, modificando la vegetación ribereña. Todo esto ha provocado la erosión de la ribera derecha, modificando la capacidad de transporte de la corriente y la acumulación de sedimentos en el centro del cauce, así como en las orillas y en los estanques, encontrando a los materiales del cauce embebidos entre estos sedimentos. La vegetación de árboles y arbustos nativos permiten una calidad ambiental óptima y con ello proveen de hábitat a la fauna acuática (figura 4.33).

**Figura 4.33. Calidad del hábitat del sitio “Río paredones”**

Sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”

La evaluación reportó 182 puntos, lo que lo califica como un sistema de calidad óptima, en el cuadro 4.20, se muestran los valores de las variables evaluadas, las cuales por los valores obtenidos indican afectaciones mínimas al cauce.

Cuadro 4.20. Valores de los parámetros de calidad ambiental visual del sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”

Sitio 10	
Sustrato Disponible	18
Embebimiento	18
Patrones Velocidad/Profundidad	19
Gradiente Sedimentación	18
Status del Flujo	19
Alteraciones del Canal	19
Frecuencia de Riffles	18
Estabilidad Riberas (Izquierda/Derecha)	Izq. 9 Der. 9
Protección Vegetal Riberas(Izquierda/Derecha)	Izq. 8 Der. 9
Ancho Zona Riparia (Izquierda/Derecha)	Izq. 9 Der. 9
Calificación	182
Categoría (CAV)	Óptimo

La construcción del puente aguas arriba, las actividades de rapel, escaladas, red de energía eléctrica son las que de alguna forma están modificando la vegetación riparia y ribereña con efectos mínimos sobre la erosión de las riberas, la capacidad de transporte de los sustratos, la acumulación de sedimentos finos en las orillas del cauce. Lo que permite que haya heterogeneidad de sustratos disponibles (piedras, rocas grandes, troncos expuestos y sumergidos, ramas, etc.) que pueden ser colonizados por la fauna acuática. Todo esto indica que el impacto ocasionado es mínimo, conservando el equilibrio dinámico del cauce y su calidad ambiental. De acuerdo a Hughes, 1995 se trata de un sitio de referencia, ya que cuenta con una extensa vegetación riparia y ribereña natural, gran diversidad apropiada de sustratos, es un cauce naturalmente estructurado al igual que sus respectivas márgenes, con variaciones naturales del volumen de agua, con riberas estables (figura 4.34).

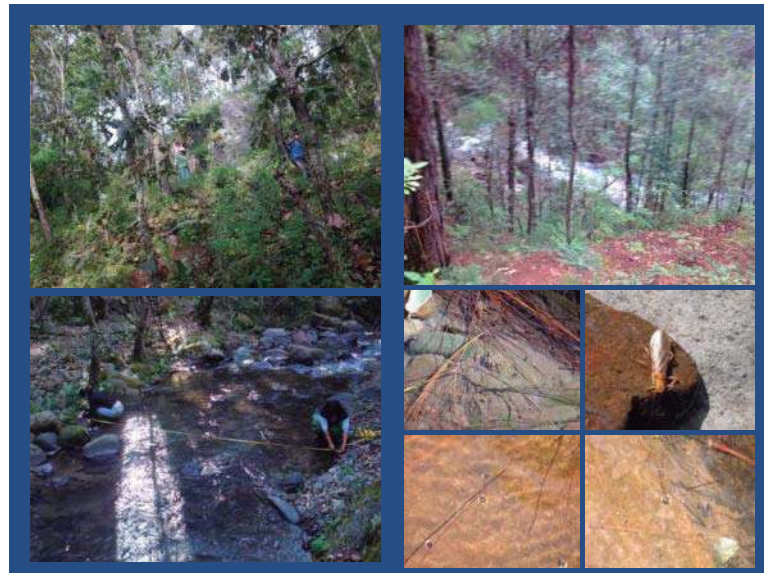


Figura 4.34. Calidad Ambiental Óptima del Sitio “Salida del cañón, el Oasis”

4.3 Índice de Calidad del Agua de los sitios en estudio.

4.3.1 Determinación del Índice de Calidad del Agua

Se utilizaron trece parámetros para la determinación del ICA con coeficientes de ponderación con valores de acuerdo a su importancia relativa en la calidad del agua se mencionan en el cuadro 4.21.

Cuadro 4.21. Coeficientes de ponderación en el cálculo del ICA.

Parámetro	Wi		Parámetro	Wi
pH	1.0		Fosfatos Totales	2.0
Turbiedad	0.5		Cloruros	1.0
Sólidos Disueltos	1.0		Oxígeno Disuelto	5.0
Conductividad Eléctrica	3.0		DBO	5.0
Alcalinidad	1.0		Coliformes Totales	3.0
Dureza Total	1.0		Coliformes Fecales	4.0
Nitrógeno de Nitritos	3.0			

En el caso en los que no existe un dato, se considera un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro al que corresponda en la evaluación del ICA.

El índice general está conformado por ecuaciones definidas para cada parámetro que proporcionan la calidad individual. Se presentan en el apéndice 4.

4.3.2 Variación espacial del índice de Calidad del Agua en los sitios de la red hidráulica superficial en estudio.

Los valores de ICA obtenidos permiten aseverar con base en el análisis de distribución de datos (valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar), que se encontró heterogeneidad (figura 4.35) en la, conductividad (CE), sólidos disueltos totales (TDS), dureza total (DUR T), turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales (COLF T) y fecales (COLF FEC), nitritos (NO₂), fosfatos (PO₄), alcalinidad (ALCALIN) y cloruros (CLORUROS), así como homogeneidad (figura 4.36) en los valores de temperatura de la muestra (T_m), potencial de hidrógeno (pH) y oxígeno disuelto (OD), como se observa en el cuadro 4.22; propiedades físicas, químicas y biológicas relacionadas con material suspendido, iónico, nutrientes, materia orgánica y bacteriológico; variación que tiene su explicación en esorrentía pluvial, la cantidad del caudal, las épocas de precipitación y estiaje.

Cuadro 4.22. Variables que muestran heterogeneidad y homogeneidad en sus valores

Núm. Variable	Variable	Valor mín.	Valor máx.	Prom \bar{x}	Desv Estándar (σ)
		Heterogeneidad			
1	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	40.000	531.000	128.280	161.530
2	TDS (mg/L)	0.000	300.000	85.000	93.330
3	DUR T (mg de CaCO_3/L)	0.129	1.070	0.527	0.310
4	TURBIDEZ (NTU)	5.100	5999.000	1599.900	2632.500
5	DBO ₅ (mg/L)	0.410	97.260	12.040	21.250
6	COLF T (NMP/100 mL)	0.000	2400.000	749.000	1113.000
7	COLF FEC (NMP/100 mL)	0.000	2400.000	722.250	1127.000
8	NO ₂ (mg/L)	0.002	0.510	0.080	0.143
9	PO ₄ (mg/L)	0.000	3.918	0.789	1.250
10	ALCALIN (mg/L)	11.740	222.020	64.900	61.890
11	CLORUROS (mg/L)	0.000	20.640	3.450	5.700
		Homogeneidad			
	T _m (°C)	8.460	21.700	15.570	4.210
12	Ph	6.620	8.780	7.760	0.720
13	OD (mg/L)	1.070	10.100	5.950	3.420

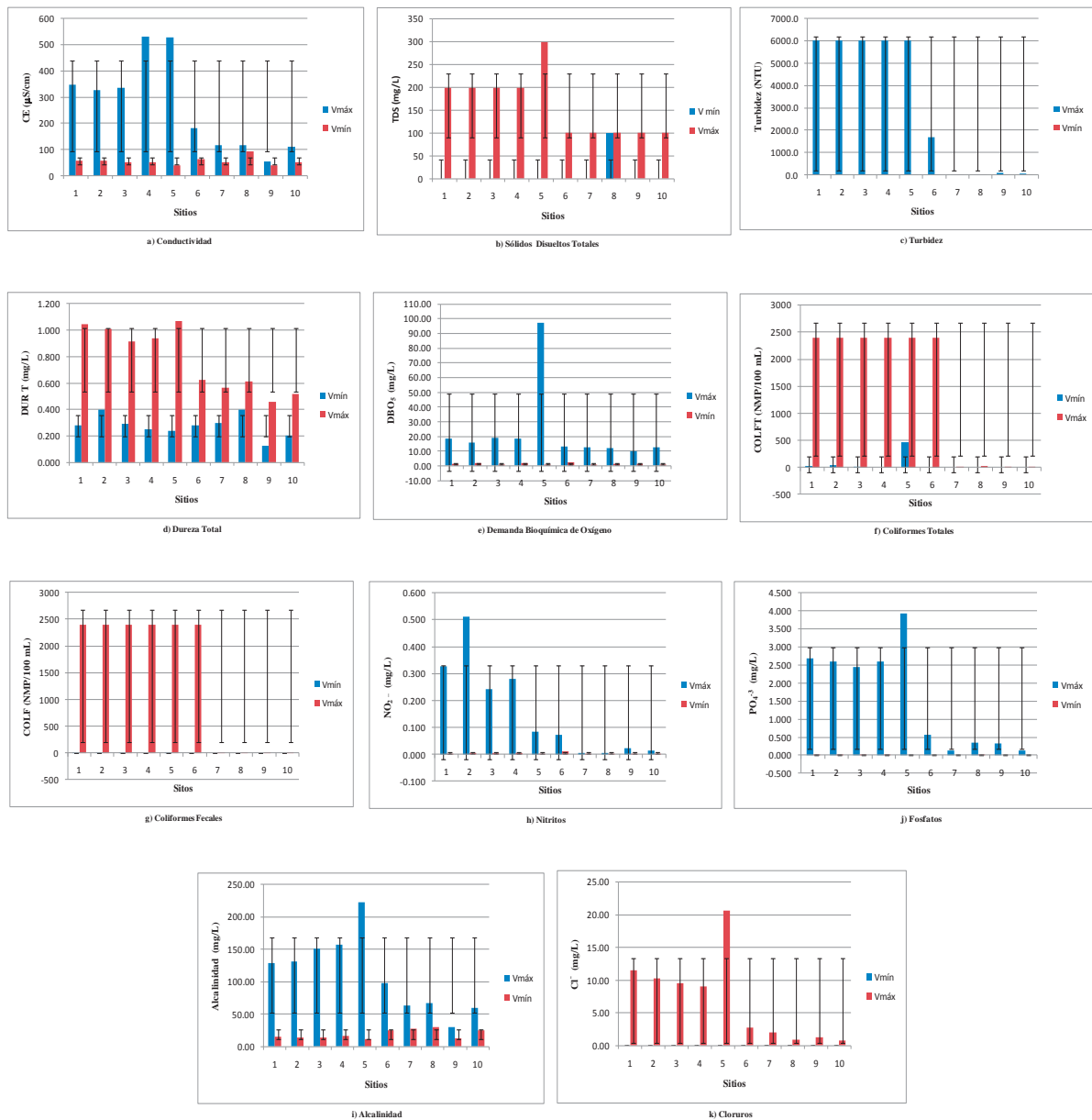


Figura 4.35. Gráficos de las variables que presentan heterogeneidad en sus valores

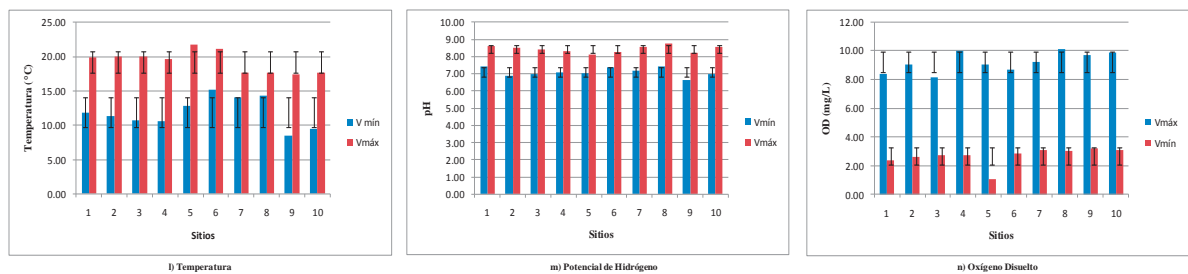


Figura 4.36. Gráficos de las variables que presentan homogeneidad en sus valores

La evaluación del índice de calidad del agua reportó en el análisis de distribución de datos valores: mínimo de 34.6, máximo de 90.3, promedio $\bar{\chi} = 65.0$ y desviación estándar $\sigma = 16.4$. Los valores más altos del ICA se presentaron en el mes de septiembre y agosto, mientras que los más bajos se reportaron en el mes de mayo. En la figura 4.37, se muestra la variación espacial del índice en los diez sitios de la columna de agua. Con valores promedios obtenidos de 74.6 para el sitio 8, de 79.1 para el sitio 9 y de 79.6 para el sitio 10, que son los que forman parte de la RH-18, clasificados como calidad aceptable; en los sitios restantes localizados en el límite del parteaguas y que forman parte de la RH-12, registraron valores promedios de 79.0 para el sitio 7 clasificado como calidad aceptable, de 64.6 para el sitio 6, de 57.2 para el sitio 4 y 2, de 57.4 para el sitio 1, clasificados en agua poco contaminada, en tanto que el valor de 53.2 que es el más bajo y que corresponde al sitio 5 lo clasifica dentro de esta misma calidad, con la observación de que tiende a calidad contaminada, sobre todo en los meses de estiaje.

Por ser estos resultados referidos a sitios conforme se recorre la columna de agua, las variaciones en los valores obtenidos, muestran la tendencia de la calidad del agua en forma espacial por lo que, los sitios 10, 9, 8 y 7 serían referentes por su calidad de agua como aceptable; los sitios 6, 4, 3, 2 y 1 los que tienden a recuperar sus condiciones de calidad y el sitio 5 degradado por las condiciones propias de influencia antropogénica.

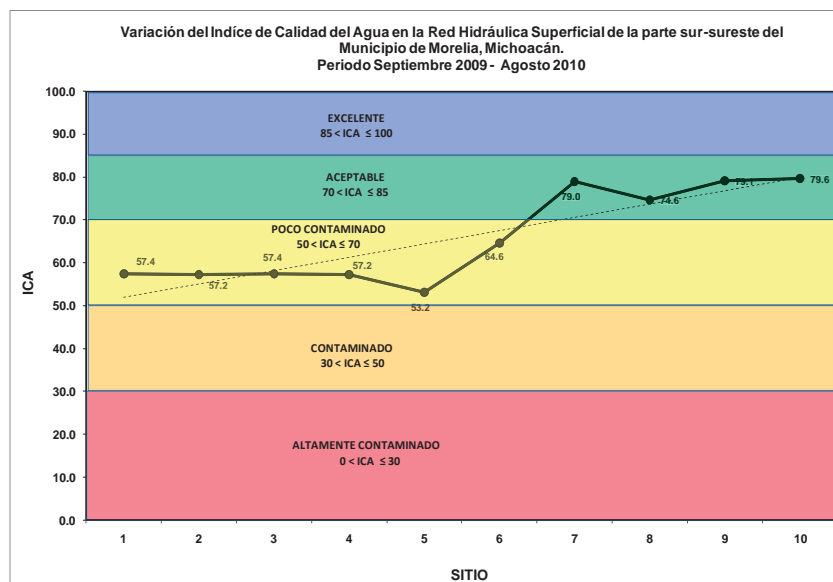


Figura 4.37. Variación espacial del ICA de la red hidráulica superficial de la parte sur-sureste de Morelia, Michoacán.

Los valores de ICA permiten establecer comparativos de calidad de agua de la red hidráulica superficial en estudio, como se muestra en la figura 4.54.

4.3.3 Variación temporal del Índice de Calidad del Agua en los sitios de la red hidráulica superficial en estudio.

El cálculo del ICA se realizó para cada uno de los sitios en los doce meses de monitoreo, considerando las épocas de estío (diciembre, enero, marzo, abril y mayo) y precipitación (septiembre, octubre, noviembre, febrero, junio, julio y agosto).

Los resultados mostraron que la calidad del agua fue modificada por factores estacionales, por los procesos de escorrentía y por la existencia de un periodo de recuperación de las dinámicas estacionales propias de los cauces. Los valores más bajos se tienen en el mes de mayo y el valor más alto en septiembre y agosto. En época de estiaje, donde el volumen de la descarga activa disminuye, la distribución temporal del ICA varía concentrando los contaminantes, como se observó en el sitio donde se tiene la descarga residual.

4.3.3.1. Clasificación de los sitios por su grado de contaminación e ICA procesado.

Sitio 1 “Las Viboritas”

De acuerdo al valor de ICA, clasifica a este cuerpo de agua como poco contaminado, se observa en la figura 4.38, una tendencia constante en la calidad del agua con valores que oscilan entre 65.1 y 52.3; en el análisis se contempla una variación para el mes de mayo que tiene un valor de 41.6 debido a que en la época de estiaje, los contaminantes tienden a concentrarse por la disminución en la columna de agua. Las actividades antropogénicas de acuerdo al estudio geomorfológico y de calidad ambiental visual, mostraron que las afectaciones a los sustratos y la condición de las riberas por disminución de la protección vegetal, están disminuyendo la capacidad de autodepuración del cauce, alterando también la calidad del agua. Este sitio al igual que los 4,3 y 2, reciben agua proveniente de la descarga residual del sitio 5. Sin embargo los

resultados permiten observar que estos cuerpos de agua tienden a recuperar su condición natural, como consecuencia de una autodepuración limitada por los impactos ocasionados a estos cauces.

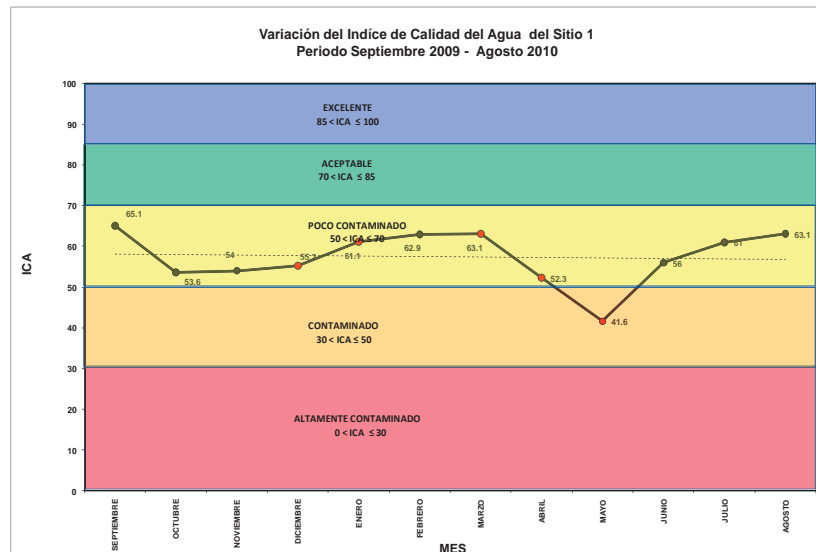


Figura 4.38. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Viboritas”

Sitio 2 “Aguas abajo de las adjuntas del río chiquito”

Se clasifica como un cuerpo de agua poco contaminado, ya que el valor de ICA tiene un promedio de 57.2, se observa el mínimo valor en mayo con 41.1 y el máximo en agosto de 66.8, mostrados en la figura 4.39. Estas observaciones son similares a las hechas en el sitio 1.

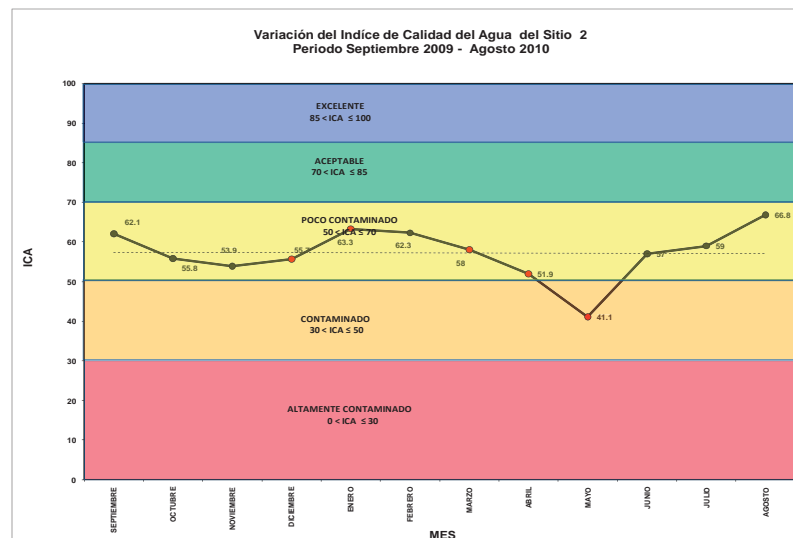


Figura 4.39. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio 2.

Sitio 3 “Golondrinas”

Es un cuerpo de agua clasificado como poco contaminado, con base en el ICA calculado, se tiene un valor promedio de 57.4 y en la figura 4.40 se observa, en el mes de septiembre el valor máximo de 67.5 con variaciones durante todo el año de muestreo hasta llegar nuevamente a un valor aceptable de 66.6 en la calidad del agua para el mes de agosto encontrándose nuevamente un valor mínimo de 46.8 en el mes mayo.

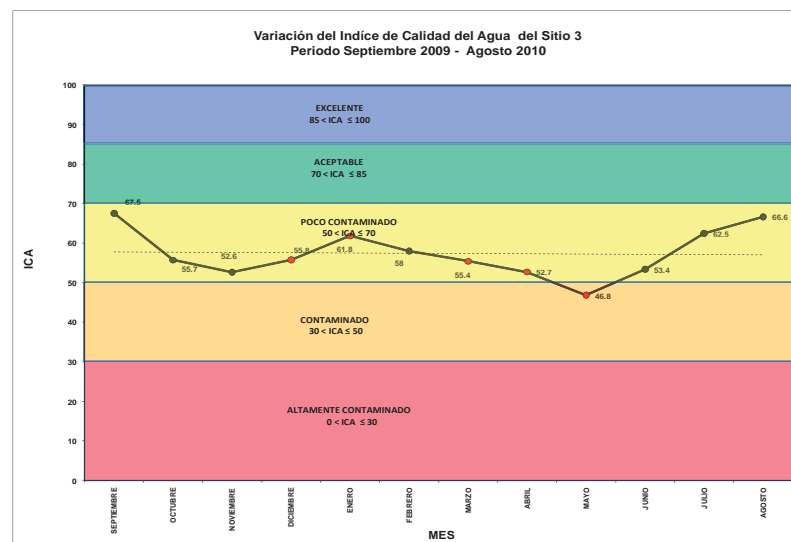


Figura 4.40. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Golondrinas”

Sitio 4 “Infonavit”

El ICA, lo clasifica como un cuerpo de agua poco contaminado, la figura 4.41 muestra una variación relativamente constante en la calidad del agua con un valor promedio de 57.2, el valor máximo y mínimo en el agosto y mayo respectivamente. Siendo este un sitio ubicado aguas abajo de la descarga del sitio 5, muestra una recuperación en forma general del cuerpo de agua.

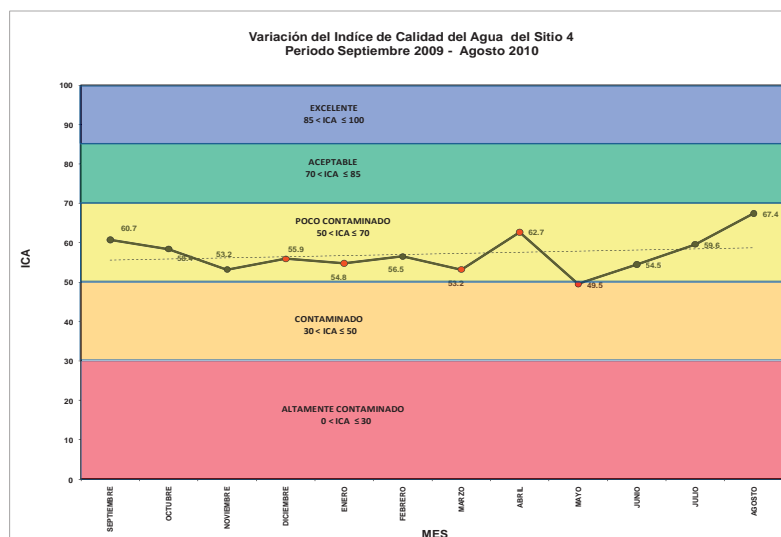


Figura 4.41. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Infonavit”

Sitio 5 “Descarga de río bello”

En este sitio es de importancia la interpretación de resultados por sus características propias, ya que se trata de la zona de mayor impacto a la columna de agua por descarga de aguas residuales domesticas y la transformación del cauce natural a un canal, esto último es de especial interés en el estudio puesto que muestra el efecto de la extracción de los substratos y la eliminación de la vegetación de las riberas, que en su conjunto alteran a los mecanismos de transporte, disminuyendo la capacidad de autodepuración del sistema. El valor de ICA, lo clasifica como un cuerpo de agua contaminado y se aprecia en la figura 4.42 valor máximo de 67.7 presentado en agosto y el mínimo de 34.6 en el mes de mayo con un valor promedio de 53.2. Estos datos muestran con claridad que el aumento en el caudal por afecto de las lluvias, contribuye a la dilución de los contaminantes; sin embargo es de destacar que la descarga de aguas arriba, donde se encuentran los sitios 6 y 7 es la fuente mayor de dilución.

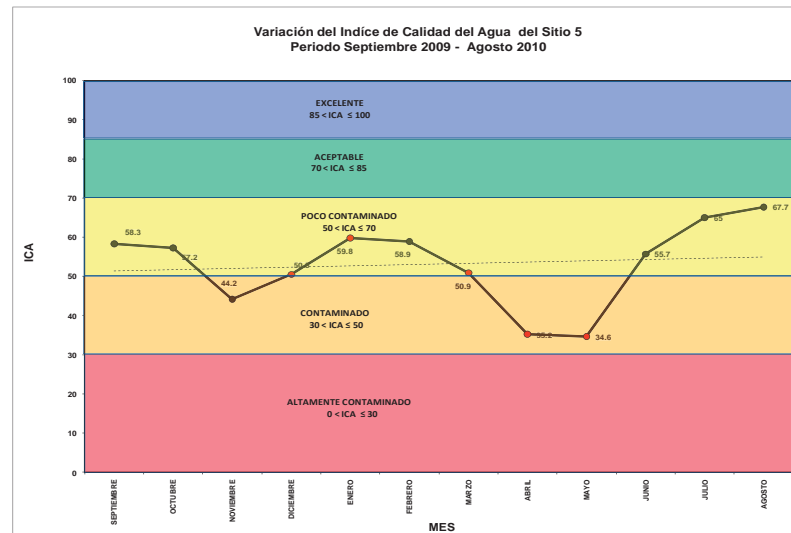


Figura 4.42. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Descarga de río bello”

Sitio 6 “Aguas arriba de la descarga de río bello”

La clasificación de este cuerpo de agua es como poco contaminado con valores de ICA presentados en la figura 4.43, con valor promedio de 64.6 que favorece en la recuperación de la calidad del cuerpo de agua, así en el mes de agosto se tiene el valor máximo de 79.5 y un valor relativamente bajo de 56.5 en el mes de mayo, sin embargo el valor mínimo de 53.6 lo presenta en el mes de junio. Este sitio se encuentra relativamente cercano al sitio de la descarga a solo 150 metros aproximadamente, sin embargo y a pesar de las intervenciones antropogénicas, con base en el estudio geomorfológico y de hábitat, los impactos no han afectado de manera significativa al cuerpo de agua, ya que tiende a recuperar sus condiciones de aceptable.

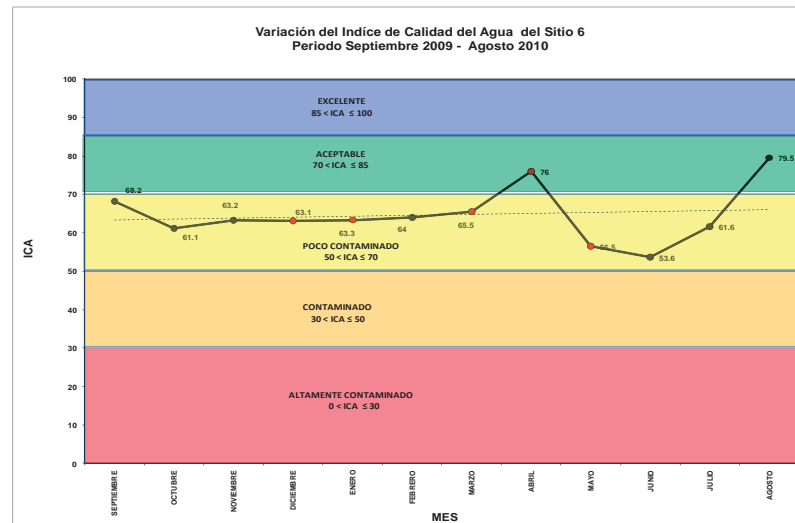


Figura 4.43. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Aguas arriba de la descarga de río bello”

Sitio 7 “Arroyo San Miguel”

Se clasifica como un cuerpo de agua aceptable y con tendencia a excelente, se observa en la figura 4.44 los valores obtenidos de ICA con un valor promedio de 79.0, para agosto se tiene el valor máximo de 90.3 el valor mínimo de 65.8 lo presenta en el mes de junio. Este sitio se ubica en la cabecera de la RH-12 en el límite del parteaguas en San Miguel del Monte, aun no muestra impactos que puedan alterar las condiciones en la calidad del cuerpo de agua.

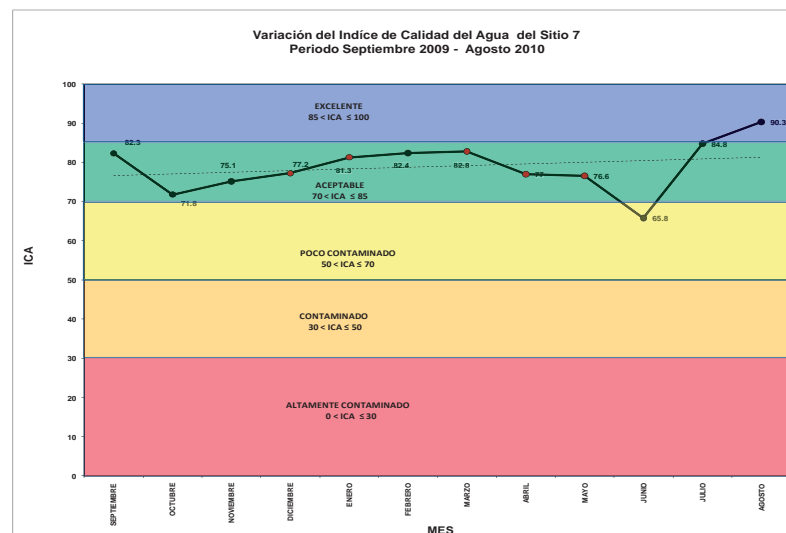


Figura 4.44. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Arroyo San Miguel”.

Sitio 8 “Venadario”

El sitio presenta un fenómeno particular, es clasificado como un cuerpo de agua aceptable con tendencia a excelente, se observa en la figura 4.45, una variación en la calidad del agua con un valor promedio de 74.6, los meses marzo, mayo y junio tienen valores por debajo del promedio puntualizando un 64.8 en junio. Este sitio se encuentra en la cabecera de la RH-18, en el límite del parteaguas que separa a las dos redes hidrológicas, la calidad del agua de acuerdo a los resultados, aun conserva sus condiciones físicas, químicas y biológicas, con características geomorfológicas y de calidad ambiental visual propias de sitios de referencia.

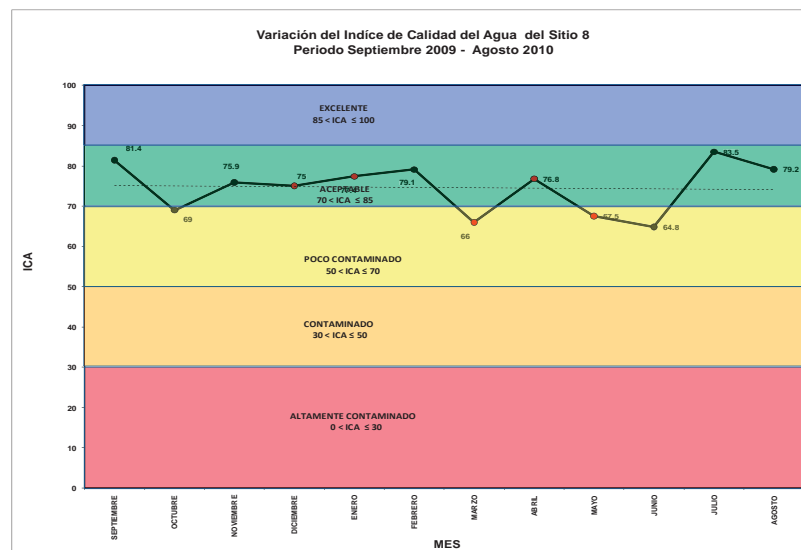


Figura 4.45. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Venadario”

Sitio 9 “Río Paredones”

Este cuerpo de agua se clasifica como aceptable, se observa en la figura 4.46, la variación de los valores de ICA promediando 79.1, con el valor mínimo de 70.4 en el mes de septiembre y el valor máximo de 89.9 en el mes de agosto, cabe mencionar que aun en los de mayor estiaje se conserva su calidad y tiende a pasar a excelente. El estudio geomorfológico y calidad del hábitat mostraron que aún son mínimas las actividades antropogénicas que pudieran alterar la calidad del agua. Las condiciones hidráulicas propias de la disipación de la energía del agua permiten la recuperación en general de las condiciones del sitio.

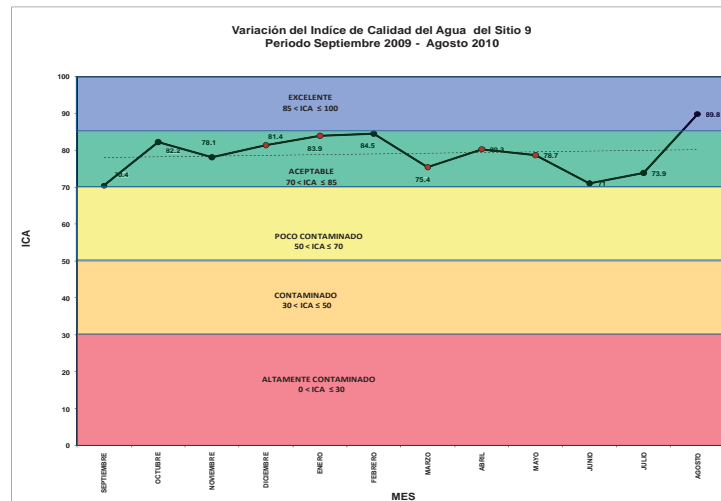


Figura 4.46. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Río Paredones”

Sitio 10 “Salida del cañón, el Oasis”

Finalmente la figura 4.47 muestra para el comportamiento de los valores del ICA en este sitio, una tendencia constante con un valor promedio de 79.6, mínimo de 66.4 en el mes de mayo, único valor bajo y que altera la calidad a poco contaminado, los demás valores oscilan dentro del intervalo de aceptable, el valor máximo de 88.1 corresponde a agosto, valor que eleva la calidad del agua hasta excelente. Las características que presenta corresponden a sitios de montaña que permiten, a través de su dinámica hidráulica, una mejor disipación de la energía propia de la actividad del agua, especial distribución de sustratos y estabilidad en la estructura de las riberas, por lo que los valores de ICA se aproximan a los de calidad excelente.

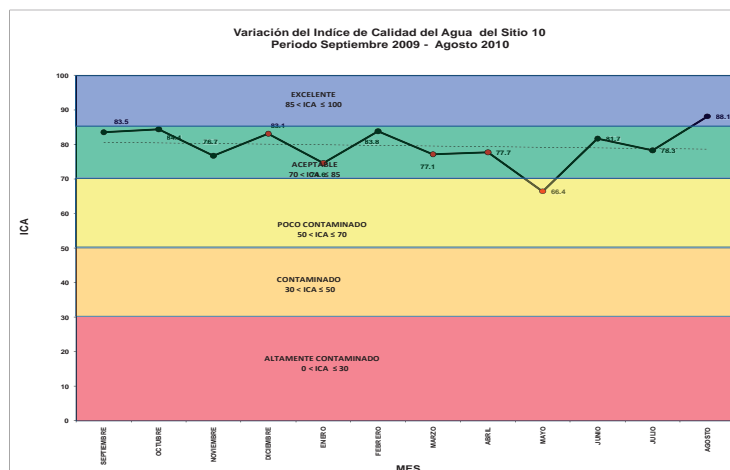


Figura 4.47. Variación temporal del Índice de Calidad del Agua del sitio “Salida del cañón, el Oasis”

4.4 Análisis Estadísticos

4.4.1 Procesamiento de la información recopilada de los diez sitios de la red hidráulica superficial de la parte sur-sureste del municipio de Morelia, Michoacán.

Se procesa la información recopilada en esta investigación con los paquetes estadísticos Jump JMP v. 6.0 (SAS Institute, 2005) y MultiVariateStatisticalPackage MVSP v. 3.2 (Kovach Computing Services, 1998), con la finalidad de encontrar posibles relaciones entre las variables del tipo de corriente del cauce, la calidad ambiental visual y la calidad del agua, que permitan conocer e integrar el conjunto de variables que en un modelo de gestión pueden ser consideradas.

Análisis de datos aberrantes

El análisis de datos aberrantes (Outliers), utilizando las distancias de Mahalanobis, mostró que 6 de las 120 muestras (figura 4.48) presentan valores en algunas de sus variables que hace considerarlos como un dato aberrante, esta son:

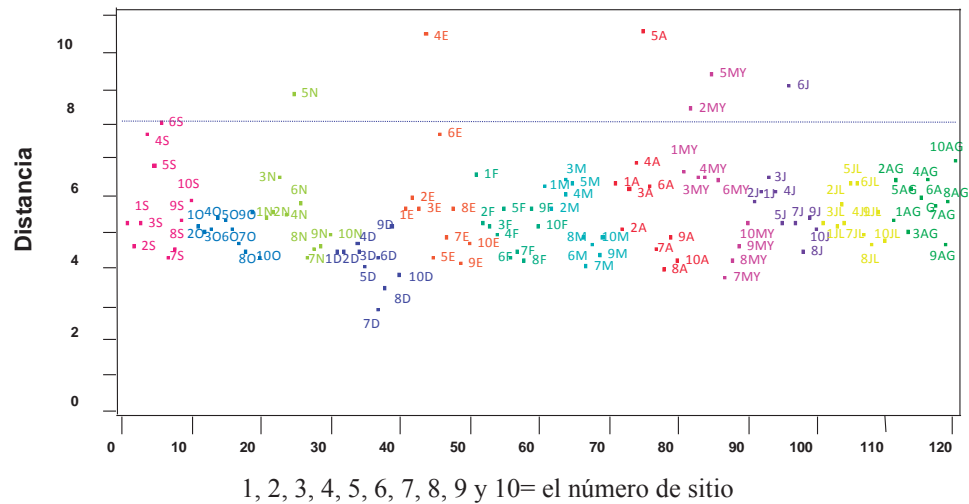
1. Coliformes totales y coliformes fecales, el intervalo de valores es entre 0 y 2400 NMP/100 mL; únicamente las muestras 4E, 5N, 5A, 5MY y 6J, presentaron valores de 2400, el resto de las muestras presentan valores inferiores a 1100; causa por la que se considera que las muestras indicadas tienen valores en este parámetro suficientemente elevados que los ubica fuera del patrón general para el total de las muestras.
2. Demanda bioquímica de oxígeno, su rango de valores es de 0.40 a 97.26 mg/L, la muestra 5A tiene el máximo y el valor más cercano a este es de 27.36, que corresponde al mismo sitio en el mes de mayo; por lo tanto 5A representa un dato aberrante para este parámetro.
3. Conductividad específica, se presentan valores entre 40.0 a 531.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$; las muestras 4E (531) y 5MY (527) son considerados datos aberrantes ya que el resto de datos se encuentran por debajo de los valores de 473.
4. Sólidos disueltos totales, su rango es de 0 a 300 mg/L, para este parámetro los datos aberrantes son las muestras 5A y 5MY que tienen valores de 300, el valor del resto de las muestras son inferiores a 200.
5. Salinidad, que va de 0 a 0.25 UPS, la mayoría de datos son valores inferiores a 0.1 la excepción fue el dato de 5MY con 0.25 y 5A 0.23, por lo que se datos aberrantes.

6. Dureza total, sus valores están limitados entre 0.13 y 1.07 mg CaCO_3/L , la muestra 5MY tiene un valor de 1.07 y 1.05 que lo presenta 1MY, el resto de los datos tienen valores inferiores a 0.99.
7. Dureza de calcio, que va 0 a 0.968 mg CaCO_3/L , la muestra 5N fue la del valor más alto de 0.968, el resto de las muestras tienen valores inferiores a 0.68.
8. Nitritos, con rango entre 0.0018 y 0.51 mg/L; la muestra 2MY tiene el valor máximo de 0.51 y el resto de las muestras tienen valores menores de 0.327.
9. Fosfatos, la muestra 5MY con un valor de 3.91 es considerada un dato aberrante ya que el resto de las muestras tienen valores inferiores a 2.68. Para este parámetro su rango es de 0.0 a 3.918 mg/L
10. Acidez, sus valores se encuentran entre 0 a 44.81 mg/L, para este parámetro los datos aberrantes son la muestra 5MY y 5A que tienen valores superiores a 23.161 que es el límite del comportamiento de la mayoría de datos.
11. Alcalinidad, para este parámetro son considerados datos aberrantes 5MY y 5A que presentan de 222.02 y 194.08 respectivamente; el rango es de 11.74 a 222.02 mg/L y el comportamiento de la mayoría de los datos tiene valores inferiores a 157.15.
12. Cloruros, que va de 0 a 20.63 mg/L, los datos para 5MY y 5A tienen los valores más altos 20.63 y 17.36 respectivamente, en tanto que los demás sitios tienen valores inferiores a 11.57.
13. Tasa de confinamiento, con valores entre 1 y 2.15, el dato para 4E es máximo de 2.15. Esta variable tiene que ver con el aumento o disminución del área de inundación.
14. Flujo, sus valores oscilan entre 0.003 a 4.34 m^3/s , la muestra 6J es la que presenta el valor de 4.34 por lo tanto se considera dato aberrante.
15. Diámetro promedio de las partículas del sedimento D_{50} , cuyos valores están entre 24 y 192, el dato aberrante es el valor de 6J que presenta el valor de 192.

De acuerdo a los valores máximos de las muestras estadísticas que se encuentran dentro del área de decisión como valores aberrantes, son aquellos que en repetidas veces tienen los valores extremos, como se muestra en la figura 4.46 que representa el análisis de Outliers, los datos que corresponden al sitio de descarga de aguas residuales y los sitios cercanos a él durante el periodo de máximo estío 5A, 5MY y 2MY, así como 5N, 4E y 6J son los que se alejan del

comportamiento del conjunto. Por lo que estos datos aberrantes son el reflejo del impacto por contaminación.

De forma general se explica que en el periodo de precipitación se presenta el fenómeno de mayor dilución de contaminantes, mientras que para el periodo de estiaje el flujo disminuye por lo que los contaminantes se encuentran más concentrados.



S=septiembre, O=octubre, N=noviembre, D=diciembre, E=enero, F=febrero, M=marzo, A=Abril, MY=mayo,
J=junio, JL=julio y AG=agosto

Figura 4.48. Gráfico del análisis de Outliers

Análisis de normalidad de datos

En la figura 4.49, se muestran a las variables que presentaron distribución normal: temperatura de la muestra (Tagua), potencial de hidrógeno (pH), dureza total (DUR T), saturación de oxígeno (%OD) y el índice de calidad del agua (ICA), el resto de parámetros no presentaron dicha distribución. Para los datos que requirieron de ajuste a la distribución, se utilizaron datos estandarizados, en tanto que los análisis multivariados subsecuentes se realizaron con herramientas no paramétricas.

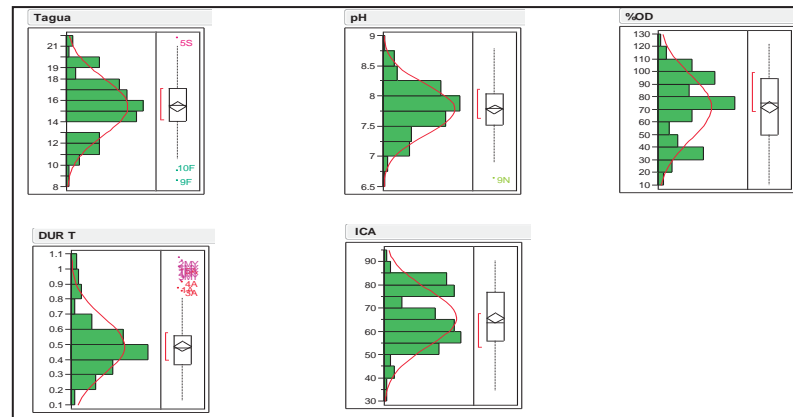


Figura 4.49. Gráficos de Distribución normal

Análisis de correlación de datos

a) Correlación paramétrica de Pearson

Con el coeficiente de correlación de $r > 0.7$ considerando un valor de significancia $p < 0.05$ y un conjunto de 42 muestras, este análisis mostró una correlación significativa en distintas combinaciones, esta son:

- CE TDS(0.7915) SAL(0.9083) PO4(0.8307) ALCALIN(0.833) DURT(0.8333)
DURCa(0.7154) CLORUROS(0.7982)
- TDS SAL(0.8386) PO4(0.736) ALCALIN(0.8028) DURT(0.7988) CLORUROS(0.7205)
- SAL PO4(0.9067) ALCALIN(0.9096) DURT(0.9009) DURCa(0.7829) CLORUROS(0.8909)
ICA(-0.7141))
- OD %OD(0.908)
- PO4 ALCALIN(0.8346) DURT(0.8282)
- ALCALIN DURT(0.8618) DURCa(0.7544) CLORUROS(0.8853)
- DURT DURCa(0.7971) CLORUROS(0.786)
- COLF T COLF FEC(0.8595)
- SustDisp Embto(0.9455) PratVel/Prof(0.9374) GradSedim(0.7146) Statusflujo(0.8288)
AlterCanal(0.8796) FrecRiffles(0.9607) EstRib(I/D)(0.7304) ProtVegRib(I/D)(0.7511)
AZRiparia(I/D)(0.8752) Calif(0.9477)
- Embto PratVel/Prof(0.9744) GradSedim (0.7664) Statusflujo(0.8624) AlterCanal(0.9466)
FrecRiffles(0.9544) EstRib(I/D)(0.7735) ProtVegRib(I/D)(0.7735)
AZRiparia(I/D)(0.8775) Calif(0.9718)

- PatrVel/prof GradSedim (0.713) Statusflujo(0.8341) AlterCanal(0.9233) FrecRiffles(0.9589)
EstRib(I/D)(0.7021) AZRiparia(I/D)(0.8181) Calif(0.9353)
- GradSedim Statusflujo(0.9391) FrecRiffles(0.7484) EstRib(I/D)(0.7491) ProtVegRib(I/D)(0.7836)
- StatusFlujo AlterCanal(0.7495) FrecRiffles(0.8597) (0.8181) Calif(0.9353)
- AlterCanal FrecRiffles(0.9301) EstRib(I/D)(0.8394) ProtVegRib(I/D)(0.7996)
AZRiparia(I/D)(0.9388) Calif(0.9478)
- FrecRiffles EstRib(I/D)(0.7447) ProtVegRib(I/D)(0.7285) AZRiparia(I/D)(0.8766) Calif(0.9631)
- EstRib(I/D) ProtVegRib(I/D)(0.9333) AZRiparia(I/D)(0.8528) Calif(0.8629)
- ProtVegRib(I/D) AZRiparia(I/D)(0.8757) Calif(0.8612)
- AZRiparia(I/D) Calif(0.9188)
- ARM AAI(0.8589)
- MaxProf AAI(0.765)
- AAI Pendiente(0.393)

La variable CE es la que muestra correlación con siete de las variables fisicoquímicas: TDS, SAL, PO₄, ALCALIN, DURT, DURCa y CLORUROS. El OD con %OD, COLF T con COLF FEC. La variable Substrato disponible (SustDisp) se relaciona con las diez variables restantes de calidad ambiental: embebimiento (Embto), patrón velocidad/Profundiad (PratVel/Prof), gradiente de sedimentación (GradSedim), status del flujo (Statusflujo), alteración del canal (AlterCanal), frecuencia de riffles (FrecRiffles), estabilidad de las riberas izquierda/derecha (EstRib(I/D)), protección de la vegetación ribereña izquierda/derecha (ProtVegRib(I/D)), ancho de la zona riparia izquierda/derecha (AZRiparia(I/D)) y calificación (Calif). En cambio las variables geomorfológicas se relacionan de una a una, es decir, el ancho de la ribera máxima (ARM) con ancho del área de inundación (AAI), profundidad media (ProfMed) con máxima profundidad (MaxProf), MaxProf con AAI y AAI con la pendiente.

b) Correlación No paramétrica de Spearman

Debido a que no todas las variables presentan distribución normal, el análisis de redundancia, se complementó con análisis de correlación no paramétrica, utilizando el coeficiente de correlación de Spearman ($r > 0.7$) con un nivel de significancia $P < 0.05$. Las variables que guardaron valor de correlación significativa (cuadro 4.23) fueron: TDS, SAL, %OD, SO₄, PO₄, ALCALIN, DUR T, DUR Ca, COLF TOT, COLF FEC, Embto, PratVel/Prof, StatusFlujo, AlterCanal, FrecRiffles, EstRib(I/D), ProtVegRib(I/D), AZRiparia(I/D), Calif, MaxProf, AAI, TasaConfn, Pendiente, Sinuosidad e ICA; el análisis se continuo realizando hasta reducir la matriz de datos,

considerando que existen variables que ofrecen la misma información como son: OD y %OD, PO₄ y NO₂, PatrVel/Prof y EstRib(I/D), protVegRib(I/D) y AZRiparia(I/D), sin embargo existen otras variables que en el análisis pareciera ofrecen la misma información sin ser así, puesto que explican fenómenos distintos, en este caso se encuentran SAL y CE, CLOR y SAL de tal forma que se eligieron las que por su importancia significativa (con una significancia $P < 0.0001$) describen al universo de datos disponibles como: TDS con CE (0.7881), SAL con CE (0.9587), SAL con TDS (0.7874), PO₄ con CE (0.7878), PO₄ con TDS (0.704), PO₄ con SAL (0.8003), ALCALIN con CE (0.7909), ALCALIN con TDS (0.712), ALCALIN con SAL (0.7843), DUR T con CE (0.8192), DUR T con TDS (0.7129), DUR T con SAL (0.8441), DUR T con ALCALIN (0.7561), FrecRiffles con COLF FEC (-0.7833), FrecRiffles con SustDisp (0.8385), ARM con MaxProf (0.7052), ICA con PO₄ (-0.7357), ICA con NO₂ (-0.7151), ICA con COLF FEC (-0.8101), ICA con FrecRiffles (0.7671).

Cuadro 4.23. Variables correlacionadas conforme al coeficiente de correlación de Spearman

Correlación No paramétrica			
Variable	by Variable	Spearman ρ	Prob> ρ
TDS	CE	0.7881	<.0001
SAL	CE	0.9587	<.0001
SAL	TDS	0.7874	<.0001
PO ₄	CE	0.7878	<.0001
PO ₄	TDS	0.704	<.0001
PO ₄	SAL	0.8003	<.0001
ALCALIN	CE	0.7909	<.0001
ALCALIN	TDS	0.712	<.0001
ALCALIN	SAL	0.7843	<.0001
DUR T	CE	0.8192	<.0001
DUR T	TDS	0.7129	<.0001
DUR T	SAL	0.8441	<.0001
DUR T	ALCALIN	0.7561	<.0001
FrecRiffles	COLF FEC	-0.7833	<.0001
FrecRiffles	SustDisp	0.8385	<.0001
FLUJO	ALCALIN	-0.6987	<.0001
ProtVegRib(I	SustDisp	0.6926	<.0001
FrecRiffles	COLF FEC	-0.7833	<.0001
FrecRiffles	SustDisp	0.8385	<.0001
FLUJO	ALCALIN	-0.6987	<.0001
ProtVegRib(I	SustDisp	0.6926	<.0001
ARM	MaxProf	0.7052	<.0001
ICA	PO ₄	-0.7357	<.0001
ICA	NO ₂	-0.7151	<.0001
ICA	COLF FEC	-0.8101	<.0001
ICA	FrecRiffles	0.7671	<.0001

Análisis de varianza de una sola vía (ANOVA)

Este análisis permitió observar la variación propia de cada variable en los sitios con distinto grado de contaminación (óptima, subóptima y pobre). La hipótesis nula supone que las variables

tienen valores diferentes y que esta sea estadísticamente significativa; encontrándose que Tagua, pH, %OD, turbidez y flujo por su valor de probabilidad $< F$ 0.05, no muestran diferencias estadísticamente significativas entre los sitios y el total de la muestras (cuadro 4.24).

Cuadro 4.24. Análisis de varianza de una sola vía (ANOVA)

ANÁLISIS ANOVA Prob > F 0.05		
	<i>se acepta</i>	<i>se rechaza</i>
Variable	Prob > F	
Tagua		0.0917
pH		0.4166
CE	0.0001	
TDS	0.0001	
SAL	0.0001	
OD	0.0059	
%OD		0.0832
TURBIDEZ	0.0001	
DBO5	0.0006	
SO4	0.0001	
PO4	0.0001	
NO2	0.0001	
ACIDEZ	0.0001	
ALCALIN	0.0401	
DUR T	0.0001	
DUR Ca	0.0001	
DUR Mg	0.0228	
CLORUROS	0.0001	
COLF T	0.0001	
COLF FEC	0.0001	
FLUJO		0.5804
SustDisp	0.0001	
Embto	0.0001	
PatrVel/prof	0.0001	
GradSedim	0.0001	
SatatusFlujo	0.0001	
AlterCanal	0.0001	
FrecRiffles	0.0001	
EstRib(I/D)	0.0001	
ProtVegRib(I/D)	0.0001	
Calif	0.0001	
ARM	0.0001	
ProfMed	0.0004	
Tasa A/P	0.0001	
MaxProf	0.0001	
AAI	0.0001	
Tasa Conf	0.0045	
Pend	0.0001	
Sinuosidad	0.0001	
D50	0.0001	
ICA	0.0001	

También se obtuvieron las variables que mostraron diferencia significativa: CE, TDS, SAL, TURBIDEZ, SO₄, PO₄, NO₂, ACIDIDEZ, DUR T, DUR Ca, CLORUROS, COLF TOT, COLF FEC, SustDisp, Embto, PratrVel/prof, GradSedim, StatusFlujo, AlterCanal, FrecRiffles, EstRib(I/D), ProtVegRib(I/D), Calif, ARM, Tasa A/P, MaxProf, AAI, Pendiente, Sinuosidad, D₅₀ e ICA, con un valor de Probabilidad $F > 0.0001$; OD con Probabilidad $F > 0.0059$; ALCALIN Probabilidad $F > 0.0401$; DBO₅ con Probabilidad $F > 0.0006$; DUR Mg con Probabilidad $F > 0.0228$; ProfMed con Probabilidad $F > 0.0004$ y Tasa Conf con Probabilidad $F > 0.0045$ (cuadro 4.23).

Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

Este método permitió encontrar las variables que proporcionaron un nivel de significancia global con una Probabilidad $F > 0.05$. La figura 4.50, muestra las que variables que separaron mejor la condición de calidad ambiental visual de los sitios fueron: CLORUROS, COLF TOT, COLF FEC, SustDisp, Embto, PatrVel/Prof, GradSedim, StatusFlujo, AlterCanal, FrecRiffles, EstRib(I/D), ProtVegRib(I/D), AZRiparia(I/D), Calif, MaxProf, AAI, Pendiente, D_{50} , ICA, también las variables que combinan la condición de categorización de los sitios fueron: Tagua, pH, CE, TDS, OD, %OD, TURB, DBO5, SO_4 , PO_4 , NO_2 , ACIDEZ, ALCALIN, DUR T, DUR Ca, DUR Mg, FLUJO, ARM, ProfMed, Tasa A/P, TasaConf y Sinuosidad.

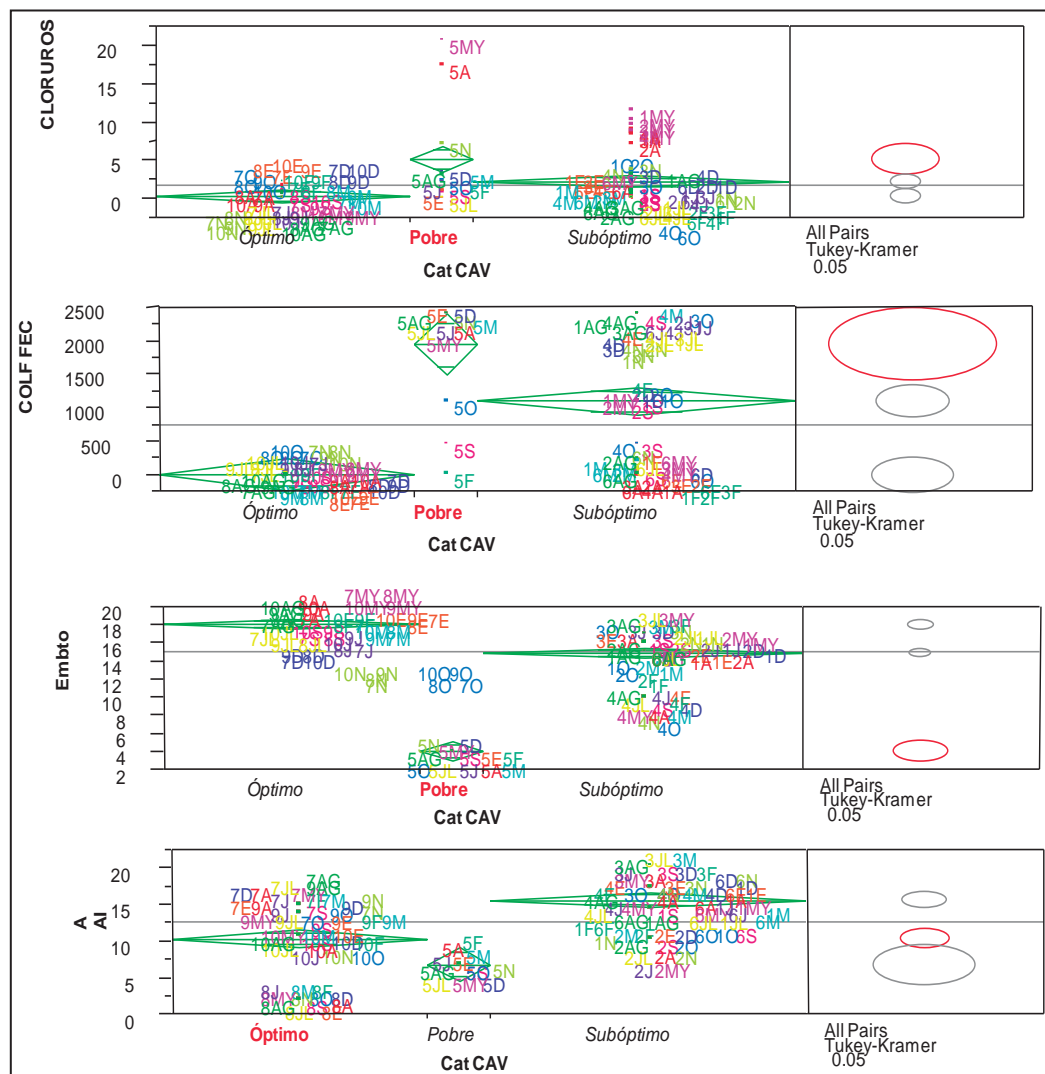


Figura 4.50. Prueba de Tukey-Kramer de las variables que mejor separaron las categorías de la calidad ambiental predicha por el CAV.

Análisis de ordenamiento, con el método de Componentes Principales (ACP).

Para este análisis, se tomaron en cuenta las variables que mejor separaron a la condición de calidad ambiental visual y también las que por su condición describieron al universo de datos disponibles como fueron: CE, TDS, DBO5, PO4, ALCALIN, DUR T, CLORUROS, COLIFEC, SustDisp, Embto, PatrVel/Prof, AlterCanal, FrecRiffles, MaxProf, AAI y D₅₀. En su conjunto los valores de estas variables permitieron explicar en tres componentes el 81.4% de la variación entre las muestras (Cuadro 4.25). El primer componente con un porcentaje de 50.30%, de explicación se integró por CE, SAL, PO4, ALCAL, CLORUROS de manera positiva y la FrecRiffles de manera negativa; el segundo componente que acumula hasta el 70.87% de la explicación de la varianza estuvo constituido por Embto, PratVel/Prof y AlterCanal de manera positiva y el tercer componente estuvo compuesto por MaxProf y AAI de manera positiva acumulando un porcentaje de 81.40% de la variación entre las muestras estadísticas.

Cuadro 4.25. Análisis de ordenamiento ACP.

Componentes Principales			
Eigen Valor	8.5527	3.4969	1.7897
Porcentaje	50.3097	20.57	10.5276
Porcentaje acumulado	50.3097	70.8797	81.4074
Eigen vectores			
CE	0.28578	0.21041	0.03908
TDS	0.26743	0.20737	-0.06728
SAL	0.2984	0.23668	-0.00617
DBO5	0.21615	0.13803	-0.0007
PO4	0.27166	0.23626	0.06232
ALCALIN	0.27388	0.27246	-0.08103
DUR T	0.26751	0.25877	-0.02577
CLORURO S	0.28316	0.21995	0.03917
COLFEC	0.16297	-0.22499	0.22883
SustDisp	-0.2635	0.30435	-0.05495
Embto	-0.26233	0.31934	-0.05699
PatrVel/Prof	-0.26469	0.32604	0.03535
AlterCanal	-0.23953	0.32207	-0.14521
FrecRiffles	-0.27162	0.30952	-0.0515
Maxprof	-0.11386	0.08926	0.6272
AAI	-0.02934	0.11577	0.69614
D50	-0.17506	0.14083	-0.14015

En el gráfico de la figura 4.51, se muestra en el espacio tridimensional la diferencia multivariada de las variables que agruparon a los sitios del área en estudio, mostrando el sentido en que se presenta la degradación de acuerdo a la calidad ambiental visual, la cual va de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba; por lo tanto las variables que agrupan a las muestras que tienden a la degradación fueron: ALCALIN, CE, DUR T, PO4, TDS, SAL, CLORUROS, DBO5 Y COLF FEC; y las variables que agrupan a las muestras estadísticas que tienden a la agradación fueron: SustDisp, Embto, PatrVel/Prof, AlterCanal, FrecRiffles, Maxprof, AAI y D50.

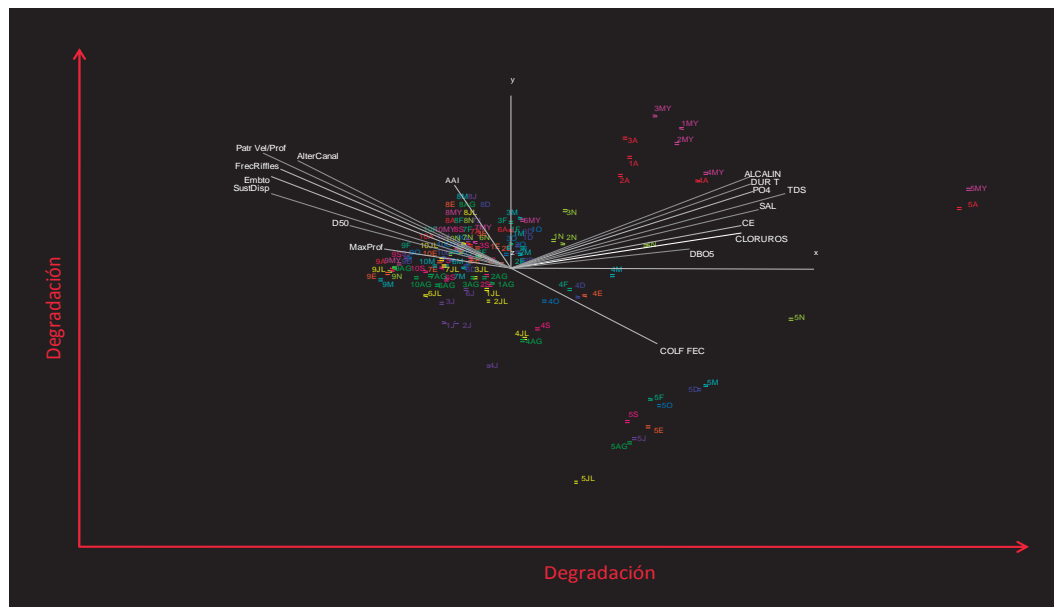


Figura4.51. ACP de los sitios de la red hidráulica en estudio en el espacio multivariado

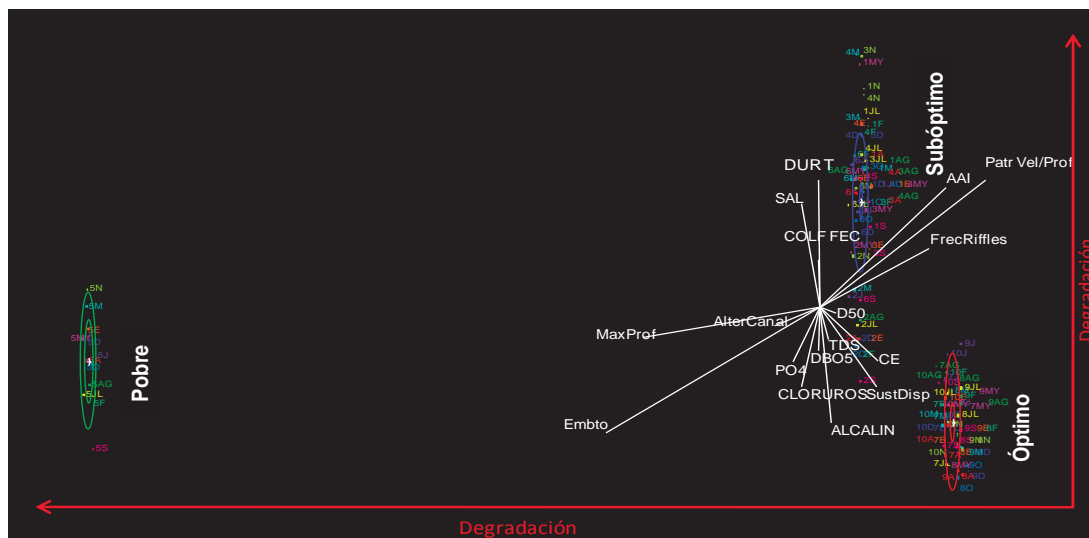
Análisis de discriminantes

Este análisis permite clasificar las muestras dentro del universo de datos en grupos excluyentes considerados de acuerdo a la categoría de calidad: óptimo, subóptimo y pobre. De tal forma que de acuerdo al número de muestras mal clasificadas y el porcentaje de esta clasificación, se detecta el por qué de las diferencias para así proponer una nueva reclasificación, en caso de ser necesaria con base en la investigación realizada. En este caso se descartó una nueva reclasificación ya que el porcentaje de mala clasificación fue nulo respecto a su categorización de degradación (cuadro 4.26).

Cuadro 4.26. Análisis de discriminantes de acuerdo a la condición por sitios.

Análisis de Discriminantes			
Número de muestras mal clasificadas			0
Porcentaje de muestras mal clasificadas			0
<i>Filas actuales por columnas predichas</i>			
	Óptimo	Pobre	Subóptimo
Óptimo	48	0	0
Pobre	0	12	0
Subóptimo	0	0	60

En el gráfico de la figura 4.52, se observa que la mayoría de las muestras están consideradas dentro del 90% y 50% de probabilidad de aceptación de acuerdo a las 18 variables consideradas y a la condición de degradación del sitio la cual va de derecha a izquierda y de abajo hacia arriba. Se observa también el agrupamiento de condición óptima de la mayor parte de las muestras que corresponden a los sitios 7, 8, 9 y 10, ordenado por las variables: CE, DBO5, TDS, PO4, CLORUROS, ALCALIN, SustDisp y D50; el agrupamiento de condición subóptima que incluye la mayoría de las muestras de los sitios 1, 2, 3, 4 y 6, ordenado por las variables: DUR T, SAL, COL FEC, FrecRiffles, PatrVel/Prof y AAI; el agrupamiento de condición pobre que incluye las muestras del sitio 5, ordenado por las variables: AlterCanal, MaxProf y Embto; observando que las muestras de este sitio tienden a alejarse de la calidad subóptima y óptima, ya que se trata del sitio que presenta la descarga residual doméstica; en cambio la calidad subóptima y óptima tienden a estar juntas, no tan lejanas, lo que indica que los sitios que forman estos grupos se encuentran en condiciones casi iguales en cuanto a su calidad.

**Figura4.52. Ordenamiento de los sitios del área de estudio por su categorización (análisis de discriminantes)**

Análisis de agrupamiento (Cluster), por el método de Ward

Para realizar este análisis se consideraron las variables que en los análisis de componentes principales y discriminantes, mostraron ser las más explicativas para definir la variación entre los sitios. Se hizo de esta manera con la finalidad de que este análisis permitiera a través de distancias interpretar los ejes principales, determinando la jerarquía de los conglomerados o grupos que en este caso resultaron ser tres similares entre sí, y disimilares del resto (figura 4.53). El primer grupo encontrado incluye las muestras estadísticas de los sitios 1, 3, 4 y 6; así como la muestra de noviembre del sitio 2 que tienen calidad subóptima. Es notable que el sitio 2, de calidad subóptima se agrupa en el extremo del grupo dos que se encuentra en el límite de los grupos uno y dos, esto ocurre porque a pesar de tratarse de un sitio de calidad subóptima, la condición general del cauce permite que los valores de las variables fisicoquímicas sean similares al sitio 7 de calidad óptima, que es el de mejor calidad dentro de la misma corriente. Lo anterior, puede ser atribuido a la dilución de sustancias por el efecto del aumento de la descarga activa sobre todo en los meses de precipitación, observándose también que se aproxima a la calidad del sitio mejor conservado de acuerdo a los resultados geomorfológicos, de calidad ambiental y calidad del agua, de la misma red hidrológica RH-12.

El segundo grupo lo integran los sitios 7, 8, 9 y 10 que calificaron de acuerdo a la geomorfología, calidad del hábitat y calidad del agua como calidad óptima, que por los resultados obtenidos sus características pertenecen a sitios de referencia. El tercer grupo está integrado por las muestras del sitio 5 que corresponde a calidad pobre, lo cual coincide con las evaluaciones geomorfológicas, de calidad ambiental y del agua, atribuido a la descarga residual que recibe este cuerpo de agua que es el degradado en su calidad. Además en este grupo también quedan incluidas las muestras (1A, 1 MY, 3A, 3MY, 4A y 4MY), ya que se aproximan a las condiciones de la columna de agua que presenta el sitio 5. Esto debido a que en los meses de estío, la descarga activa disminuye, concentrando las sustancias presentes en estos cuerpos de agua, además de que estos sitios son los que reciben el flujo de agua proveniente de la descarga residual.

Este agrupamiento es semejante al que obtuvo en el análisis de componentes principales, con lo cual se ratificó que las variables que mejor agrupan a los sitios por su calidad, son las mismas que se consideraron en dicho análisis.

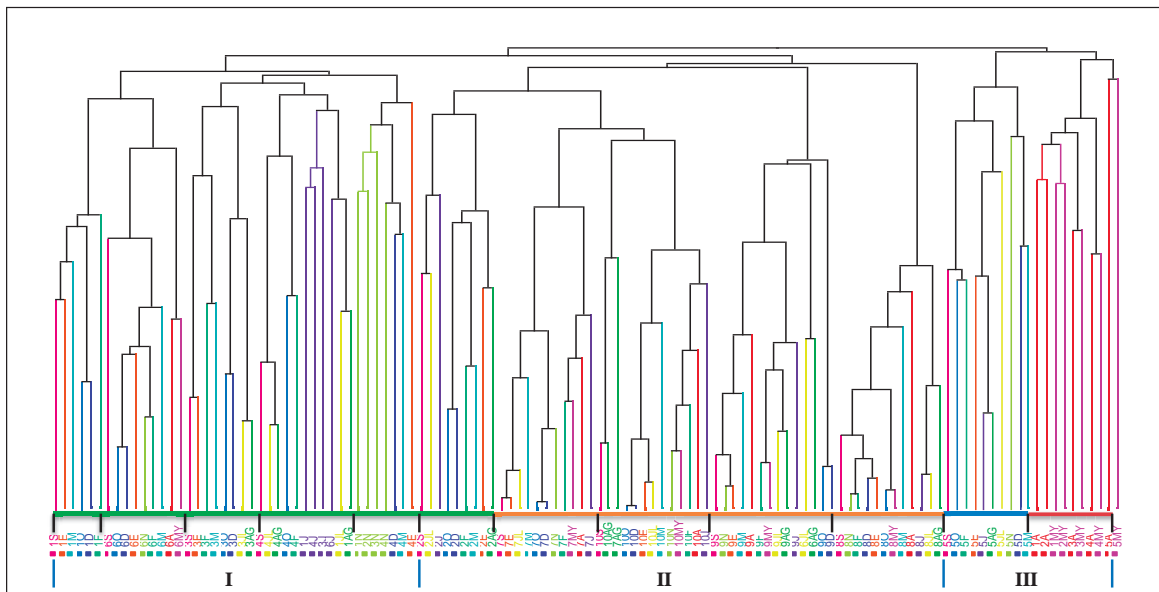


Figura 4.53. Diagrama de agrupamiento Cluster (Ward).

Los análisis estadísticos aplicados muestran que las variables con sensibilidad para agrupar y clasificar a los sitios de acuerdo a su calidad óptima, subóptima y pobre son: Conductividad específica, sólidos disueltos totales, salinidad, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, alcalinidad, dureza total, cloruros, coliformes fecales, sustrato disponible, embebimiento, patrón velocidad/profundidad, alteración del canal, frecuencia de riffles, máxima profundidad, ancho del área de inundación y diámetro promedio de las partículas del sedimento; Estas variables son las que en términos de generar una propuesta costo-eficiente para el monitoreo ambiental de estos ecosistemas, definen la estructura geomorfológica, la calidad del hábitat y la calidad del agua; notificando el equilibrio dinámico y la estabilidad hidráulica que guardan los cauces. Consecuentemente este conjunto de variables son las que se integrarán en el modelo de gestión del recurso hídrico, de los sitios que forman parte de la red hidráulica estudiada.

El modelo de gestión del recurso hídrico (figura 4.56), para esta investigación, se realizó a través de la sistematización de las actividades y la formulación de medios para llevar a cabo la evaluación de la calidad ambiental de la columna de agua de la zona montañosa del sur-sureste de Morelia, Michoacán, diseñado a manera de protocolo en la metodología de esta investigación, a través de la caracterización de los procesos geomorfológicos, de calidad del hábitat y calidad del

agua, para obtener la información técnica y científica para sustentar los métodos de rehabilitación, restauración, recuperación y/o mantenimiento (a corto, mediano o largo plazo) a los cauces de los sitios de las redes hidrológicas RH-12 y RH-18, de acuerdo a las características propias de estos y las alteraciones en sus variables que estén impactando de manera significativa la resiliencia de estos ecosistemas a causa de la intervención antropogénica.

Los resultados de las evaluaciones mostraron que los sitios de la columna de agua, ubicados dentro de las cabeceras de las dos regiones hidrológicas estudiadas, los de la parte media y baja que representan el 50% del total de los sitios en estudio, mostraron afectaciones a su estructura morfológica por alteración en la sinuosidad y tasa ancho/profundidad baja, así como en la tasa de confinamiento alta, alterando la zona de amortiguamiento de los cauces por impactos a la vegetación riparia y ribereña, con lo cual se modifica la estabilidad de las riberas, que principalmente se manifiesta en procesos erosivos de las mismas. De igual modo se alteran los procesos de disipación de la energía del agua, esto en particular provoca que el flujo del canal no cubra toda el área disponible, no solo por que disminuya, sino que aún manteniéndose flujos altos, el agua no alcance la base de las riberas, dejando áreas que debieran estar cubiertas expuestas a la acción erosiva por efectos externos al cauce, como los derivados de la actividad ganadera. También se disminuye la capacidad de transporte en el sistema, lo que provoca una alteración que se va generalizando a todo el cauce, porque la disposición espacial de los sustratos se modifica, a su vez disminuye la disponibilidad y calidad del espacio para la colonización y establecimiento de la epifauna, que dentro de otras metodologías de monitoreo basadas en integridad biótica utilizan para reconocer la condición de los ecosistemas lóticos. Que también han demostrado ser sensibles a la valoración de la contaminación del agua de acuerdo al índice de la calidad calculado, ICA, que indica que los elementos que regulan la dinámica hidráulica han sufrido una desestabilización limitando la autodepuración de estos sistemas lóticos.

En el presente estudio, la atención se enfoca a la recuperación de las formas y procesos que estos cauces tenían antes de su degradación, por lo que es importante restablecer la condición natural de las riberas y los sustratos, que de acuerdo a González del Tánago (2005) la rehabilitación consiste en restituir a los cauces los procesos naturales para recuperar la parte afectada de su funcionamiento ecológico; es decir, lo que importa es recuperar el funcionamiento de los

procesos ecosistémicos, llegando a lograr la integridad hidrológica y ecológica de estos sistemas, con acciones como: proporcionar espacio a los cauces, respetar el área de inundación, evitar la disminución del flujo, la canalización, la construcción de estructuras rígidas, aumentar la movilidad y desplazamiento lateral del cauce, así como la conectividad con las riberas, dar tiempo a que la propia naturaleza recupere su estructura y capacidad de resiliencia. La rehabilitación de la vegetación ribereña y riparia, contribuiría a mitigar los impactos provenientes de las actividades antropogénicas como: contener la erosión de las riberas, interceptar contaminantes y degradarlos, ayudando a disminuir la contaminación por fuentes puntuales, reteniendo los sedimentos de la erosión del cauce, reduciendo una parte del escurrimiento y dentro del cauce disminuye la velocidad de las descargas; en general mejoraría la estructura geomorfológica, el hábitat y la calidad del agua.

La evidencia obtenida en los análisis realizados, permitieron clasificar a los sitios en tres categorías de calidad ambiental: óptima, subóptima y pobre. Estas a su vez mostraron una fuerte relación con los impactos que están alterando a la estructura geomorfológica de los sitios y su consecuente referencia en la calidad de la columna de agua. En este sentido fue posible encontrar un gradiente de degradación desde aguas de calidad excelente, conforme a la normatividad mexicana, a aguas contaminadas y posteriormente su recuperación a poco contaminadas por un doble efecto: a) Por un lado la propia capacidad de autodepuración de los cauces, debido a que en la parte baja aún se encontraron áreas riparias y ribereñas de calidad subóptima y b) Por el otro al efecto de dilución que derivó de la calidad “buena” de las aguas de la parte alta de las microcuencas en estudio.

En el cuadro 4.27 se muestra de manera concreta, la problemática encontrada para cada sitio y la forma como se considera debe ser resuelta. De igual modo en la figura 4.54 se muestran las relaciones encontradas entre la calidad del hábitat con la calidad de la columna, para que en la figura 4.55, se presente la propuesta de conservación o recuperación de los sitios en estudio.

Cuadro 4.27. Descripción breve de la problemática en los sitios del área de estudio y la forma para resolverla.

SITIO	IMPACTOS	AFECTACIONES	PROPUESTA
1. Viboritas	Construcción del acueducto de abastecimiento a la ciudad de Morelia, cortinas para el control de avenidas y de caminos; actividades de pastoreo, deportivas y turísticas, así como dilución de la descarga residual	Afectación del ancho de la zona riparia y vegetación ribereña, ingreso de sedimentos, embebimiento de las rocas por algas filamentosas, dilución de nutrientes, erosión de la ribera derecha, alteración del canal, acumulación de sedimentos; disminución de la frecuencia de rápidos, del flujo y disponibilidad de sustratos.	Revegetar el cauce con zarzamora (<i>Rubus</i> sp) usando modelos de transplante de las áreas conservadas, restablecer la vegetación riparia, reconstruir la secuencia, tamaño y frecuencia de rabiones con reacomodo de sustratos de forma local. Rediseñar los caminos, para convertirlos en senderos de interpretación de la naturaleza, que también puedan aprovecharse para actividades deportivas. Delimitar áreas de pastoreo con abrevaderos circulares. La finalidad es aumentar la capacidad de resiliencia del río.
2. Aguas bajo de las adjuntas del río chiquito	Construcción del acueducto y camino, actividades de pastoreo, deportivas y turísticas; dilución de la descarga residual	Disminución de árboles y arbustos, ingreso de partículas, erosión de la ribera derecha, disminución de la sinuosidad, dilución de nutrientes, disminución en la frecuencia de rápidos, modificación al canal y la distribución de sustratos, acumulación de sedimentos.	Revegetar el cauce, restablecer la vegetación riparia, reconstruir rabiones, siguiendo la secuencia anterior.
3. Golondrinas	Construcción del acueducto y caminos, actividades de pastoreo, deportivas y turísticas; dilución de la descarga residual y de sustancias provenientes de la agricultura.	Alteración en la protección vegetal, incremento en el ingreso de partículas, disminución en la capacidad de transporte, dilución de nutrientes, modificación del flujo, acumulación anormal de sedimentos, disminución de disponibilidad de sustratos.	Revegetar el cauce, restablecer la vegetación riparia, reconstruir rabiones, siguiendo la secuencia anterior, logrando un incremento en la autodepuración del sistema.
4. Infonavit	Construcción del acueducto y camino, actividades de pastoreo, deportivas y turísticas; agua proveniente de la descarga residual y de sustancias provenientes de la agricultura.	Afectación en la vegetación riparia y ribereña, concentración de nutrientes, aumento en la tasa de confinamiento y disminución de la sinuosidad, incremento en el ingreso de partículas finas, modificación del flujo, acumulación de sedimentos y basura, disminución de la disponibilidad del hábitat para la epifauna.	Revegetar el cauce, restablecer la vegetación riparia, reconstruir rabiones, siguiendo la secuencia anterior y aumentar la capacidad de autodepuración del cauce.

Cuadro 4.27. Continuación

SITIO	IMPACTOS	AFECTACIONES	PROPUESTA
5. Descarga de río bello	Construcción de carretera, puente, vado, canalización, asentamientos humanos, distribución de postes para luz eléctrica, actividades de pastoreo, infiltración de sustancias provenientes de la agricultura, basura y la descarga residual.	Alteración en la protección vegetal riparia y ribereña, acumulación de sedimentos, disminución en la sinuosidad y capacidad de transporte, canalización, concentración de materia orgánica, nutrientes, sustancias iónicas, material suspendido y bacteriológico, disminución en la capacidad de autodepuración, pérdida de substratos disponibles para la epifauna.	Revegetar el cauce, restablecer la vegetación riparia, reconstruir rabiones y deflectores, usando substratos del tamaño correspondiente al tipo de cauce, colocados en forma de arco (relleno de piedras) y en zigzag justo a la orilla de las riberas y a la distancia que diseñen la sinuosidad propia del río, con base en los estudios geomorfológicos. Diseñar un humedal en la llegada de la descarga al cauce, con vegetación subacuática de preferencia herbáceas como <i>Juncus</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Carex</i> y <i>Poligonum</i> .
6. Aguas arriba de la descarga de río bello	Construcción de camino de terracería, vado, puente; establecimiento de la línea de distribución de energía eléctrica, infiltración de sustancias provenientes de la agricultura, descarga de agua residual de Jesús del Monte, extracción de agua para su distribución en contenedores (pipas).	Alteración en el ancho de la zona riparia y vegetación ribereña, adición de partículas, erosión de la ribera derecha, disminución de la sinuosidad y en la capacidad de transporte, modificación de la profundidad del cauce y área de inundación, baja disponibilidad de substratos para la epifauna.	Revegetar el cauce, restablecer la vegetación riparia, reconstruir rabiones, siguiendo la secuencia anterior, para mejorar la calidad del agua.
7. Arroyo San Miguel	Infiltración de sustancias provenientes de la agricultura, acumulación de basura, actividades de campismo y turismo.	Variación en ancho de la zona riparia y vegetación ribereña, ingreso de partículas, erosión de la ribera derecha, acumulación de sedimentos, disminución en la capacidad de transporte, modificación de la profundidad y área de inundación.	Revegetar el cauce, restablecer la vegetación riparia, reconstruir rabiones, siguiendo la secuencia anterior con la finalidad de incrementar la calidad del agua. Diseñar áreas para campismo y turismo, dentro de un programa de aprovechamiento para los habitantes locales.
8. Venadario	Construcción de caminos de madera, palos y piedras, la granja piscícola, la unidad de manejo ambiental, actividades de campismo, rapel.	Afectación mínima en el ancho de la zona riparia y vegetación ribereña, ingreso de partículas, modificación en la capacidad de transporte, embebimiento de los materiales del fondo con sedimentos finos.	Restablecer la vegetación de las áreas afectadas con zarzamora (<i>Rubus</i> sp) como vegetación ribereña nativa y de esta forma incrementar la calidad del agua. Crear un programa de turismo extremo, delimitando las áreas que pueden ser utilizadas, este programa al igual que el de campismo deberá ser administrado por los habitantes locales, lo que requiere de capacitación previa al establecimiento de estos programas.

Cuadro 4.27. Continuación

SITIO	IMPACTOS	AFECTACIONES	PROPUESTA
9. Río Paredones, la fosa	Construcción del puente aguas abajo del sitio, senderos, distribución de postes para luz eléctrica, actividades de pastoreo, pesca deportiva y turismo.	Alteración en el ancho de la zona de vegetación riparia y vegetación ribereña, erosión de la ribera derecha, modificación de la capacidad de transporte, acumulación de sedimentos, embebimiento de materiales del cauce por sedimentos.	Restablecer la vegetación de las áreas afectadas con zarzamora (<i>Rubus</i> sp) como vegetación ribereña nativa y de esta forma incrementar la calidad del agua. Además de diseñar estrategias de estabilización de las riberas y de los taludes afectados por la construcción de la línea de distribución de energía eléctrica, para lo cual deberá explorarse la posibilidad de establecimiento de pastos en las áreas afectadas.
10. Salida del cañón, el Oasis	Construcción del puente aguas arriba del sitio, actividades de ecoturismo como rapel y escalada, extracción de agua para abastecimiento usando manguera.	Modificación mínima en la vegetación riparia y ribereña, erosión de las riberas, capacidad de transporte de los substratos, acumulación de sedimentos finos,	Restablecer la vegetación de las áreas afectadas con zarzamora (<i>Rubus</i> sp) como vegetación ribereña nativa y de esta forma incrementar la calidad del agua.

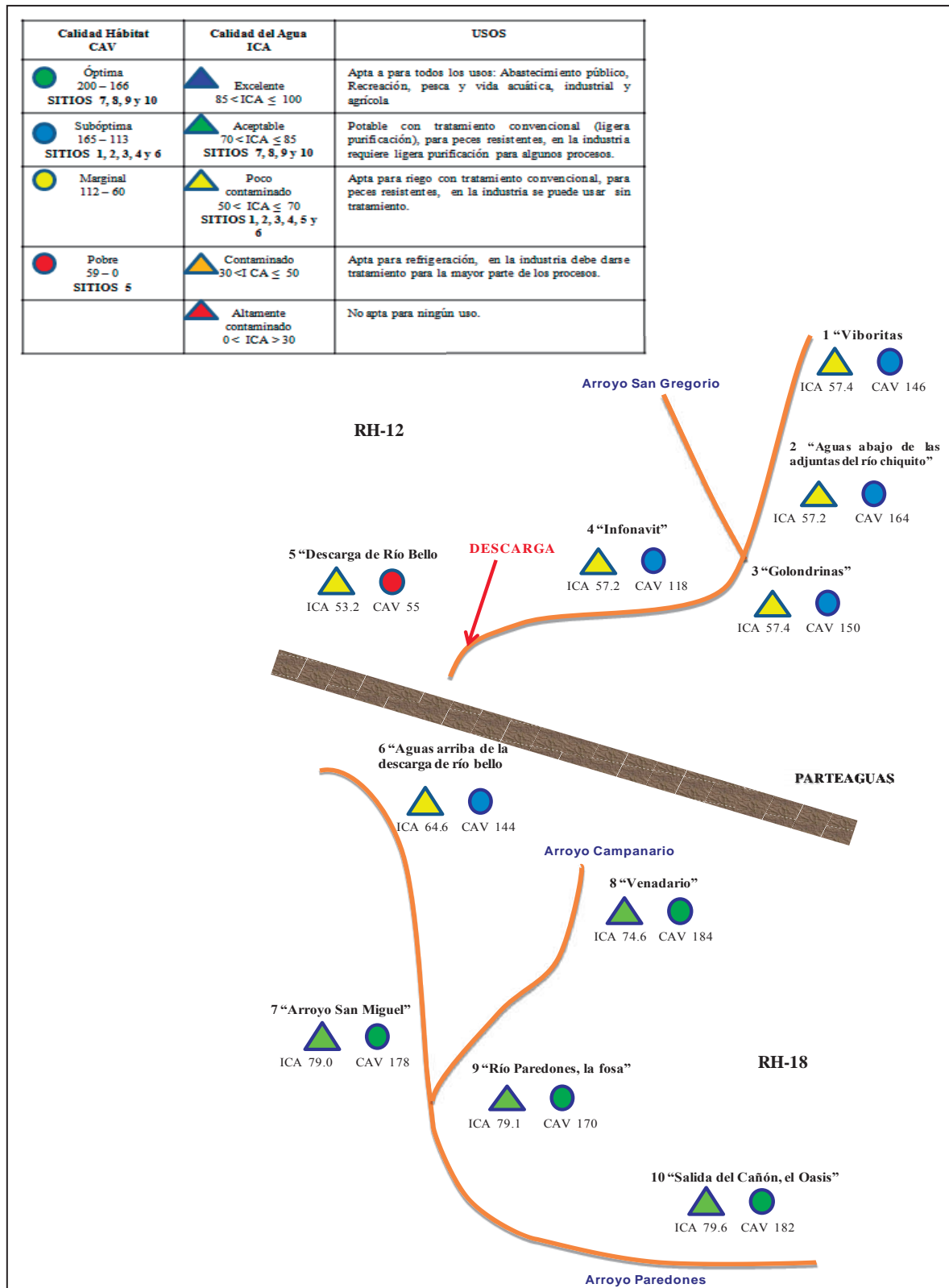


Figura 4.54. Mapa que muestra la relación entre la Calidad del Hábitat y la Calidad del Agua.

Con base a la normatividad se propone ratificar la importancia de revegetar los cauces con vegetación ribereña nativa, especialmente usando modelos de trasplantes de las áreas conservadas a las áreas degradadas, con la misma estrategia restablecer la vegetación riparia y si es necesario recurrir a técnicas de ingeniería naturalística. En este sentido es importante destacar que la alteración física de las áreas de inundación, deberá darse con los principios geomorfológicos usados en el estudio, puesto que de esta manera si se garantiza la recuperación natural del cauce, de igual forma se debe llevar a cabo la reconstrucción de la secuencia, tamaño y frecuencia de rabiones con un reacomodo de los substratos de manera local. Estas acciones deberán atenderse en el orden siguiente:

Áreas prioritarias, que son las de calidad óptima, puesto que en ellas poco hay que hacer, ya existe vegetación ribereña como zarzamora (*Rubus* sp), por lo tanto solo se dispondría de esta para restablecer la vegetación en las áreas afectadas de los cauces, de esta forma se incrementa la calidad del agua, se protegen las riberas y se genera una actividad económicamente productiva en forma de “cultivos de sombra”.

Las zonas de calidad subóptima donde hay que incrementar la vegetación de la zona ribereña, también deberá atenderse la zona riparia y el acomodo de los substratos. La suma de las acciones óptima y subóptima traerán como consecuencia la dilución de los contaminantes en las zonas bajas.

La zona pobre en donde se requiere recuperar toda la estructura del cauce, ya que es una zona que recibe la descarga residual, sin embargo por la naturaleza química que presenta no es necesaria la instalación de una planta de tratamiento (hasta el momento de terminar el estudio), si no transferir la zona de la llegada de la descarga al río en un humedal con la predominancia de vegetación subacuática, especialmente herbáceas de los géneros *Juncus*, *Scirpus*, *Carex* y *Poligonum*, ya que son nativas en la región, el efecto del humedal busca disminuir la DBO5. En su conjunto todas estas acciones más el efecto de dilución por la calidad del agua como “agua buena” tenderán a mejorar la calidad de la columna y en general del ecosistema.

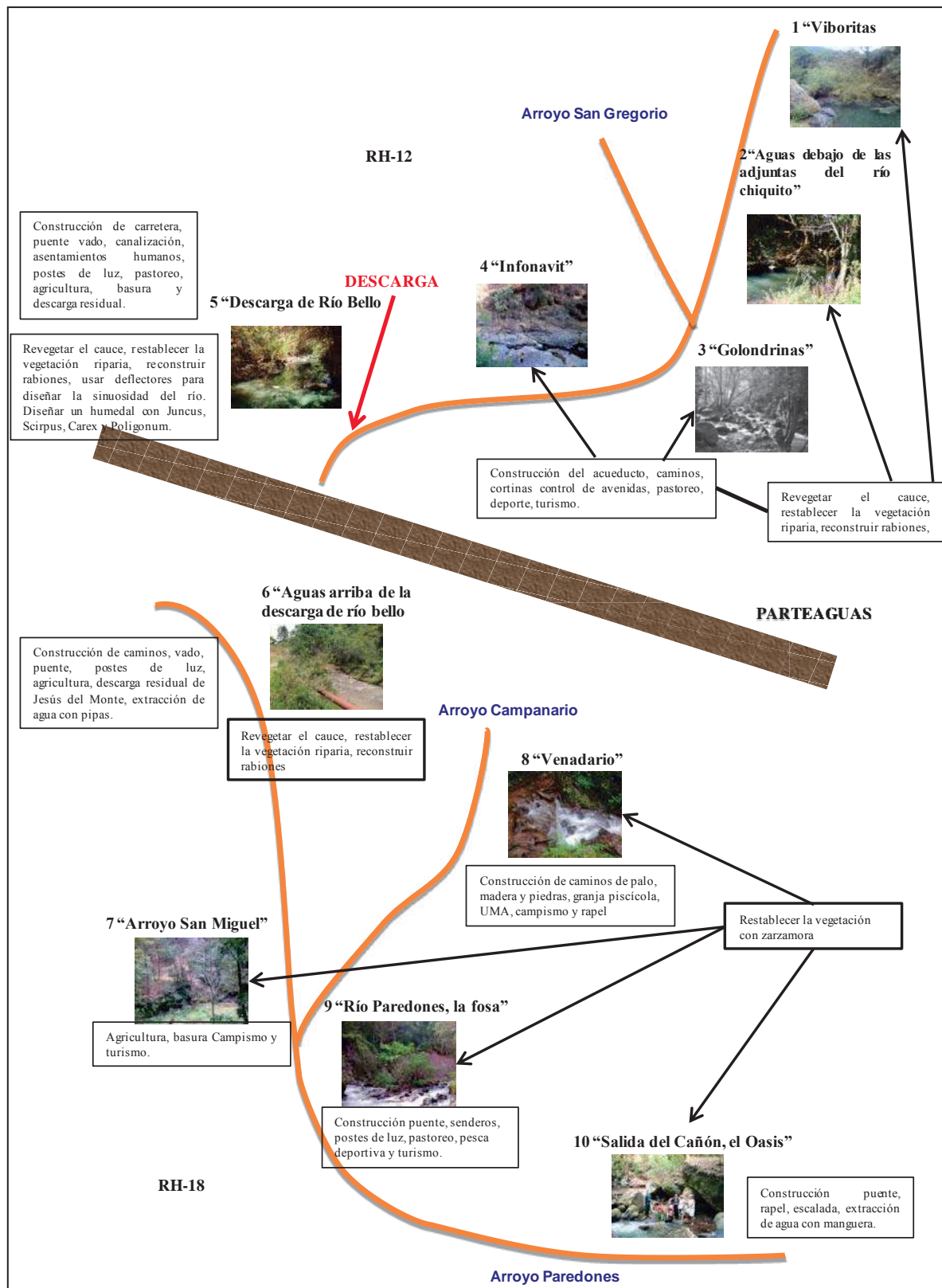


Figura 4.55. Problemática y propuesta para los sitios de la columna de agua en estudio.

Para dar seguimiento a los efectos que las obras tengan sobre la calidad del agua se requiere de un monitoreo del índice de calidad del agua (ICA) solo en el máximo de estiaje antes del 15 de mayo y en los meses agosto-septiembre que es la época de mayor precipitación, pero mensualmente podrán monitorearse las aguas con las variables fisicoquímicas: conductividad específica, sólidos disueltos totales, salinidad, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, alcalinidad, dureza total, cloruros, coliformes fecales, que de acuerdo a la investigación realizada permiten diferenciar a los sitios por su calidad y se sugiere que el monitoreo se realice en los sitios utilizados en el estudio como los puntos de monitoreo, aumentando uno más, en la entrada del río chiquito al valle de Morelia, en el punto de la ex-hacienda “El Molino del Rincón”, puesto que en este sitio en particular se verificaría el efecto acumulado de las obras realizadas.

Esta propuesta se hace sobre la base de la evaluación, el efecto que tiene la estructura geomorfológica y la calidad ambiental general de los cauces sobre la calidad de la columna de agua, usando como principio teórico los procesos ecológicos relacionados a la condición de la ribera de los substratos y los mecanismos de transporte del agua.

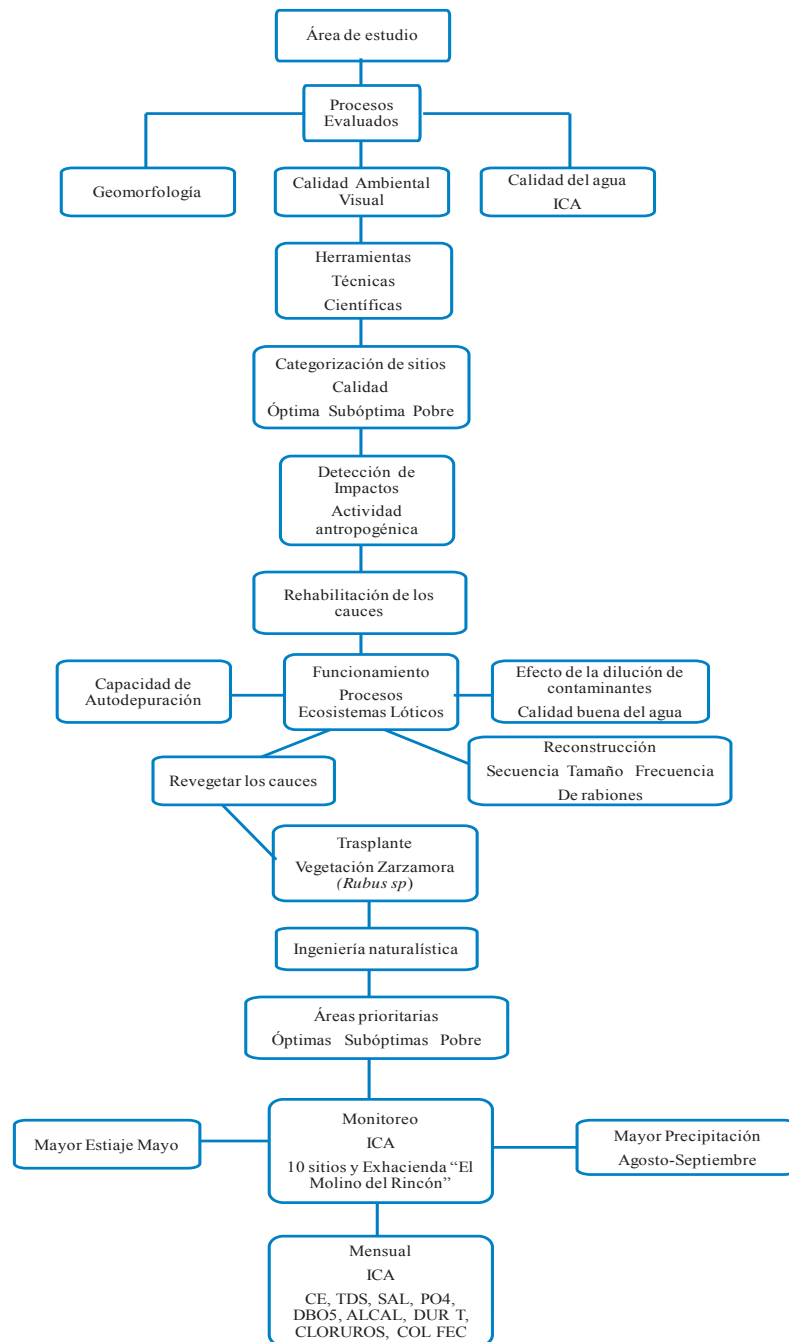


Figura 4.56. Diagrama del modelo de gestión para los sitios de las RH-12 y RH-18

De acuerdo a López-Ramírez (2010), es obligación que la política, en la que se encuadre la gestión pública del agua, asuma “la multidimensionalidad y la totalidad de los problemas humanos, pero sin convertirse en totalitaria” integrando la administración, la técnica y la economía “sin dejar disolver, despolitizar de hecho, por lo administrativo, lo técnico y lo económico” (Morin, 1993:169). Gran parte de los problemas mundiales del agua: escasez,

inequidad, desigualdad, acceso, saneamiento, contaminación, etc., se explican por esta paradoja entre la necesidad de una política más plural y los grupos de expertos que administran el agua a nivel global, nacional y local. La política del agua debe ser, en términos de Edgar Morin (en Salvador Peniche Camps *et al*, 2010) “se ve llevada a asumir el destino y el devenir del hombre, así como el del planeta” (Idem). Una política que obligue a los expertos a acercarse con el ciudadano, en torno a un elemento que los vincula con la vida y con la experiencia humana de tener un interés común.

El modelo de gestión que se propone debe llevarse a cabo con la participación de organismos gubernamentales, la colaboración pública y los sectores sociales comprometidos; como se considera en el PHV2030EOM, 2009 y con base en los compromisos en la Agenda 21 del Municipio de Morelia (DPMA, 2002), para la conservación y gestión de los recursos de agua dulce, que señala aplicar las normas y reglamentos establecidos al respecto en la Ley de Aguas Nacionales, así como en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente y la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; asegurar las condiciones de calidad del agua para consumo humano, implementar las acciones contempladas en el manejo integral de las cuencas, aplicar el instrumento de política ambiental relativos a estudios de impacto previos a la ejecución de obras y actividades que puedan afectar ecosistemas acuáticos, o el equilibrio de los recursos de las cuencas, mantener la cobertura vegetal en las áreas aledañas o próximas a los cuerpos de agua y zonas de recarga, así también prevenir la contaminación y emprender acciones de saneamiento en los cuerpos de agua del municipio.

CONCLUSIONES

Considerando la importancia, de los sistemas lóticos en estudio, como fuente de abastecimiento de agua, el valor escénico y otros servicios ambientales vinculados con la conservación de la biodiversidad, estos están sufriendo alteraciones a un ritmo acelerado, la evaluación geomorfológica, de calidad ambiental visual y calidad del agua, muestra la contribución de cada uno de estos procesos para clasificar a los sistemas lóticos por los impactos que presentan como consecuencia de degradación antrópica, así mismo presenta la interrelación de dichos procesos, que permite explicar las alteraciones que están afectando a los componentes de estos cauces y las limitaciones de su autodepuración; contribuyendo a entender de manera global la complejidad de los ríos y arroyos para lograr una integridad ecológica en relación a su cuenca.

El análisis geomorfológico reveló que los sitios que corresponden a la parte alta de la montaña, no presentan alteraciones a la morfometría, al igual que los sitios “Golondrinas y “Viboritas”, que corresponden a la parte baja. Sin embargo los sitios que si exhiben alteraciones morfométricas son los de aguas abajo del Río Chiquito. Las mayores afectaciones están ligadas a la disminución de la sinuosidad, tasa de confinamiento alta y tasa ancho/profundidad baja. La evaluación de la Calidad Ambiental Visual mostró que las causas que están ocasionando estas alteraciones son la disminución de la vegetación riparia y ribereña, la erosión de las riberas en mayor o menor grado, el incremento y acumulación de sedimentos provenientes de la cuenca; causando afectación en los elementos que diversifican el hábitat disponible para la biota, como resultado de la extracción de agua del cauce, la infiltración de sustancias provenientes de la agricultura, actividades de turismo, ciclismo, deportivas y pastoreo. En el caso particular del sitio “Descarga de Río bello” la afectación es por la vertiente directa de la descarga residual doméstica, asentamientos humanos, construcción de la carretera, construcción del puente y vado aguas arriba, canalización del cauce y la nivelación de terreno.

Estos procesos permiten identificar los fenómenos causa-efecto como consecuencia de la intervención humana, los cuales ayudan a explicar la alteración en los parámetros que califican el Índice de Calidad del Agua (ICA). En los sitios que se encuentran en la parte alta de la montaña, se obtuvo un índice de calidad aceptable; ponderada por la ausencia de contaminación puntual, siendo cauces estables morfométricamente, y con hábitat en buenas condiciones, lo cual indica

que el paisaje y los elementos que regulan la dinámica hidráulica, así como las variables del ICA se mantienen estables, permitiendo de forma natural la autodepuración de estos cauces. Respecto a los de la parte intermedia y baja de la red hidráulica, calificaron a calidad de poco contaminados, con alteraciones morfométricas mínimas permitiendo a estos cauces conservar sus procesos hidráulicos y un hábitat sustentable; a excepción del sitio “Descarga de río bello” que su calidad fue contaminado, aunque es un cauce poco alterado morfométricamente, su calidad indica modificación drástica en los parámetros de la calidad del agua y del hábitat, como consecuencia de contaminación por la descarga residual doméstica, contaminación puntual por asentamientos humanos, pastoreo, la construcción del puente, vado y carretera, por lo que este cauce se encuentra alterado en sus condiciones ambientales y su estado más probable, haciendo difícil que el río procese los efectos de estos impactos, amenazando su habilidad de autodepuración. Por lo que cualquier incremento de los impactos a futuro, afectarán gravemente a estos cauces.

Los resultados de los análisis estadísticos, validaron la interrelación que existen entre el conjunto de variables evaluadas, de tal forma que agruparon a las muestras estadísticas por su condición de calidad óptima (conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos totales, cloruros, fosfatos, alcalinidad, sustrato disponible y diámetro promedio de las partículas del sedimento; subóptima (dureza total, salinidad, coliformes fecales, frecuencia de riffles, patrón velocidad/profundidad y ancho del área de inundación) y pobre (alteración del canal, máxima profundidad y embebimiento).

De forma general los resultados que engloban todo el estudio de la tesis son los que sirvieron de base en la elaboración del modelo de gestión del recurso hídrico, en donde a través de los procesos evaluados, se encontró que los sitios de referencia son los que se ubican en la parte alta de la montaña ya que se encuentran mejor conservados, poco perturbados con la mínima intervención humana. Condición que hace volver la atención en los cuerpos de agua de la parte intermedia y baja de la red hidráulica, con la finalidad de recorrer la cortina hasta el punto en que se logren las mismas condiciones en estos ecosistemas, remediando los daños causados en su hábitat, resolviendo y/o controlando los problemas que están afectándolos, participando en forma conjunta con los organismos encargados de la problemática del recurso hídrico, con el afán de rescatar los valiosos recursos que estos ecosistemas aportan a la sociedad.

Se propone un monitoreo a estos ecosistemas lóticos en las épocas de mayor estiaje y precipitación de acuerdo al índice de calidad del agua, así como mensualmente utilizando las variables que mostraron sensibilidad para agrupar a los sitios por los niveles de degradación encontrados como óptima, subóptima y pobre. De esta forma se obtiene la base técnica y científica que sustenta las propuestas del modelo de gestión, para la toma rápida de decisiones dirigidas a la rehabilitación de los ecosistemas y mitigación de los impactos, que conlleve a aplicar la normatividad existente para este fin, así como cumplir los acuerdos y compromisos en el manejo de los procesos ecosistémicos. Bajo todo este escenario es importante la participación comprometida e integrada de los actores principales desde los organismos de expertos gubernamentales, de conocimiento e investigación de especialistas universitarios, hasta la sociedad civil, para que juntos dirigir los objetivos hacia una política del agua, que de solución a los problemas de distribución, disponibilidad, uso y consumo del agua, con una calidad aceptable o excelente de este recurso.

BIBLIOGRAFÍA

Arce O.; Herbas A.R.C.; Rivero O.F; González R.A., 2006. “Indicadores Biológicos de Calidad del Agua”. Cochabamba. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental.

Banamex, Ford y sus Distribuidores, S.A de C.V y fundación Pedro y Elena Hernández, A.C., 2006. Agua. Usos, abusos, problemas, soluciones. ISBN 970-9786-02-4. Pág 58 (413 pp.).

Barbour, M.T., J. Gerritsen; B. D. Zinder and J.B. Stribling., 1999. “Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish”. Second Edition. EPA 841- B41-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C.

Bennett J. 2001. The essential Whitewater kayaker. Primera edición. Editorial Paidotribo.

Bunte, K y S.R. Abt. 2001. Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport Hydraulics, and Streambed Monitoring. General Technical Report RMRS-GTR-74. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. United States Departament of Agriculture.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)., 2009. “Estadísticas del Agua en México”, 1ª Edición, ISBN 978-968-817-895-9, México, D.F.

CONAGUA, 2008. Estadísticas del Agua en México 2008. Primera Edición. ISBN 978-968-817-895-9.

CONAGUA, 2008. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. ISBN 968-817-836-5 e ISBN 978-968-817-836-2. Editor SEMARNAT.

CONAGUA, 2008. Programa nacional Hídrico 2007-2012. ISBN 968-817-836-5 e ISBN 978-968-817-836-2.

CONAGUA, 2009. Programa Hídrico visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. ISBN 978-968-817-915-4. Editor SEMARNAT.

CONAGUA, 2009. Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. ISBN 978-968-817-915-4.

Constitución Política de los estados Unidos Mexicanos (última reforma DOF 29-07-2010).

Constitución política del Estado de Michoacán de Ocampo (última Reforma DOE 19-Febrero-2007).

Dall, P.C., 1995. “Commonly used methods for assessment of water quality”. En Biological Assessment of stream water quality. Toman, M.J. and F. Steinman (eds) Especial Issue TEMPUS S_JEP 4724. University of Ljubljana: 49-70.

Díaz Bea, E, Ollero Ojeda, A., 2005. “Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro”, Universidad de Zaragoza. Geographicalia (2005), 47, 23-45.

Diccionarios Oxford-Comlutense, 2000. CIENCIAS DE LA TIERRA.

Dirección de Protección al Medio Ambiente, 2002. Tercer Taller de Agenda 21. <http://www.google.com.mx/#hl=es&safe=active&biw=897&bih=397&q=Tercer+Taller+de+Agenda+21.documento+oficial+de+la+agenda+21+de+morelia%2C+michoacan+de+ocampo&aq=f&aqi=&aql=&oq=&fp=9ec52a2e10be3fd4>. Consultada febrero 2001.

estados/ mich_geo.cfm. Consultada 10-febrero-2011.

FISRWG., 1998. “Stream Corridor Restoration”. Principles, Processes and Practices. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. USDA-Natural Resources Conservation Services. 637 pp.

Gestión de Recursos Hídricos en México. “http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_de_recursos_h%C3%ADdricos_en_M%C3%A9xico” (Consultada 19-junio-2009).

González del Tánago, 2005. La restauración de los ríos y sus riberas. En ” Integridad biótica y su integración a una propuesta de gestión para los ríos Tomebamba y Yanuncay en Cuenca-Ecuador”. Santiago de Querétaro, Qro. México

INEGI, 2005. Marco Geoestadístico Estatal, Municipal y Urbano.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1999; Marco Geoestadístico, 2000 (INEGI-DGG). <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografis/espanol/datosgeogra/basicos/>

Jiménez, Blanca Elena., 2008. “La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada”. Editorial Limusa, pág. 111-140.

Kovach Computing Services., 1998. “Multivariate Statistical Package (MVSP) v. 3.01”.

Ley de Aguas Nacionales (última reforma DOF 10-04-2008).

Ley del Agua y Gestión de Cuencas para el Estado de Michoacán de Ocampo (última reforma DOE 23 de Agosto de 2007).

Ley del Agua y Gestión de Cuencas para el Estado de Michoacán de Ocampo (última reforma DOE 23 de Agosto de 2007).

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente (última reforma DOF 06-04-2010).

Mafla H. M. 2005. Guía para evaluaciones rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamanca, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. pp. 90.

Martínez Austria, Polioptro F., 2007. Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México. Volumen II. Editores, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Martínez Romero, A; Fonseca Gómez, K; Ortega Sánchez, JL; García-Luján, C., “Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas”, México *Química Viva*, Vol. 8, Núm. 1, abril-sin mes, 2009, pp. 35-47.

Medios Acuáticos Continentales. Tipos. Capítulo 2. Consultada-Febrero-2011.
<http://www.cursoscazaypesca.es/pesca/cuestionario-pesca-2.pdf>.

Montgomery D.R. y Buffington J.M.(1993). Channel classification prediction of channel response and assessment of channel condition. Report TFW-SI-110-93-002. Washington, EE.UU.

Natalia E. Samboni, Yesid Carbajal Escobar y Juan C. Escobar. “Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua”. Ingeniería e Investigación, diciembre año/vol. 27, número 003. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia, pp. 172-181. 2007 (en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/643/64327320.pdf>) consultada 06 de Agosto de 2009.

NOM-001-SEMARNAT-1966 (23-abril-2003)

NOM-127-SSA1-1994 (DOF, octubre 2000)

Núñez S. J. 2001. Manejo y conservación de suelos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Primera edición.

Peniche Camps et al, 2010. Primer seminario internacional sobre la cuenca del río Santiago. Astra ediciones S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México.

Pereyra D. D, Gómez R. L. y Loeza H. F. 2005. Pérdida de suelo por erosión hídrica, 61-82 pp. En: Rivera T. F., Gutiérrez L. A., Val S. R., Mejía Z. R., Sánchez R. P. A., Aparicio M. J. y Díaz F. L. L. (Editores). La medición de sedimentos en México. Ediciones IMTA-UJAT, Jiutepec, Morelos/ Villahermosa, Tabasco, México 318 pp.

Pérez M. R. M.; Pineda L. R., 2006. “Calidad ambiental de ríos y arroyos en el centro de México: posibilidades para evaluar la integridad ecológica de microcuencas”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Universidad Autónoma de Querétaro.

Pérez M. R., Pineda L. R. y Medina N. M. 2007. “Integridad biótica de ambientes acuáticos”. pp. 71-111. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México ISBN: 978-968-817-856-0.

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.

Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, GEO4 medio ambiente para el desarrollo, PNUMA 2007, ISBN 978-92-807-2838-5 (Edición en tapa dura PNUMA) DEW/0964/NA.

PICC, 2008. Cambio climático 2007. “Informe publicado por el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático”, ISBN 92-9169-322-7.

Posada, L., 1994. Transporte de Sedimentos. Posgrado en aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín: [s.n].

Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente del Estado de Michoacán de Ocampo, 2004. (DOF 17-mayo-2004).

Rocha Felices Arturo., 2009. “Hidráulica de las Obras Viales”. Instituto de la Construcción y Gerencia- PT 44.

Rosgen, D., 1996. “Applied River Morphology”, Second edition. Wildland Hydrology. Pagosa Spring. Colorado.

Sanderson, S.E., 1981. Populismo agrario y el estado mexicano. La lucha por la tierra en Sonora. University of California Press.

SAS Institute, 2005. JMP v. 6

Scott, Christopher A. and Banister, Jeff M., 2007. El dilema de la “regionalización” de los recursos hídricos en México bajo la asignación centralizada de recursos. *Universidad de Arizona*. 05(07): 11-19.

Torres-García, U. 2010. Monitoreo de Macroinvertebrados Acuáticos en ríos con impacto al caudal, dos casos: río Chiquito, Morelia y río Lerma, La Piedad, Michoacán. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis de Licenciatura.

Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell, and C.E. Cushing. 1980. “Tópicos de Ecología”, traducción al español de *Issues in Ecology*, publicado por la

Ecological Society of America (la Sociedad Norteamericana de Ecología). Número 10, Invierno 2003. Universidad de Buenos Aires Argentina. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 130-1

GLOSARIO

Área de inundación	Límite o línea de la llanura de inundación, que corresponde al punto que la corriente alcanza por lo menos una vez cada cinco años.
Cauce	Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río u otra corriente.
Caudal	Es la cantidad de agua que recibe un río, su velocidad y su fuerza varía a lo largo del centro del cauce o río; variaciones denominadas gasto, el cual se calcula dividiendo el volumen de agua entre la longitud del tramo que recorre el río. El gasto de un río influye en la cantidad de material sólido que puede arrastrar y muestra la potencialidad de la corriente.
Contaminación	Es una entrada al medio ambiente de sustancias, sean éstas dañinas o no, energía, radioactividad, organismos como virus y bacterias, aumento de temperatura, afectación visual, y otros elementos que alteran de forma sustancial la composición natural de un medio específico, como puede ser agua, aire, paisaje, etc.
Continuum	Sucesión paulatina de procesos químicos o biológicos que se presentan según las condiciones físicas e hidrogeológicas de un curso de agua, cuyas características se modifican gradualmente, de acuerdo con una transición durante su curso.
Cuenca hidrográfica	Geográficamente, está constituida por el territorio que delimita el curso de un río y el espacio donde se colecta el agua que converge hacia un mismo cauce.
Desarrollo sustentable	Es el que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.
Erodabilidad	Capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión y de la susceptibilidad del suelo a erosionarse.

Hábitat	Es el lugar donde vive un organismo (animal o planta), caracterizado por una forma vegetal o por una peculiaridad física dominante (un hábitat de lagunas o un hábitat de bosque). Puede referirse a un área tan grande como un océano o un desierto, o una tan pequeña como una roca o un tronco caído de un árbol. Los hábitats pueden dividirse en terrestres y acuáticos.
Manejo de cuencas	Es la gestión que el hombre realiza en forma integral para aprovechar y proteger los recursos naturales que le ofrecen, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida.
Paisaje	Conjunto de objetos y de fenómenos que se repiten regularmente sobre la superficie terrestre, está ligado a la vez a hechos «visibles », que se remontan a la experiencia común de la observación –el punto de partida de las descripciones geográficas tradicionales–, y a la aprehensión de fenómenos inaccesibles a la intuición del hombre, como la estructura del espacio geográfico.
Parteaguas	Es una línea imaginaria que une los puntos de mayor altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Permite configurar una red de drenaje superficial que canaliza las aguas hacia otro río, al mar u otros cuerpos de agua, como lagos y embalses artificiales.
Rabión	También llamado riffle o rápido, es el lugar donde el río abandona su estado bidimensional para entrar en un estado tridimensional de corrientes más veloces, de rocas y distintos tipos de características superficiales del agua.
Resiliencia	Es la capacidad de un río para tolerar cambios importantes en sus condiciones fisicoquímicas, para mantenerlo en condiciones biológicamente aceptables ante afectaciones antrópicas.

Ribera máxima	Es aquélla donde el flujo del agua alcanza su máximo al menos cada dos años.
Río	Corriente de agua que fluye por un cauce desde tierras altas a tierras bajas, desemboca a un lago, a otro río o al mar, excepto en zonas desérticas, que pueden desaparecer al consumirse. Se caracteriza por tener mayor caudal (comparado con un arroyo) y su régimen es permanente, aún cuando puede presentar un lecho menor (estrecho) y un lecho mayor (cauce mayor durante las crecidas).
Sistemas lóticos	Flujos de agua que van de la cabecera a la boca de una cuenca (dimensión longitudinal).
Substrato	Referido al basamento rocoso (consolidado) no meteorizado que subyace (por oposición) a las formaciones superficiales
Thalweg	Es la línea que une las máximas profundidades de cada sección transversal de un río a partir de la cual se disipa la máxima energía que permite se lleven a cabo los procesos geomórficos de erosión, transporte y depositación.
Vegetación ribereña	No es acuática, capaz de tolerar condiciones de saturación de humedad sin efectos osmóticos nocivos sobre raíces, es un tipo de plantas que se asienta en las orillas de los cuerpos de agua.
Vegetación riparia	Se desarrolla sobre las márgenes de ríos y arroyos, generalmente cubre una franja angosta a cada lado y se compone de diferentes especies de árboles que varían en altura.

Apéndice 1. Criterios de calidad del agua: Niveles máximos en miligramos por litro (excepto que se indique otra unidad)

Parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Protección de la vida acuática	
					Agua dulce	Agua marina (áreas costeras)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1 000	¹	1 000	⁶	¹	¹
DBO	⁶	⁶	⁶	⁶	⁶	⁶
DQO	⁶	⁶	⁶	⁶	⁶	⁶
Nitratos (como N)	5	⁶	⁶	90	⁶	0.04
Nitrógeno amoniacal	⁶	⁶	⁶	⁶	0.06	0.01
Oxígeno disuelto ²	4	⁶	⁶	⁶	5	5
Sólidos disueltos totales	500	⁶	500 ³	1 000	⁶	⁶
Sólidos suspendidos totales	500	⁶	50	⁶	⁴	⁴
Fosfatos (como PO ₄)	0.1	⁶	⁶	⁶	⁵	0.002

¹ Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.

² Para oxígeno disuelto, los niveles establecidos deben considerarse como mínimos.

³ La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l, y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial.

⁴ Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de luz para la actividad fotosintética en más del 10% a partir del valor natural.

⁵ Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en afluentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada.

⁶ No hay criterio ecológico.

Nota: Se incluyen sólo los parámetros utilizados en los cuadros de Calidad del Agua de ríos y lagos seleccionados presentados en esta publicación.

Fuente: Elaborado por Semarnap, Comisión Nacional del Agua, con base en: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89", Diario Oficial de la Federación, Miércoles 13 de diciembre de

Apéndice 2. Guía de campo para toma de datos para la clasificación de ríos y arroyos

Nombre del arroyo: _____

Cuenca: _____

Localidad: _____

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud: _____

Orden : _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) m:

Profundidad medio — m:

Tasa ancho profundidad — m:

Profundidad Máxima en m:

(Máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo)

Ancho del área de inundación (AAI) m:

(distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento — :

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50})

(Esta información se toma del anexo 2)

Pendiente — :

(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad — :

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente: _____

Apéndice 3. Forma para la cuenta de las partículas del sustrato

Cuenta de partículas del sustrato													
Localidad				Total de Secciones:				Estanque				Rápidos	
Cuerpo de agua:				Fecha:				Fecha:				Fecha:	
Partícula	Tamaño mm	1	2	3	Tot #	% Item	% Acum	Tot #	% Item	% Acum	Tot #	% Item	% Acum
Cieno/Arcilla	< 0.062	S/C											
Muy fina 0.062 - 0.125	Arena												
Fina 0.125 - 0.25													
Mediana 0.25 - 0.50													
Gruesa 0.50 - 1.0													
Muy gruesa 1.0 - 2.0													
Muy fina 2.0 - 4.0	Grava												
Fina 4.0 - 7.8													
Mediana 7.8 – 16													
Gruesa 16 – 32													
Muy gruesa 32 – 64													
Pequeños 64 - 128	Guijarros												
Grandes 128 – 256													
Pequeñas 256 - 512	Rocas												
Medianas 512 – 1024													
Muy grandes 1024 – 2048													
Lecho rocoso > 2048	Roca madre												

Apéndice 4. Ecuaciones para el índice de calidad individual de cada uno de los parámetros incluidos.

pH	
$I_{pH} = 10^{0.2335 \text{ pH} + 0.44}$	Si el pH es menor que 6.7
$I_{pH} = 100$	Si el pH está entre 6.7 y 7.3
$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}}$	Si el pH es mayor que 7.3
Turbidez	
$I_T = 108 (T)^{-0.178}$	Para valores < 1.54 se asignará un valor de ICA de 100
Sólidos Disueltos Totales	
$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$	Para valores de 14.144 se asignará un valor de ICA de 100
Conductividad	
$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379}$	
Alcalinidad	
$I_A = 105 (A)^{-0.186}$	
Dureza Total	
$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174 (DT)}$	
Nitrógeno de Nitritos	
$I_{NH3} = 45.8 (N\text{-}NO_3)^{-0.343}$	
Fosfatos Totales	
$I_{PO4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46}$	
Cloruros	
$I_{Cl} = 121 (Cl)^{-0.223}$	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	
$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$	
Coliformes Totales	
$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27}$	
Coliformes Fecales	
$I_{Ec} = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27}$	
Oxígeno Disuelto	
$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100$	OD en mg/l y a T de campo)Tc) (OD)sat en mg/l de saturación Tsat = Tc