

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**Evaluación de Integridad como Instrumento de Gobernanza
Ambiental: Caso de la Microcuenca La Laborcilla**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Miguel Sarmiento Martínez

Dirigida por:

Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval

Santiago de Querétaro, Qro.
12 de noviembre de 2022



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de
Información



Evaluación de Integridad como Instrumento de
Gobernanza Ambiental: Caso de la Microcuenca La
Laborcilla

por

Miguel Sarmiento Martínez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: CNMAC-169000-0223-1122



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**Evaluación de Integridad como Instrumento de
Gobernanza Ambiental: Caso de la Microcuenca
La Laborcilla**

TESIS

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

Presenta:

Miguel Sarmiento Martínez

Dirigido por:

Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval

SINODALES

Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval
Presidente

M. en G. Hugo Luna Soria
Secretario

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Vocal

Dra. Diana Patricia García Tello
Suplente

Dr. Marinus Leendert Otte
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
12 de noviembre de 2022
México

RESUMEN

La gobernanza y gestión ambiental, dentro de un contexto de cuencas constituye un proceso que involucra diversos enfoques políticos, instituciones, actores e instrumentos que convergen de múltiples formas y en distintas magnitudes. Para realizar un ejercicio de gobernanza que se oriente al equilibrio socioambiental de facto, considerando la complejidad de las interacciones mencionadas, resulta primordial establecer un fundamento de estudio objetivo, que considere la naturaleza sistémica de la cuenca, no únicamente en su funcionamiento biofísico sino en los intercambios de materia y energía, así como alteraciones que el humano efectúa sobre los componentes ecosistémicos. La noción de integridad de cuenca, en su forma operativa, constituye un fundamento importante para lograr el objetivo, ya que permite una aproximación pertinente al estudio de las condiciones ecosistémicas, mientras considera los impactos de origen antrópico. En el presente estudio, se generó un análisis de integridad de la Microcuenca la Laborcilla, Querétaro, atendiendo a diversos planteamientos conceptuales y metodológicos con el propósito de analizar de forma medible y cuantificable, de manera particular y en correlación, varios factores relativos al funcionamiento ecosistémico del sitio, generando un índice de integridad que observa las condiciones de 6 complementos funcionales: A) Regulación Hidrológica; B) Regulación Química del Agua; C) Regulación de Sedimentos; D) Conectividad Hidrológica; E) Regulación de la Temperatura; y F) Provisión de Hábitat, así como los impactos acumulativos que perturban el funcionamiento natural del sitio. Este índice requirió un conjunto de procedimientos previos a su ejecución para obtener información y establecer condiciones para su cálculo, considerando los fundamentos metodológicos adecuados para su realización. De tales procesos se delimitaron Unidades de Ecurrimiento (UdE) de la microcuenca, se evaluaron los parámetros hidrogeomorfológicos de sectores funcionales de los cauces de tales UdE y se analizaron distintos parámetros fisicoquímicos del agua. Finalmente, al haber generado la información relativa a las condiciones de integridad de la microcuenca, mediante técnicas de las ciencias sociales, se procedió a estudiar el comportamiento social de las localidades del sitio para obtener una perspectiva de mayor amplitud sobre el funcionamiento socioambiental de este territorio, con el objetivo de generar un conjunto de recomendaciones estratégicas de gobernanza ambiental para el sitio, tomando en cuenta las características y el grado de degradación de los complementos anidados de la microcuenca, así como las características económicas y socioculturales de las poblaciones locales.

Palabras clave: *índice de Integridad de Cuenca, Impactos Acumulativos, Gobernanza Ambiental, Sistemas Socioambientales, Sustentabilidad*

ABSTRACT

Environmental governance and management, within a watershed context, constitutes a process involving various political approaches, institutions, actors and instruments that converge in multiple ways and to different magnitudes. In order to carry out a governance exercise that is oriented towards factual socio-environmental balance, considering the complexity of the aforementioned interactions, it is essential to establish an objective study foundation that considers the systemic nature of the watershed, not only in its biophysical functioning but also in the exchanges of matter and energy, as well as alterations that the human makes on the ecosystem components. The notion of watershed integrity, in its operational form, constitutes an important foundation to achieve the objective, since it allows a pertinent approach to the study of ecosystem conditions, while considering the impacts of anthropic origin. In the present study, an integrity analysis of the La Laborcilla Micro-watershed, Querétaro, was generated, taking into account various conceptual and methodological approaches with the purpose of analyzing in a measurable and quantifiable way, in a particular way and in correlation, several factors related to the operation of the micro-watershed, generating an integrity index that observes the conditions of 6 functional complements: A) Hydrological Regulation; B) Chemical Regulation of Water; C) Sediment Regulation; D) Hydrological Connectivity; E) Temperature Regulation; and F) Provision of Habitat as well as the cumulative impacts that disturb the natural functioning of the site. This index required a set of procedures prior to its execution to obtain information and establish conditions for its calculation considering the appropriate methodological foundations for its realization. From such processes, Runoff Units (UdE) of the micro-basin were delimited, the hydrogeomorphological parameters of functional sectors of the channels of these UdE were evaluated and different physicochemical parameters of the water were analyzed. Finally, having generated the information related to the integrity conditions of the micro-watershed, through social science techniques, we proceeded to study the social behavior of the localities of the site to obtain a broader perspective on the socio-environmental functioning of this territory, to generate a set of strategic recommendations for environmental governance of the site, taking into account the characteristics and degree of degradation of the different nested complements of the micro-watershed, as well as the economic and sociocultural characteristics of the local populations.

Keywords: *Index of Watershed Integrity, Cumulative Impacts, Environmental Governance, Socio-environmental Systems, Sustainability*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), la Facultad de Ciencias Naturales (FCN), así como docentes y cuerpo académico de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC) por instituir las condiciones que me posibilitaron cursar el programa académico y generar la presente investigación.

Al Dr. Víctor Hugo Cambrón, por establecer los fundamentos adecuados para estructurar de manera objetiva este trabajo, por el sustento brindado para realizar los análisis en campo y por su flexibilidad para elaborar el presente estudio con autonomía.

Al Dr. Marinus Otte de la Universidad Estatal de Dakota del Norte (NDSU) y al Dr. Scott G. Leibowitz de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) por proveer conocimiento técnico y científico, así como el soporte adecuado para desarrollar y aplicar correctamente el Índice de Calidad Ambiental del Agua (IQA(m)) y el Índice de Integridad de Cuenca (IWI) en este trabajo.

Al Dr. Raúl Pineda por su orientación hacia la disciplina del manejo integrado de cuencas, por compartir su experiencia en el ámbito y por proveer recomendaciones enriquecedoras en términos formativos y del presente estudio.

Al Mtro. Hugo Luna por sus aportes críticos que permitieron otorgar mayor rigor al estudio, así como por su apoyo puntual y por compartir conocimientos provechosos de forma hábil.

A la Dra. Diana Tello por su soporte académico, su orientación oportuna para completar de forma adecuada el estudio y por su comprensión hacia la perspectiva de la investigación.

Al Dr. Juan Alfredo Hernández por sus revisiones específicas y sugerencias importantes para la calidad en la investigación y estructura de este documento.

Al Mtro. Alejandro Carrera por su paciencia y disposición a la enseñanza.

A mis amigos, Mtra. Paola Torres por su apoyo logístico, Ing. Luis Ignacio Medina Pacheco por sus aportaciones que posibilitaron el desarrollo del Índice de Calidad Ambiental del Agua (IQA(m)) y por su asistencia en los análisis de campo. Al Psic. Jair Hernández por su apoyo y recomendaciones diversas. Al Psic. Raziél Márquez, por su orientación y asistencia para la evaluación en las comunidades de la microcuenca.

A mis compañeros de generación por su disposición colaborativa que permitió establecer una dinámica de trabajo multidisciplinar.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Justificación	16
1.3 Preguntas de investigación	17
1.4 Objetivos	18
2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	18
2.1 Integridad frente al concepto de salud en el contexto de cuenca	19
2.2 Gobernanza ambiental	22
2.3 Ciencia convergente y metabolismo social	25
3. ANTECEDENTES	30
3.1 Consideraciones finales	38
4. ÁREA DE ESTUDIO	41
4.1 Localización	41
4.2 Descripción general	42
4.3 Clima	43
4.4 Topoformas	46
4.5 Edafología	47
4.6 Características socioeconómicas	48
4.7 Aprovechamientos y servicios hídricos	49
4.8 Política ambiental	50
5. MATERIALES Y MÉTODOS	51
5.1 Compilación de información, materiales y datos existentes	52
5.2 Delimitación y caracterización de la microcuenca	53
5.3 Delimitación de Unidades de Escurrimiento (UdE)	53
5.4 Selección de parámetros complementarios	54
5.5 Muestreo y evaluación in situ sobre sectores funcionales	55
5.5.1 Tamaño de la muestra y puntos de muestreo de parámetros físico-químicos del agua	55
5.5.2 Análisis in situ de parámetros físico-químicos del agua	56
5.5.3 Evaluación de presiones e impactos sobre los sectores funcionales	57

5.6 Evaluación del comportamiento socioambiental	63
5.6.1 Entrevistas a profundidad.....	63
5.6.2 Observación directa.....	66
5.7 Tratamiento de la información físico-química del agua.....	68
5.8 Análisis de las condiciones funcionales de las superficies terrestres de la microcuenca.....	70
5.8.1 Referencias básicas para análisis jerárquico de condiciones funcionales	71
5.9 Análisis de integridad del cauce.....	72
5.10 Análisis de integridad de la microcuenca.....	73
5.11 Análisis del comportamiento socioambiental	75
6. RESULTADOS	76
6.1 Hidrografía y Unidades de Escurrimiento (UdE)	76
6.2 Morfometría de la microcuenca.....	77
6.3 Uso de Suelo y Vegetación (USyV)	81
6.4 Índice Hidrogeomorfológico (IHG).....	82
6.5 Índice de Calidad Ambiental del Agua IQA (m).....	88
6.6 Análisis de integridad	91
6.6.1 Integridad del cauce	91
6.6.2 Funcionalidad e Integridad de las superficies terrestres	93
6.6.3 Índice de Integridad de la Microcuenca.....	94
7. DISCUSIÓN	100
7.1 Unidades de Escurrimiento (UdE).....	100
7.2 Morfometría.....	100
7.3 Uso de Suelo y Vegetación (USyV)	101
7.4 Índice Hidrogeomorfológico (IHG).....	102
7.5 Índice de Calidad Ambiental del Agua IQA (m).....	102
7.6 Índice de Integridad de Cuenca de la microcuenca La Laborcilla	104
8. COMPORTAMIENTO SOCIOAMBIENTAL	107
8.1 Perspectiva de aproximación a la experiencia del sujeto	107
8.2 Actores locales.....	108
8.3 Actores gubernamentales	121
8.4 Consideraciones finales sobre la gobernanza de cuencas.....	126

9. RECOMENDACIÓN ESTRATÉGICA DE GOBERNANZA AMBIENTAL	127
9.1 Marco jerárquico anidado en los instrumentos de ordenamiento territorial ...	127
9.2 Manejo y Restauración de Cuenca	130
9.2.1 Ecosistemas Y Superficies Terrestres.....	130
9.2.2 Ecosistema Ripario y Cauces	133
9.3 Desarrollo socioambiental para la sustentabilidad	138
10. CONCLUSIÓN	143
11. LITERATURA CITADA.....	145
12. ANEXOS	158

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Modelo conceptual del índice de Integridad de Cuenca.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2. Localización.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3. Microcuenca La Laborcilla</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4. Unidades climáticas</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5. Evaporación Anual Media</i>	<i>45</i>
<i>Figura 6. Precipitación Anual Media</i>	<i>45</i>
<i>Figura 7. Sistema de topoformas</i>	<i>46</i>
<i>Figura 8. Edafología</i>	<i>47</i>
<i>Figura 9. Política Ambiental</i>	<i>50</i>
<i>Figura 10. Estrategia metodológica</i>	<i>52</i>
<i>Figura 11. Unidades de Escurrimiento</i>	<i>76</i>
<i>Figura 12. Curva hipsométrica</i>	<i>78</i>
<i>Figura 13. Hipsometría</i>	<i>79</i>
<i>Figura 14. Orden de los cauces</i>	<i>80</i>
<i>Figura 15. Uso de suelo y vegetación</i>	<i>81</i>
<i>Figura 16. Sectores Funcionales Evaluados (IHG).....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 17. Sustitución de vegetación riparia por superficie de agricultura</i>	<i>85</i>
<i>Figura 18. Defensas longitudinales en las márgenes del cauce</i>	<i>86</i>
<i>Figura 19. Defensas longitudinales y perforaciones en el lecho</i>	<i>86</i>
<i>Figura 20. Embebimiento de categoría 4 del sustrato rocoso</i>	<i>87</i>
<i>Figura 21. Sector del curso superior con buena calidad hidrogeomorfológica.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 22. Puntos de muestreo IQA(m)</i>	<i>90</i>
<i>Figura 23. Integridad del Cauce</i>	<i>92</i>
<i>Figura 24. Funcionalidad-Integridad de las superficies terrestres</i>	<i>93</i>
<i>Figura 25. Integridad de Unidades de Escurrimiento ICI (No Acumulado).....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 26. Integridad de Cuenca IWI (No Acumulado)</i>	<i>95</i>
<i>Figura 27. Integridad de Unidades de Escurrimiento ICI</i>	<i>96</i>
<i>Figura 28. Integridad de Cuenca IWI</i>	<i>97</i>
<i>Figura 29. Incidencia de estresores por cada componente funcional</i>	<i>98</i>
<i>Figura 30. Estresores por grado de impacto</i>	<i>99</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas extremas.	41
Tabla 2. Precipitación media anual y evaporación media anual	44
Tabla 3. Grupos edafológicos	48
Tabla 4. Volúmenes de agua concesionados en la microcuenca.....	49
Tabla 5. Viviendas con servicios hídricos en la microcuenca.....	49
Tabla 6. Matriz de parámetros, indicadores y nivel de indicador.....	55
Tabla 7. Rangos de anchura para sectores funcionales.....	58
Tabla 8. Naturalidad del régimen de caudal	59
Tabla 9. Disponibilidad y movilidad de sedimentos	59
Tabla 10. Funcionalidad de la llanura de inundación.....	60
Tabla 11. Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	60
Tabla 12. Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	61
Tabla 13. Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	61
Tabla 14. Continuidad longitudinal	62
Tabla 15. Anchura, estructura y naturalidad.	62
Tabla 16. Estructura, naturalidad e Interconectividad transversal del corredor ribereño	63
Tabla 17. Categorías para realización de entrevistas y observación directa	67
Tabla 18. Ponderación de parámetros fisicoquímicos del agua.	68
Tabla 19. Parámetros en la ecuación del IQA (m).....	69
Tabla 20. Análisis jerárquico de condiciones funcionales de la microcuenca.	71
Tabla 21. Reclasificación de los parámetros hidrogeomorfológicos	72
Tabla 22. Estresores de la microcuenca	73
Tabla 23. Componentes Funcionales de la Cuenca de la microcuenca	73
Tabla 24. Unidades de Escurrimiento	77
Tabla 25. Parámetros morfométricos de la microcuenca La Laborcilla	78
Tabla 26. Número de cauces por orden	80
Tabla 27. Uso de suelo y vegetación por superficie	82
Tabla 28. Índice Hidrogeomorfológico por sector funcional	84
Tabla 29. Parámetros del Índice Hidrogeomorfológico	85
Tabla 30. Parámetros físico-químicos del agua en los sitios de muestreo	88
Tabla 31. Conversión de OD mg/l a OD% mediante monograma de saturación	89
Tabla 32. Parámetros normalizados y ponderados con resultado final del IQA(m).	90
Tabla 33. Clasificación de rangos del IQA(m)	90
Tabla 34. Integridad del Cauce por Sector Funcional.	92
Tabla 35. Índice de Integridad de Unidades de Escurrimiento ICI (No Acumulado)	95
Tabla 36. Índice de Integridad de Cuenca IWI (No Acumulado).....	95
Tabla 37. Índice de Integridad de Unidades de Escurrimiento y subíndices por componente.....	96
Tabla 38. Índice de Integridad de Cuenca IWI y subíndices por componente	97
Tabla 39. Estresores con clave.....	98
Tabla 40. Nivel de impacto acumulado de estresores	99
Tabla 41. Esquema de revegetación del corredor ripario de La Laborcilla	136
Tabla 42. Ejemplo de prácticas sugeridas por sector funcional.....	137

1. INTRODUCCIÓN

El sentido de urgencia y el grado de complejidad que implica un proceso de gobernanza ambiental eficiente, dentro de un contexto de cuencas, en dirección a generar procesos de interacción socioambiental, orientados hacia la sustentabilidad y en un escenario de degradación inminente, precisa de aproximaciones teóricas y metodológicas competentes en cuestión de concebir adecuadamente las relaciones, procesos y correspondencias que surgen de la interacción de los distintos factores sociales y ambientales que ocurren en el territorio para generar lineamientos adecuados que concedan una organización y administración eficiente del mismo. El enfoque de gestión integrada de cuencas, por sí mismo, aporta un marco general que engloba lo observado, como expone brevemente Arellano (2005) (en Perevochtchikova y Arellano, 2008) quien concibe que la dimensión territorial de las interrelaciones entre los sistemas humanos y naturales asociados al flujo de agua, conforma el concepto de cuenca.

En este caso de estudio en particular, en función de complementar el enfoque mencionado, se acude a la noción de integridad, entendida de forma sintetizada, como un desarrollo del concepto de salud en términos ecológicos, el cual se refiere a las condiciones adecuadas para que los ecosistemas se mantengan funcionales y equilibrados (Karr, 1996).

Para incorporar este concepto, es necesario examinar sus implicaciones teóricas, así como sus aplicaciones prácticas, en términos de generar aportes oportunos para la gestión y manejo de cuencas. Tomando en cuenta las generalidades anteriormente expuestas, y para comprender la noción de integridad, es importante considerar que su articulación surge desde distintos enfoques y antecedentes vinculados a la preservación y evaluación de las condiciones de los sistemas naturales, encontrando uno de sus fundamentos en la obra *Sand County Almanac* (Aldo Leopold, 1968) donde se presenta la idea de preservar un estado de integridad junto con las características de estabilidad y belleza de la comunidad biótica, mediante una “ética de la tierra” en contraposición de lo que Robert Zimdahl (2012) define como “ética produccionista”.

Las hipotéticas condiciones de integridad referentes a la cuenca se pueden observar y evaluar en sistemas naturales de distintas magnitudes, desde comunidades bióticas de sistemas acuáticos (Pérez-Munguía *et al.*, 2007) a dinámicas ecológicas de mayor escala, en este último caso aludiendo a la noción de integridad ecológica o integridad ecosistémica. Una hipotética condición de integridad ecológica se puede entender mediante la siguiente síntesis que presenta Equihua (2015) sobre los planteamientos de Levin (2005) y Kay (1991), en la cual se afirma que la condición de integridad surge de los procesos de auto-organización procedentes de los mecanismos termodinámicos que operan a través de la biota, la materia y la

energía, logrando estadios operativos óptimos no estáticos sino que oscilan al presentarse variaciones en las condiciones ambientales y de la biota, siendo también que la operación continua de tales procesos permiten prolongar los procesos evolutivos del mismo ecosistema.

Al tomar en cuenta los planteamientos mencionados y, al observar la cuenca como unidad ambiental y como unidad de análisis, surge la idea de “integridad de cuenca”, este estado de integridad se presenta, cuando diversas funciones de la cuenca, cómo pueden ser la regulación hidrológica y la provisión de hábitat, entre otras, se desarrollan, de manera individual y conjunta en un estadio operativo óptimo.

Esta clasificación y forma de evaluación por funciones, se puede observar en el *Index of Watershed Integrity* (IWI) (Flotemersch *et al.*, 2015) que evalúa 6 componentes funcionales de la cuenca mediante el uso de SIG y bases de datos del *United States Department of Agriculture* (USDA) y el *United States Geological Survey* (USGS), entre otras fuentes, considerando los impactos de origen antropogénico para constituir un índice dirigido a la gestión proactiva de la cuenca, así mismo, contando con aplicaciones predictivas sobre el impacto futuro en dichas funciones. Este índice se ha aplicado al territorio de los Estados Unidos Continentales (Thornbrugh *et al.*, 2018), Alaska (Aho *et al.*, 2020), así como en otros proyectos fuera del territorio de Estados Unidos.

Como se observa, las evaluaciones de integridad en cuencas abordan diversas variables y componentes del objeto de estudio los cuáles pueden ser examinados de manera individual o conjunta. Otro ejemplo de este tipo de evaluaciones es el *Multi-Scale Assessment of Watershed Integrity* (MAWI) (Kleiss *et al.*, 2008) realizada en 5 cuencas del sur de California mediante valoraciones y mediciones en campo, así como diversas bases de datos, con el propósito de generar índices de hidrología, integridad biótica y calidad del agua para generar líneas base, identificar objetos para conservación/restauración, manejo hídrico y evaluación de impactos acumulativos, entre otros.

El enfoque teórico y metodológico de integridad, resulta altamente oportuno como instrumento dirigido a la gobernanza de cuencas, no únicamente por su naturaleza sistémica y sus múltiples aplicaciones, sino por la manera en la que vincula directamente las condiciones de la cuenca y sus funciones, a los impactos derivados de actividades antrópicas, situación que a su vez, establece una trama favorable para correlacionar las pautas culturales, políticas y económicas que en forma de flujos de materia y energía, alteran la integridad de los ecosistemas, este enfoque se concibe como metabolismo social, el cual integra distintos esquemas de los sistemas biológicos al mundo de los procesos sociales y la forma en que el humano gestiona flujos materiales y energéticos en el medio biofísico (Fischer-Kowalski, 1998). Este aspecto permite desarrollar interpretaciones complementarias que

derivan en una comprensión más extensa de los fenómenos socioambientales que suceden en el territorio, lo cual permite generar un bosquejo donde se entrelazan puntos distantes, a veces desde una perspectiva heurística, que puede resultar benéfica en el contexto de la sustentabilidad (Paloniemi, 2014) y para abordar distintas interacciones socioambientales relativas a la integridad de cuencas.

1.1 Planteamiento del problema

Los ecosistemas terrestres aportan funciones importantes para la regulación del flujo hidrológico y su buen estado de conservación, lo cual resulta en un factor importante para prevenir la erosión y pérdida de suelos, por consiguiente, la sedimentación en los cauces y cuerpos de agua. A la vez, facilita la infiltración y flujo hídrico, mientras se mantiene la calidad del agua y se provee de hábitat (FAO, 2009), estas funciones resultan ser elementos clave en el estado de integridad de las cuencas. Por lo tanto, los componentes funcionales de la cuenca, no se circunscriben de manera exclusiva a las márgenes de la red hídrica, sino que su funcionamiento se observa afectado por las alteraciones que suceden en los ecosistemas terrestres y también en las condiciones de las zonas ribereñas (Brooks *et al.*, 2003, en Cotler, 2010). Los hechos mencionados conforman una evidencia de que los procesos de degradación ecosistémica resultan multitemporales y acumulativos, resultando procesos escalares que, a su vez, generan una cadena de causas y efectos que inciden en las interrelaciones entre los diversos subsistemas del espectro socioambiental.

Desde una perspectiva cronológica, el proceso de degradación de los ecosistemas y paisajes naturales, que incide en su condición de integridad, no resulta una situación que emerge de las estructuras políticas y económicas de la actualidad, el crecimiento de la población humana y el aumento en la demanda del capital natural, ligadas a las formas culturizadas de su uso, se presentan aproximadamente desde hace 10,000 años, sin embargo, dicho proceso se ha acelerado desde la revolución industrial (Duarte, 2006).

Como ejemplo de lo comentado, en el contexto de la región mesoamericana, es importante señalar que diversos procesos de degradación ya se evidenciaban en el Clásico y el Preclásico, como lo señala Hansen (2005) en el caso de la Cuenca Mirador-Calakmul donde la situación generada por la forma de consumo del capital natural, propició deforestación e impactos ambientales, debilitando el sistema agrícola, deviniendo en un estado socioambiental insostenible, que se constituyó como una de las principales causas del colapso maya.

Posteriormente a estos sucesos, en diversos estados del país, incluyendo el territorio del actual estado de Querétaro, se ha generado presión sobre diversos servicios ecosistémicos, que han acentuado procesos de degradación, por ejemplo, a través de la sobreexplotación de los bosques durante el Período colonial y la transformación ambiental por la introducción de actividades como la ganadería y la agricultura en su modalidad occidental (Lira, 1990).

Estos procesos localizados en el estado de Querétaro se presentan en distintas zonas, incluyendo el área de la microcuenca La Laborcilla, misma que se extiende parcialmente en los municipios de El Marqués y Colón, así como en San José Iturbide, Guanajuato. La microcuenca presenta distintas funciones ecosistémicas relevantes, ya que, en términos hidrológicos se constituye como una de las principales microcuencas tributarias en la zona de captación de la Cuenca del Río Querétaro (CONCYTEQ, 2003). Así mismo, El Zamorano, una importante elevación en el estado, ubicado hacia el noreste de la microcuenca, constituye un sitio de relevancia para la regulación del ciclo hidrológico en la región (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, 1999). La microcuenca, a su vez se localiza parcialmente en la Región Terrestre Prioritaria RTP-100 Cerro Zamorano (CONABIO, 2000). También, de forma parcial y dentro de los límites de la microcuenca, se encuentra el Área Natural Protegida (ANP) con categoría de Reserva Estatal “Dr. Mario Molina-Pasquel”.

A pesar de lo mencionado, en esta microcuenca, se hacen visibles varios procesos de degradación que se remontan al Período colonial ya mencionado, por ejemplo, la pérdida de cobertura vegetal y de erosión hídrica, debido a la tala de numerosas áreas forestales para la producción de carbón y construcción de la ciudad de Querétaro (POELMEM, 2018.). Por otra parte, algunas de las actividades mencionadas, siguen presentes como agentes de transformación de la microcuenca, evidenciando la ausencia de mecanismos eficientes de gobernanza ambiental y disminuyendo potencialmente sus condiciones de integridad.

Ejemplificando lo anteriormente expuesto y, en relación a la ubicación del sitio de estudio de esta investigación, el municipio de Colón, localizado dentro de la Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) “Semidesierto”, presentó una desvegetación bruta de 1,006.18 ha en el periodo de 1993 a 2002, siendo la de mayor superficie en comparación con los municipios de Cadereyta, Ezequiel Montes, San Joaquín y Tolimán pertenecientes a la misma UMAFOR (CONAFOR, 2007). De igual forma, en el mismo periodo de tiempo, el municipio El Marqués, perteneciente a la UMAFOR “Subcuenca Lerma-Otomí” presentó una desvegetación bruta de 767.46, siendo el municipio con mayor desvegetación de esta unidad (CONAFOR, 2007).

Por otra parte, se presentan evidencias sobre contaminación en algunos puntos del cauce principal de la microcuenca, donde se observan residuos sólidos y aguas jabonosas, mientras se efectúan obras de infraestructura que modifican la naturalidad del trazado de los mismos (González-Cadena, 2020). Así mismo, mediante observaciones prospectivas se han identificado modificaciones en distintos grados sobre las llanuras de inundación en distintos sectores de la microcuenca. Además, se observan procesos de degradación en los ecosistemas terrestres, los cuales agregan un conjunto de factores que inciden en las condiciones de integridad de la microcuenca, la cual, como ya se mencionó, resulta tributaria de la Cuenca del Río Querétaro. A su vez, esta última, presenta en distintas ubicaciones, afectaciones referentes a azolvamientos, canalizaciones y descargas residuales que generan problemas ecológicos y de salud pública (Valdez, 2017).

Diversas políticas, leyes y programas se refieren a mantener el equilibrio ecológico o ciertas condiciones en los cauces, como la Ley general del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y los instrumentos definidos como Programas de Ordenamiento Ecológico los cuales gozan de lineamientos y estrategias dirigidas a la protección y aprovechamiento ambiental, incluyendo los cauces y cuerpos de agua, sin embargo, se observan limitados en los procedimientos para diagnosticar las condiciones de integridad del territorio, bajo una perspectiva ecohidrológica ante diversos impactos concretos y en impulsar procesos de gobernanza bajo un enfoque de cuenca, siendo recomendado, integrar sistemas de monitoreo para evaluar tales condiciones (Cotler, 2010). A la vez, los Programas de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) y otros instrumentos similares, como Planes de Manejo de ANPs, generalmente carecen de indicadores específicos para valorar las estrategias propuestas en el rubro de integridad.

Así mismo, la red hídrica de esta microcuenca, carece de identidad específica en forma de Unidad de Gestión Ambiental (UGA) o una delimitación espacial para su manejo. Los ecosistemas fluviales a escala nacional, aún más, los cauces de órdenes inferiores, generalmente no gozan de suficiente atención en términos de especificidad en los instrumentos de planeación en relación a su manejo, regulación o rehabilitación. Desde la ecología de la restauración, en el contexto nacional, es posible observar que, dentro de los referentes a la temática, los lagos, la restauración de macroalgas, los arrecifes y los ríos, gozaron de la menor representación (López-Barrera, 2016). En tanto a otras omisiones, resultan excluidas las particularidades del metabolismo social de este territorio y su incidencia en sus condiciones de integridad, careciendo de estrategias diseñadas desde un enfoque sistémico robusto, donde se visualice la correlación entre los distintos factores de la microcuenca.

1.2 Justificación

El manejo y regulación ambiental en la Microcuenca La Laborcilla se presenta en un contexto dificultoso debido al aprovechamiento insostenible de sus ecosistemas, situación que se manifiesta como un proceso de degradación ambiental intergeneracional. Así mismo por la ausencia de aplicación práctica de instrumentos puntuales para su manejo y carencias en la organización y participación de los diferentes sectores involucrados, resulta necesaria la adopción de planes y estrategias que conciban enfoques sistémicos para una adecuada gobernanza de la microcuenca. La evaluación de integridad con enfoque de cuenca constituye un elemento importante para optimizar los procesos de gobernanza de las cuencas, al generar información pertinente y aportar elementos para la integración de estrategias y marcos de trabajo multifactoriales.

La naturaleza biofísica de la microcuenca La Laborcilla, además de gozar de un valor ecológico intrínseco, genera una cascada de servicios ecosistémicos que se externalizan a sus límites, principalmente en términos de aprovisionamiento hídrico, al considerar el principio precautorio y de prevención a favor de la naturaleza (Russo, 2009) y el agua (*in dubio pro natura e in dubio pro aqua*), entre otros principios del ámbito de la política ambiental que funcionan como fundamentos jurídicos y éticos aplicables al quehacer científico y con el propósito de impulsar un proceso de gobernanza que permita la estabilización o rehabilitación ambiental de la microcuenca, se requiere evaluar las condiciones funcionales del sitio en relación a los cambios vinculados a las actividades antrópicas del sitio.

El enfoque del estudio, así como sus fundamentos teóricos y sus métodos, no constituyen un proceso de análisis meramente descriptivo, de manera intrínseca, este tipo de estudios se desenvuelven como elementos importantes para mejorar procesos de gobernanza ambiental al proveer información tanto general como específica sobre las causas y condiciones de degradación de la cuenca, por lo tanto, estas evaluaciones gozan de un gran potencial y pertinencia y pueden complementar o subsanar algunas carencias relativas al monitoreo, manejo, gestión y regulación de los diversos instrumentos de planeación y ordenamiento concernientes a esta y otras microcuencas. En este caso en particular, los instrumentos oficiales consideran que sus administraciones podrán reconocer usos de suelo, estrategias o criterios de regulación ambiental adicionales a las UGA, permitiendo ejecutar proyectos que fortalezcan el desarrollo sustentable del territorio (POELMEM, 2018).

La idea de constituir un instrumento útil en términos de gobernanza ambiental no se restringe únicamente a evaluar de manera aislada las condiciones biofísicas del sistema y concebir de forma mecánica los cambios ambientales, sino que resulta necesario conocer sus nexos con el comportamiento del metabolismo social

(Gonzales de Molina y Toledo, 2011) del sitio, constituyendo este último, el factor cardinal que subyace en la dinámica de degradación ambiental de la microcuenca. Al considerar este planteamiento, en primera instancia, se valoran en términos biofísicos las funciones ecosistémicas de la cuenca, lo cual permite generar una perspectiva general de las condiciones de integridad del sitio, en una segunda etapa se observan algunas causas y circunstancias sociales, políticas, culturales y económicas concernientes a tal condición. El estudio de estas circunstancias, bajo un enfoque socioambiental, busca aproximarse, bajo una orientación fenomenológica (Schutz, 1962), a los significados, prácticas de uso, apropiación, intereses y otras formas de relación entre la población y los elementos ambientales de la microcuenca en 5 categorías: A) El sujeto en relación al medio social y al medio biofísico; B) Historia socioambiental y características culturales; C) Economía local, aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, regímenes de propiedad y formas de apropiación del espacio; y D) Organización social y participación gubernamental.

Para lograr un resultado que permita establecer un fundamento robusto para una intervención adecuada de la microcuenca, la información y el análisis conjunto de los productos obtenidos de las etapas de la investigación se integran para generar un bosquejo general sobre la incidencia del comportamiento social en sus condiciones funcionales. Los resultados del estudio propuesto pueden funcionar como elementos referenciales para el manejo específico de este territorio debido a los siguientes puntos: 1) Se establece una línea base que aporte información en futuros proyectos de monitoreo e investigación en materia ecosistémica; y 2) Se localizan elementos críticos que comprometan la integridad del sistema, situación adecuada para generar escenarios puntuales y en la posteridad, delimitar estrategias precisas para reducir y/o amortiguar la presión antropogénica hacia las funciones ecosistémicas con la finalidad de estabilizar u optimizar la condición de integridad de la microcuenca y la oferta de servicios ecosistémicos en relación al bienestar poblacional. Así mismo, el instrumento que se desarrolla puede resultar viable para su uso en otras microcuencas bajo las premisas de practicidad, objetividad, inclusividad y replicabilidad, con la posibilidad de expandir y mejorar sus aspectos metodológicos y de aplicación.

1.3 Preguntas de investigación

1) ¿Cuál es el grado de integridad de la microcuenca La Laborcilla, definido por las condiciones de las funciones de Regulación Hidrológica, Regulación Química del Agua, Regulación de Sedimentos, Conectividad Hidrológica, Regulación de la Temperatura y Provisión de Hábitat?

2) ¿Cuáles son los factores sociales, culturales y económicos, relacionados a las formas de apropiación y uso de los elementos biofísicos de la microcuenca con potencial de incidir en las condiciones funcionales y, por lo tanto, en el grado de integridad de la microcuenca La Laborcilla?

1.4 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la integridad de la microcuenca La Laborcilla y conformar una propuesta estratégica de gobernanza ambiental.

Objetivos particulares

1. Analizar el grado de integridad de la microcuenca mediante la incorporación de distintos índices e indicadores relativos a condiciones ecológicas.
2. Analizar de manera conjunta las relaciones entre los procesos sociales y las condiciones de integridad de la microcuenca para generar recomendaciones estratégicas orientadas a mejorar sus procesos gobernanza ambiental.

2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Para hacer referencia a una hipotética “condición óptima” en relación a un estado correcto de las funciones y estructura de un sistema natural, comprendiendo la idea de sistema bajo la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1976), ya sea una comunidad biótica, un ecosistema o una cuenca en conjunto de sus complementos anidados; existen diferentes nociones y conceptos que, a pesar de obedecer a distintas intenciones y/o aplicaciones, como ya se ha mencionado anteriormente en el cuerpo del documento, se encuentran atravesadas por una idea general de constancia en los procesos e interacciones que se desenvuelven como la causa eficiente de la amplitud de factores que componen a determinado fenómeno natural, así como su devenir constante hacia su causa final.

Algunos de los conceptos y teorías comúnmente utilizados, al momento de generar aproximaciones científicas dirigidas a evaluar o administrar los ecosistemas, o sus funciones ecosistémicas en forma de recursos o servicios, posiblemente se orienten desde una perspectiva política o económica en particular, tal es el caso del propio concepto de *gestión de cuenca* como antecedente de sus acepciones modernas, originalmente desarrollado a finales del siglo XIX e introducidas en la gestión del territorio a inicios del siglo XX en Estados Unidos, con la finalidad de

asegurar el suministro de agua para su uso en actividades productivas y con una fuerte relación a las actividades forestales y de agricultura (Neary, 2000).

La influencia o corrección política de la ciencia, o bien, la ciencia institucionalista, en ocasiones, puede desarrollarse mediante conceptos, que funcionan como fundamentos para la investigación que en ocasiones se desenvuelven como términos ambiguos o que históricamente se han utilizado de manera laxa, o bien bajo la influencia mencionada, siendo un hecho que puede socavar la objetividad de determinado estudio (Toledo, 1998). Este problema no radica solamente en un ámbito de inconsistencia y amplitud polisémica en términos lingüísticos, sino también, en la ausencia de indicadores estandarizados o de factores de medición normalizados, es decir, algunos conceptos que se aluden para definir a las condiciones ecosistémicas carecen de validez o de un aparato metodológico adecuado.

Además de lo planteado, hay que señalar que inclusive algunos términos comúnmente utilizados en distintos ámbitos de estudio, pueden carecer irremediablemente de objetividad ontológica, debido a que son extrapolados desde disciplinas o enfoques dedicados al estudio de sistemas u objetos de una naturaleza distinta o de una complejidad relativamente desemejante a los fenómenos donde se propone su uso, en dicho caso, los términos a utilizar precisan de una recategorización y replanteamiento en algunos de sus designios y sentidos fundamentales, que incluso podrían llegar a descomponer la definición etimológica del concepto y anular el sentido de su uso.

Por lo tanto, es importante conocer los significados y aplicaciones originales de los términos, lo cual, conlleva a conocer de forma extensa las posibles implicaciones y potencialidades de su implementación en el aspecto científico, pero también normativo, así como las distintas perspectivas profundas sobre la naturaleza de los fenómenos a los que aluden.

2.1 Integridad frente al concepto de salud en el contexto de cuenca

Atendiendo la necesidad de observar la aplicabilidad y uso de las nociones salud e integridad, es importante examinar algunas de sus condiciones etimológicas. La palabra salud proviene del latín *salus* y su primera acepción según la RAE (2021) es “Estado en que el ser orgánico ejerce normalmente todas sus funciones”. En la siguiente observación, al respecto del concepto, se describe lo siguiente:

“Si recuperamos para el término “salud” el significado, original y genuino, de “superar una dificultad” . . . o estado corporal que nos permite seguir viviendo. Vivir implica una actividad interna del ser vivo que consigue mantener una cierta independencia y diferenciación de su ámbito exterior: el mantenimiento de la homeostasis, característico de los vivientes, es un proceso activo que se realiza contra dificultades que opone el medio”. (Pardo, 1997, p.74).

Por otra parte, su origen en el idioma inglés es: “‘*health*’ derives from Old English ‘*hæloth*’, which is related to ‘*whole*’ ‘a thing that is complete in itself’” (Brüssow, 2013, p. 341), *Whole* hace referencia a la completitud del ente, es decir que no sufre de daño ni carece de ninguna de las partes que le confieren esa condición o estado. De forma complementaria se puede mencionar que el término salud también se puede utilizar de manera coloquial en términos positivos o negativos, por ejemplo, al hablar de “buena salud” o “mala salud”.

Como es posible observar, las definiciones mostradas son compatibles con la noción general que respecta al estado apropiado para que un sistema mantenga su estructura y funciones. Trasladando los conceptos ya mencionados desde su sentido etimológico hasta el contexto de cuenca, entendiendo que la misma además de constituir una unidad biofísica de estudio y gestión, se puede considerar como un sistema y también un ente conformado por diversos elementos. Existe posibilidad de implementar el uso de los conceptos integridad o salud, como cualidades de tal sistema, sin embargo, es necesario examinar la forma en la que se define su uso común y su científicamente admitido.

El concepto de salud en términos ecosistémicos Karr y Chu (1999) (en Flotemersch *et al.*, 2015) lo definen como el estado preferido (¿o seleccionado?) del ecosistema que ha sido modificado por el humano, haciendo notar que este estado preferido no resulta un término claro, pero que se establece mediante el consenso y en concordancia con aspectos políticos o normativos. Así mismo, Mageau *et al.* (1995), Ross *et al.* (1997) y Rapport *et al.* (1998) en Flotemersch *et al.* (2015, p.1658), comentan: “*A system in good health has the ability to provide a sustainable flow of services while maintaining functional and structural components at a level deemed acceptable by stake-holders.*”.

Después de observar las definiciones citadas, es posible considerar que el enfoque de salud ecosistémica asociado con la noción de salud de cuenca, constituye una aproximación que se desarrolla desde un enfoque incrustado en la dinámica socioambiental, ya que además de considerar los componentes bióticos y abióticos del territorio, considera la incidencia y demandas del factor humano sobre los servicios ecosistémicos, aunque la forma en que considera esta interacción, no es solo desde un aspecto secundario, relativo a intercambios o coexistencia neutral entre este último y el ambiente, o en los impactos y consecuencia del uso y transformación del territorio; sino en el interés implícito de la gestión del territorio y adecuación del ambiente en términos del beneficio de sus usuarios. Como mencionan Miruchami y Chan (2014) al respecto de la política hídrica antropocéntrica, los ecosistemas influyen en las actividades sociales y económicas, mediante la provisión de servicios ecosistémicos, que a su vez dependen de una condición de salud ecosistémica pero se ignora el valor intrínseco de los ecosistemas de las cuencas, situación que evidencia dos puntos importantes: 1) el territorio incluso cuando se interviene bajo una premisa de restauración ecológica y salud, la condición apropiada de funcionamiento del ecosistema o la cuenca, aún

se encuentra subordinada al interés y usos antrópicamente determinados; y 2) la noción de salud en relación a la condición de los ecosistemas, a pesar de ser adecuada en distintos sentidos, se priva parcialmente de objetividad científica al mostrarse orientada fuertemente desde una postura política-económica.

Lo anteriormente expuesto, es un aspecto factual en la administración del territorio, y a pesar de la evolución en la idea de manejo de cuenca, la gestión integrada de cuenca y la incorporación hacia nuevas perspectivas de sostenibilidad o nociones ecocéntricas para la gestión y manejo de los elementos biofísicos de las cuencas (FAO, 2007) el factor humano continúa desarrollando actividades orientadas a la satisfacción de sus necesidades e intereses.

No obstante, a pesar de la existencia de cierto consenso, al respecto de los usos del término salud en relación a los ecosistemas o las cuencas, retornando a la conceptualización con base al sentido etimológico, resulta necesario cuestionar objetivamente, si es posible considerar si determinado sistema goza de salud, aun cuando ha sido transformando incluso por la mínima intervención externa, ya que si la salud, en su definición, puede ser un estado de completitud, ya sea un ecosistema o cuenca que mantienen sus procesos y componentes funcionales intactos, incluso tomando en cuenta su régimen natural de perturbaciones, dicha condición de salud se disiparía al aumentar, reducir o modificar los mismos y alterar su condición intrínseca de totalidad, aunque el sistema mantenga condiciones antrópicamente definidas como estables

Si se examinan las nociones de salud anteriormente expuestas en idioma español, se pueden observar los términos “normalidad” y “homeóstasis” también es posible relacionar esta noción con: diversidad, complejidad, vigor, estabilidad, resiliencia o balance (Costanza y Mageau, 1999) estas ideas pueden proponer una mayor variabilidad en el rango de cambios en un sistema y si se utiliza el término salud de manera coloquial, en términos cualitativos es posible hablar de una cuenca “poco saludable” o “muy saludable”, en referencia a la normalidad en el funcionamiento de sus procesos o su condición homeostática, hechos que pueden ser medidos y determinados metodológicamente, pero como se observó, el uso presente dado a los términos salud de cuenca o salud ecosistémica se encuentran condicionados a la estabilidad del flujo de intercambios en dirección al aprovisionamiento socioeconómico, es decir, la aplicación del término salud radica principalmente en que los subsistemas de interés en el ecosistema o cuenca continúen utilizables en función de la demanda social de los servicios ofertados por los mismos.

Siguiendo una mecánica similar al respecto del concepto anterior, inicialmente se examina el sentido etimológico de la palabra integridad. Como observa Espinal-Gamarra, (2017), la palabra proviene del latín *Integritās* que significa: totalidad, robustez, salud y buen estado físico derivado del adjetivo *integer*: intacto, entero, no tocado, no alcanzado por un mal, a su vez *integrity*, del francés antiguo *intégrité* en *Online Etymology Dictionary* (2021), se deriva de la misma raíz en latín. Ya

concebido lo anterior, desde un aspecto etimológico la idea de integridad de cuenca haría referencia a la misma noción de condición “adecuada” en términos funcionales y estructurales, tratada desde el inicio del documento, pero también a la idea de completitud, y en este caso, es importante hacer referencia que se menciona explícitamente la condición de lo “íntegro”.

Adherida la noción de integridad al estudio ambiental, se puede apreciar una perspectiva sistémica implícita en ciertas propuestas, como la de Karr (1996) cuando define que integridad biológica es la capacidad de sostener un sistema biológico equilibrado, integrado y adaptativo comprendiendo todos sus elementos y procesos esperados en el hábitat de una región. Por otra parte, se observa un punto importante donde Angermeier y Karr (1994) y Callicott *et al.* (1999) (en Flotemersch *et al.*, 2015) exponen que algunos usos del concepto integridad, implican una condición de poca o ninguna alteración relacionada al humano, siendo esta la aproximación más fidedigna al sentido original del término.

El uso del concepto en relación a sistemas bióticos se concibe como integridad biótica, a pesar de esto, si se observa su uso de manera escalar, es posible hablar de integridad ecosistémica o integridad de cuenca; distinguiendo que el enfoque de integridad de cuenca, resulta a la vez, un fundamento y un método adecuado para mejorar procesos de gobernanza ambiental, pero también se manifiesta como la idea que alude a la condición y capacidad de la cuenca para mantener el rango completo de sus funciones y procesos necesarios para sostener su estructura física y la biodiversidad que alberga, así como el flujo de servicios provistos en términos sociales (Flotemersch *et al.*, 2015) diferenciado de la noción de salud principalmente por una idea de estabilidad no circunscrita de manera exclusiva al factor humano, así mismo por su escala, y sus aspectos metodológicos y de medición específicos, reiterando que el término integridad de cuenca además de un concepto se concibe como un fundamento para la investigación y un principio para la gobernanza ambiental.

2.2 Gobernanza ambiental

Para observar la relación entre el concepto de integridad y gobernanza, se vuelve una necesidad clarificar la relación entre la idea habitual de gobierno, su raíz etimológica y uso antiguo, en relación a la gestión, manejo y regulación ambiental. La gobernanza ambiental se nutre desde distintos ámbitos del conocimiento, aunque emana de la política o de forma más precisa de la ecopolítica o ecología política, la cual se ocupa como menciona Pereira-Guimarães (2011) en “mostrar que los problemas ecológicos son resultado de problemas políticos, de funciones institucionales de poder y de organización social”.

Vargas del Río y Brenner (2010, p.117) en su análisis sobre gobernabilidad y gobernanza ambiental en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, acudiendo a la RAE

aportan una definición general de gobernanza, la cual consiste en: “Arte o manera de gobernar que se propone como objetivo el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el Estado, la sociedad civil y el mercado de la economía.” En el mismo texto se afirma que el término gobernanza se refiere al ejercicio de poder en un sentido amplio, incluyendo mecanismos de asignación de recursos, control y coordinación, con una participación que no se restringe a actores gubernamentales (Bulkeley, 2005, en Vargas del Río y Brenner, 2010).

Para complementar las definiciones observadas, Pereira-Guimarães (2011) define algunos puntos clave sobre lo que es necesario entender por los objetivos de la gobernanza ambiental. En este caso, solo se alude a los puntos relevantes para el presente desarrollo: 1) Eficiencia para enfrentar los cambios ambientales; 2) Garantizar la integridad de los ciclos de la naturaleza; 3) Mantener el flujo de la Cascada de los Servicios Ecosistémicos; 4) Promover la resiliencia de los sistemas sociales; y 5) Revertir las asimetrías sociales promoviendo la equidad y la igualdad.

Lo anteriormente expuesto puede comenzar a trazar un semblante general sobre la relación que existe entre gobernanza ambiental y la idea de integridad, sin embargo, resulta necesario comprender a profundidad la idea de gobierno. Primeramente, al observar su origen en el sustantivo griego *Κυβερνήτης* (*Kybernetes*) traducido al latín como *gubernator* de donde se origina la palabra gobierno y el significado es “piloto de la nave” (Bovero, 1998) o timonel, este vocablo, Platón, en *La República*, lo asociaba al arte de gobernar a la gente. De este vocablo también se desprende la noción de cibernética, que Ampère (1856) en su *Essai sur la philosophie des sciences, ou, Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*, menciona como *cybernetique*, para referirse a la ciencia noológica de los modos de gobernar.

Desde una perspectiva de sistemas, resulta imprescindible, al abordar la idea de gobernanza de la cuenca, la idea de gobierno como un subsistema de control (sistema cibernético o mecanismo de control), en este sentido, estos sistemas procesarían las relaciones organización-entorno mediante los intercambios de energías e informaciones. Estos procesos se vuelven visibles de forma primigenia en los procesos homeostáticos de los organismos vivos, donde estos sistemas son capaces de procesar informaciones a un nivel que les permite autorregularse. (Boulding, 1956, en Navarro 2001).

La información necesaria para retroalimentar un mecanismo de control en un sistema socioambiental, como el caso de una cuenca, fluye de forma natural, de forma temporal y se manifiesta en los cambios materiales y espaciales. Como lo explica Margalef (1978) por una parte, el presente establece los límites para estados futuros, es decir, el tiempo es portador de información; por otro lado, en los sistemas materiales aparecen interacciones y mecanismos cibernéticos y, con ellos,

acumulaciones de información. Así mismo, Margalef ejemplifica lo expuesto (1978, p.8): “el desarrollo de los meandros en un río, la complejidad creciente de la corteza terrestre mediante sucesivas épocas de orogénesis, son dispositivos de almacenamiento de información del mismo modo que lo son los sistemas genéticos.” Por último, en relación al autor mencionado, se aclara que un sistema cibernético influencia el futuro, en este caso haciendo referencia a un sistema de control natural, sin embargo, un mecanismo de control antropizado en un ecosistema o cuenca, goza de la misma característica.

Afianzando la relevancia y aptitud de concebir los procesos gobernanza ambiental y sus procesos como sistemas de control, Easton (1957) (en Lopez-Montiel, 2008) considera que introducir la idea del sistema en la política, posibilita diferenciar la política de cualquier otra actividad social, este sistema de control se presenta como una «caja negra» donde existe transferencia e intercambios de información entre dicho sistema y el ambiente, así como entre los elementos del mismo sistema y de control de sus funciones respecto al ambiente, generando resultados que son aplicables para todos los componentes del suprasistema. En esta teoría política es importante mencionar que la cultura constituye el elemento que crea las entradas a la «caja negra» mediante las conductas de los ciudadanos expresadas en formas de demandas que se introducen al sistema.

Los instrumentos de política ambiental, se pueden definir como: “las herramientas, técnicas o mecanismos fluidos para alcanzar los objetivos políticos generales” (Bressers y O’Toole, 2005; Flanagan *et al.* 2011; Reichardt y Rogge, 2015, en Stein, 2016) pueden ser clasificados como instrumentos regulatorios (Control), información (Comunicación) o colaboración, entre otros. En un contexto de sistemas socioambientales, un subsistema de control, además de procesar un flujo de *inputs* de información constante en forma de *feedbacks* negativos, para posteriormente intervenir y corregir los procesos heterostáticos en la dimensión biofísica de la cuenca y estabilizarla, en sistemas socioambientales, aún en mayor medida se pueden presentar bucles de *feedbacks* positivos, que tienden a no mantener el equilibrio sino generar nuevos estados (Wiener, 1948; Ashby, 1956; Maruyama, 1963, en Navarro, 2001) de este proceso, se espera que el comportamiento de una población resulte transformada de manera estructurada (Kaufmann-Hayoz *et al.* 2001, en Stein, 2016), en este caso, aludiendo a transformar al metabolismo social dentro de la cuenca.

Además de la función de los *feedbacks* en los instrumentos de política ambiental, también es posible observar *feedforwards* como mecanismos pre procesales que no abordan las salidas de información como respuestas del sistema, sino que se dirigen a las entradas antes de ejecutar un proceso en el sistema, es decir, se fundamentan en simulaciones y generan información a priori, así detectando, de forma anticipada información hipotética sobre el proceso ejecutado o por ser ejecutado (Lorenzón, 2020), fijando directrices de intervención o corrección del

mismo. Además de los planteamientos ya mencionados Qi y Altinakar (2013) (en Wang, 2016) destacan la relevancia de utilizar conceptos de la dinámica de sistemas en la gestión de cuencas:

“Los conceptos de la DS pueden ayudar a describir el sistema; entender el sistema; desarrollar modelos cuantitativos y cualitativos; identificar cómo la retroalimentación de la información gobierna el comportamiento del sistema; y desarrollar políticas de control para una mejor gestión del sistema. Este tipo de análisis es crucial para los problemas de gestión de cuencas hidrográficas, ya que una variedad de componentes están interrelacionados entre sí, lo que da lugar a sistemas complicados que son dinámicos, interactivos e inciertos. (p. 973)

Tomando en cuenta los planteamientos expuestos, la evaluación de integridad propuesta se desarrolla en términos opuestos al sentido genérico y unidireccional de algunos enfoques de diagnóstico ambiental, los cuales no consideran la interrelación de los elementos de la cuenca. Los planteamientos se integran con el propósito de generar un artefacto de representación integral en términos factuales, con la finalidad de entender adecuadamente la cuenca como sistema y proveer una herramienta apropiada, que hipotéticamente, al implementarse, permita generar los instrumentos proporcionales para su intervención. Así, se pretende, procesar el flujo de *inputs* de información, ya que cualquier sistema de control expresado como instrumento político orientado como proceso de gobernanza ambiental, requiere obligadamente tal proceso. Esta información, como se observó en lo disertado por Margalef (1978), se encuentra en los elementos de la naturaleza, en este caso los elementos de la cuenca, considerando no únicamente sus procesos biofísicos, sino los vínculos existentes entre estos y los elementos sociales que convergen en la «caja negra».

2.3 Ciencia convergente y metabolismo social

La gestión de cuencas dentro de un contexto de crisis socioambiental, demanda a los actores científicos, políticos y ciudadanos involucrados en los procesos de gobernanza del territorio, a acudir a una transición en la forma cotidiana de abordar objetivamente lo real, manifestado en la naturaleza y en las interacciones socioambientales, con la finalidad de acrecentar las posibilidades de generar conocimiento en forma de recursos teóricos y prácticos válidos, eficientes y precisos para comprender e incidir en la situación mencionada. En las últimas décadas, se han generado alternativas y enfoques de estudio pluridisciplinarios, encaminados a la integración del conocimiento en sus distintas formas y jerarquías, con la finalidad de generar conocimiento de mayor complejidad y alcance, resultando un ejemplo la TGS mencionada anteriormente.

A pesar de lo mencionado, la investigación en la dimensión socioambiental, independientemente de sus cualidades y enfoques epistemológicos, no se encuentra exenta de operar mediante posturas unilaterales y segmentarias o proceder mediante fundamentos hiperespecializados (como lo pueden ser las

nociones reduccionistas de la sustentabilidad) o también de posturas ideológicas o productivas integradas de manera acrítica a la producción científica, como menciona Toledo (1998). En muchas ocasiones contraviniendo los principios del enfoque plural y de la búsqueda de conocimiento, desembocando en estudios que parten de hipótesis simplistas o que generan conocimientos sesgados e ideologizados sobre lo real.

Sin embargo, una orientación epistemológica plural, no implica la obsolescencia del valor del conocimiento generado unidisciplinarmente, estructurado mediante el método científico, aún en sus vertientes más especializadas bajo enfoques positivistas, siendo que la pluridisciplina por si sola y a pesar de sus frutos, no resulta ser el remedio de la crisis socioambiental, misma que, debido a su complejidad, exige no solo de marcos epistémicos alternativos, sino de revisiones en los propios paradigmas científicos y modelos de pensamiento que afronten los obstáculos comunes para la propia ciencia y lo que se define como *ciencia normal*, la cual, Grégoire (2016) en relación a *La estructura de las revoluciones científicas*, obra principal de Kuhn (1962) explica: “*Normal science can be fruitful, providing solutions for a restricted set of problems defined within the dominant paradigm.*” (p.25)

En cuanto a los obstáculos mencionados es posible hallarlos desde los provenientes de procesos de corrección política que constituyen la *ciencia oficial* y otros elementos introducidos propagandísticamente, así mismo, los de validación bajo criterios de productividad y rentabilidad en términos monetarios, pero también paradojas y obstáculos epistémicos (Bachelard, 1993), hasta los prejuicios y sesgos cognitivos del propio sujeto científico producto de su formación en constituida bajo paradigmas inflexibles.

A pesar del surgimiento de una reciente ola de reconsideraciones epistemológicas que intentan revalorizar algunos elementos del conocimiento tradicional en forma de sabiduría y saberes prácticos, así como la integración de múltiples disciplinas enfocadas a la resolución de problemas complejos en programas académicos, no necesariamente se han generado modelos de investigación o *conocimiento convergente*, por un lado, el que los prefijos multi, inter, trans, se integren a las publicaciones, ya sean artículos, proyectos de investigación etc. o se suscite la integración de nociones y conceptos tradicionales, así como de experiencias de sujetos adisciplinarios, no implica su articulación de facto.

Inicialmente, la epistemología y la gnoseología como disciplinas filosóficas, así como la teoría del conocimiento y otras formas de estudio al respecto del tema, como las teorías organizacionales, escasamente observan su participación en los programas académicos relacionados a la ciencia, principalmente en las ciencias naturales y ciencias exactas, además se presenta un abuso de los términos vinculados a la pluridisciplina, con finalidades retóricas y con una pretensión vanguardista al generar conocimiento. Por otra parte, es importante aclarar que la pluridisciplina y las disciplinas unitarias de ninguna manera presentan una relación

dicotómica, sino colaborativa, y el enfoque pluralista no resulta una propuesta que, como ya se mencionó, supera por sí misma las dificultades de la ciencia.

Los procesos colaborativos en la ciencia obligan cambios en la estructura tradicional de la academia sin trastocar los aspectos epistemológicamente funcionales en la misma, precisando de su restauración en distintos sentidos, pero no necesariamente bajo una postura deconstructivista ya que, como Fuller (2016) (en Graff, 2016) menciona: "*inquiry needs a social space where it can roam freely. That space, the natural home of interdisciplinarity, is the university. Unfortunately, that institution is often deconstructed, if not completely under erasure. in contemporary discussions of interdisciplinarity*". Siendo que estos procesos deconstructivos pueden moldear y orientar la estructura y funciones de la academia mediante programas interdisciplinarios hacia finalidades meramente productivas a través de un modelo de tecnociencia, pero también, en términos ideológicos, como ya se planteó en algún momento, en formas de propuestas transdisciplinares decoloniales, excluyentes de lo que en ocasiones se concibe como pensamiento ilustrado.

Por lo tanto, para la ciencia, entendida como un sistema de generación estructurada de conocimiento válido, así como para la comunidad científica que le da vida, el estudio de la crisis socioambiental, debido a sus condiciones complejas, así como la cantidad de factores sociales, culturales, políticos y económicos relativos a la generación de conocimiento, requieren una propuesta de *ciencia convergente* para generar mecanismos de gobernanza ambiental, lo cual implica retos no solo en términos metodológicos y epistemológicos, observaría también desafíos en términos éticos, institucionales e incluso políticos.

Un modelo de ciencia e investigación convergente en dirección al campo de estudio y gobernanza de las relaciones socioambientales, precisa de implementaciones metadisciplinarias, es decir, no solo de la integración disciplinar de distintos campos del conocimiento bajo un marco referencial común, sino del desarrollo de marcos de trabajo y esquemas estratégicos para la investigación con un enfoque de consolidación transdisciplinaria para la resolución de problemas comunes y específicos. De acuerdo a la publicación *Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*, publicado por el Consejo Nacional de Investigaciones (*National Research Council*) de Estados Unidos (2014), en forma de sumario, es posible visualizar las siguientes características del enfoque: 1) Se dirige a la solución de problemáticas específicas que aquejan a la sociedad y/o el ambiente, aportando soluciones innovadoras y teorías emergentes; 2) Precisa de mecanismos organizacionales para la colaboración y comunicación intersectorial profunda, donde se permita compartir y manipular datos e información; 3) Integra nuevos modelos, lenguajes y paradigmas, teóricos, pedagógicos y metodológicos para la investigación; y 4) Implica cambios en distintos niveles de gestión y participación a escala institucional, permitiendo articular alianzas plurales y formas de gobernanza estructural que permitan acelerar

y expandir las posibilidades de coparticipación de los distintos campos de la ciencia, también generando condiciones de financiamiento autosustentable.

Considerando los planteamientos anteriores, se genera la posibilidad de acudir a la teoría del metabolismo social como una idea que resulta un referente teórico importante en un proceso de conocimiento convergente en el contexto de gobernanza ambiental, concibiendo que esta teoría, resulta un marco de análisis que busca generar más que una metáfora, una analogía, como instrumento lógico (Beuchot, 2015), para describir y estudiar no solo las entradas y salidas, flujos, importaciones y exportaciones de materia y energía por determinada unidad social que puede concebirse en distintas escalas (individuos, comunidades, países) bajo distintas circunstancias y con distintas cualidades, sino también los procesos intangibles «caja negra» (Gonzales de Molina y Toledo, 2011) implícitos en el mismo, es decir los aspectos culturales mencionados anteriormente, relacionados a la cosmovisión, normas de interacción, procesos políticos e históricos de apropiación y uso de los servicios ecosistémicos, en este caso, dentro de la cuenca.

Como base de esta aproximación, Fischer-Kowalski (1998) en los términos materiales de la noción metabolismo social y sus implicaciones biológicas, es posible entender que: 1) Los sistemas biológicos y los ecosistemas gozan de propiedades de autoorganización que permiten optimizar el uso de energía y nutrientes; 2) Los humanos al igual que cualquier organismo heterótrofo en su finalidad de supervivencia y reproducción, observan la necesidad de mantener su propio metabolismo; 3) Los humanos gozan de capacidades de organización y cooperación, lo cual permite solventar estos procesos metabólicos de forma colectiva; 4) El metabolismo social, se puede definir como la suma de los metabolismos individuales de las unidades humanas; y 5) El concepto metabolismo en su contexto socioambiental debe expandirse y considerar los flujos y transformaciones materiales y energéticas asociadas a los organismos vivos, más allá del anabolismo y catabolismo a nivel celular.

Esta última forma de transformación de la energía, realizada instrumentalmente como explica Martínez-Alier (2003) con base en Lotka (1925), se concibe como exosomática y se manifiesta examinando la historia, la política, la economía, la cultura y la tecnología. Así mismo, esta se diferencia de su uso endosomático, que se restringe al ámbito biológico, comprendiendo que en el caso particular de la ecología humana se presentaría una subdivisión del fenómeno metabolismo, en bio-metabolismo y el tecno-metabolismo.

A manera de síntesis, al respecto de las teorías y conceptos analizados, la correlación entre la condición de integridad de la cuenca y el comportamiento del metabolismo social en determinado territorio, se concibe como un hecho concreto y evidente, pero simultáneamente, constituye un fenómeno complejo, el cual precisa de ser abordado mediante elementos de la perspectiva convergente referida, para inducir una consolidación adecuada de conocimientos pertenecientes a diversos

enfoques disciplinares, relativos al estudio de los sistemas socioambientales y se posibilite articular una base epistemológica con proposiciones adecuadas para generar procesos de estudio y gobernanza que faciliten la investigación e intervención de algunas particularidades del funcionamiento del sistema y otros procesos emergentes que pueden constituir situaciones de interés en el comportamiento de la cuenca.

A partir del conocimiento generado sobre el metabolismo de la microcuenca es posible proponer un instrumento complementario para la administración de este territorio, a través mecanismos de información y control expresados como instrumentos políticos que posibiliten la mejora de procesos de gobernanza y se generen escenarios puntuales con la finalidad estabilizar o mantener la condición de integridad en la cuenca, al considerar como criterio el estado de sus funciones, reiterando que por definición, la noción de integridad se refiere a un estado homeostático dinámico, inclinado a la continuación de funciones, cambios y procesos evolutivos de la cuenca en su proceso de duración natural, compatible con una idea de sustentabilidad post-desarrollista (Riechmann, 2014), en contraposición a un estado homeostático meramente “proyectado” (Mel'nikov, 2001) mismo que puede resultar disruptivo o restrictivo de los cambios naturales mencionados.

La incorporación del concepto de metabolismo social, como fundamento epistemológico, permite observar a mayor detalle interacciones en el ámbito de la sociedad, las cuales de forma discreta o tangible pueden generar condiciones de degradación en las funciones de la cuenca y por lo tanto la disminución de su integridad. El conocimiento generado sobre esta dinámica se presenta como base para generar condiciones de cambio, por lo tanto, constituye un elemento basal para el desarrollo de procesos políticos dentro de un contexto de gobernanza ambiental, es decir, el conocimiento generado bajo este enfoque, funciona como un precursor o una etapa inicial en un proceso de generación de cambios en las condiciones ecosistémicas de la microcuenca, el cual resultaría un ejercicio irrealizable, en caso de omitir o desatender las situaciones socioambientales en la microcuenca que tiendan de forma persistente hacia un estado de degradación.

3. ANTECEDENTES

Además de existir distintas aproximaciones conceptuales a la noción de integridad, existen diversas experiencias, casos de estudio y referentes metodológicos relacionados a la evaluación bajo este concepto haciendo énfasis al contexto de cuenca. A continuación, se muestran algunos de sus referentes, tanto en la aplicación técnica y uso de la noción de integridad de cuenca en dirección a la evaluación y manejo ambiental actual.

En el año 2007, El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la Universidad de Rutgers, el Servicio Geológico de E.U (USGS) y la Asociación de Planes Regionales (RPA), llevaron a cabo un estudio regional sobre los terrenos elevados de Nueva York-Nueva Jersey (Lathrop *et al.*, 2007), ya que, como consecuencia del crecimiento urbano y cambios de uso de suelo se observaron amenazados los servicios ecosistémicos. Este estudio resultó precursor en este eje de estudio, al desenvolver de forma operativa la noción de integridad de cuenca mediante una estructura de trabajo multivariable a escala de paisaje. En el caso planteado, el análisis se llevó a cabo, mediante indicadores a escala de paisaje, funcionando como una herramienta de evaluación y planificación concerniente a los impactos potenciales a la integridad de los bosques y la integridad de las cuencas hidrográficas con base en dos escenarios

Para llevarlo a cabo el análisis mencionado, se utilizaron tres indicadores: 1) Mapeo de cambio de uso/cobertura terrestre para evaluar cambios pasados y las tendencias actuales en la conversión de la cobertura terrestre desde la década de 1980 hasta el 2000; 2) Construcción de un modelo para proyectar posibles cambios futuros en el uso de tierra donde se excluyeron: a) Terrenos baldíos no desarrollados y b) Terrenos restringidos mediante mecanismos regulatorios. Posteriormente considerando las áreas restantes como propensas o disponibles para el desarrollo; 3) Indicadores a escala paisaje de la condición de los bosques y cuencas hidrográficas, acoplados a los modelos generados. Un conjunto de indicadores a nivel de paisaje fue elegido para evaluar el estado de los bosques y cuencas hidrográficas de los territorios elevados de NY-NJ: 1) Porcentaje de cobertura terrestre alterada e inalterada; 2) Porcentaje de cobertura superficial impermeable; 3) Porcentaje de las zonas ribereñas; 4) Porcentaje de bosque interior.

El análisis de indicadores se realizó con el propósito de fungir como herramienta de planificación para poder evaluar los impactos sobre los bosques y el agua y tomar en cuenta escenarios eventuales. Se menciona que el desarrollo continuo de las tierras altas mencionadas es inevitable (pudiendo observar condiciones similares en otros sitios) y se debe prestar mayor atención para proteger la integridad de los bosques y la integridad de las cuencas hidrográficas de estas zonas, ya que, entre menos sean consideradas las implicaciones futuras, más comprometida se verán las cuencas. Este estudio tuvo gran éxito en el logro de sus dos objetivos

principales: 1) Comparar el impacto relativo del escenario de restricción baja versus alta a escala regional; y 2) Identificar posibles puntos críticos de cambio ambiental que merecen mayor consideración en futuras decisiones de gestión de del territorio. El resultado arrojado destaca la diferencia entre el nivel de desarrollo permitido bajo el uso de suelo local disponible/existente y la cantidad de desarrollo que la región puede brindar sin interferir negativamente en sus recursos. Sin embargo, se observa que hay poca voluntad política para mitigar impactos negativos, aunque desde hace 15 años se ha buscado la protección legislativa de las zonas altas de NY-NJ.

Otra propuesta importante para la evaluación de integridad de cuencas, es el *Multi-Scale Assessment of Watershed Integrity* (MAWI) (Kleiss *et al.*, 2008), este mecanismo de evaluación constituye otro antecedente relevante del análisis estructurado con enfoque de integridad, el cual se dirige a establecer condiciones base, evaluar impactos acumulativos e identificar objetos propicios para la conservación o restauración, así como el manejo de los recursos hídricos tomando en cuenta la interconectividad e interacciones de los cuerpos de agua, áreas ribereñas y tierras altas, los cuales pueden tener cambios en zonas específicas, pero afectando al resto de la cuenca. Esta propuesta encuentra sus antecedentes de desarrollo y aplicación en cinco cuencas del sur de California, así como en la evaluación de la cuenca del Río Ruso en el norte del mismo estado. Estos estudios se desarrollaron mediante el uso de extensivo de SIG y modelos de lógica difusa. La evaluación originalmente considera la condición de varios componentes claves como índices de hidrología, integridad biótica y calidad del agua; los cuales son calculados mediante distintos indicadores que pueden provenir de bases de datos espaciales, así como de evaluaciones en campo y posteriormente, calculando un índice de integridad para cada subcuenca. Este mecanismo para funcionar como instrumento de manejo, toma en cuenta 4 criterios: 1) Condición ecológica; 2) Vulnerabilidad a impactos futuros; 3) Potencial de conservación; y 4) Potencial de restauración. Así mismo, este instrumento se propone como un modelo que puede ser implementado a escala nacional, también mencionando que este modelo se puede adaptar y resulta flexible para el uso en otras cuencas.

El *Index of Watershed Integrity* (IWI) fundamentando en el modelo conceptual de la Evaluación de Integridad de Cuenca (Flotemersch *et al.*, 2015) ya mencionado con anterioridad, es planteado con la intención de desarrollar un índice de integridad de cuenca, el cual considera la evaluación integral de seis funciones clave delimitables y medibles, que son indispensables para evaluar la condición de tal sistema: A) Regulación Hidrológica; B) Regulación Química del Agua; C) Regulación de Sedimentos; D) Conectividad Hidrológica; E) Regulación de la Temperatura; F) Provisión de Hábitat (Figura 1). De tales funciones se integra un solo índice con escala de 0 a 1, calculado como el producto de los seis valores señalados, lo cual sugiere que la pérdida completa de uno de estos valores al procesarse como producto y no una suma, y por la importancia de cada uno de estas funciones, conllevaría a un valor de 0. Esta metodología señala que, debido a la dificultad para

describir las condiciones originales de cada función, la aproximación se realiza evaluando las alteraciones antropogénicas de la cuenca (como pérdida de humedales, canalizaciones, cambios de uso de suelo entre otros).

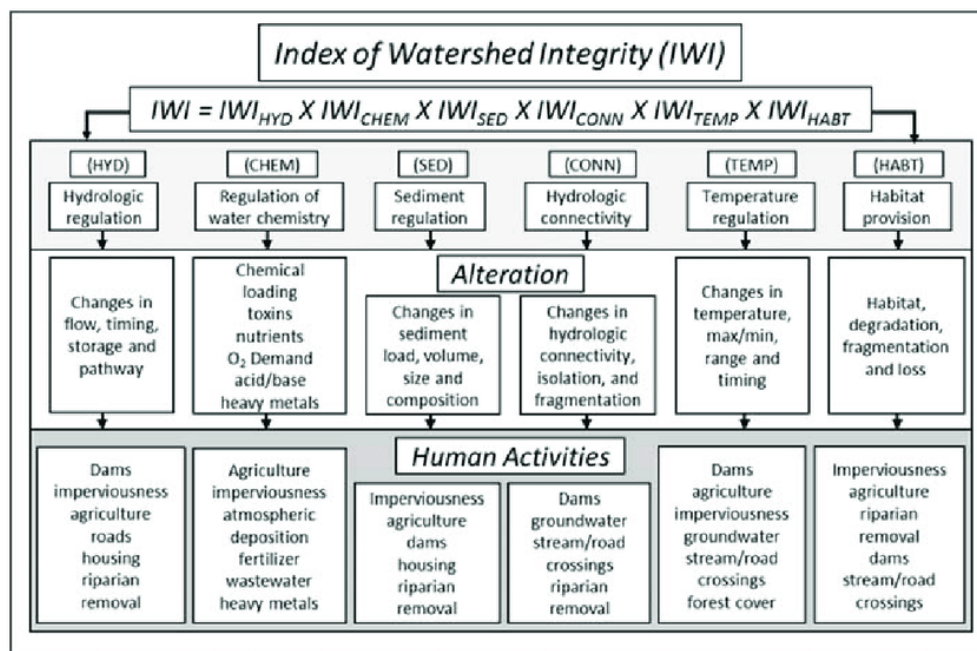


Figura 1.
Modelo conceptual del índice de Integridad de Cuenca. Tomado de Flotemersch *et al.* (2015).

Este índice se elabora mediante bases de datos del *United States Department of Agriculture* (USDA) y la *United States Geological Survey* (USGS), entre otros. El mismo índice sugiere que puede ser deconstruido en función de un manejo adaptativo, de igual manera enfatiza en que esta forma de evaluación ambiental se enfoca en atributos funcionales más que en componentes.

Del modelo anteriormente planteado se generó el Mapeo del Índice de Integridad de Cuenca de EU (Thornbrugh *et al.*, 2018) mismo que ha gozado de importantes alcances a escala nacional y se encuentra integrado a la base de datos *StreamCat* (Hill *et al.*, 2016) a partir de la cual fue generado, siendo que esta base de datos contiene aproximadamente 600 métricas en 2.65 millones de segmentos de arroyos y sus cuencas de captación asociadas en el territorio de Estados Unidos. Esta base de datos incluye variables biológicas, químicas, estructura física del hábitat, entre otras categorías. El mapeo ya mencionado, sugiere que este índice puede servir como un punto de inicio para futuros desarrollos tanto estatales, como locales. Igualmente, el IWI ha recibido un escrutinio continuo y se ha sometido a revisiones para inspeccionar su validez, determinando que esta propuesta es más robusta que otros indicadores y goza de cualidades que permiten contribuir a los objetivos de la

US Clean Water Act (CWA), siendo que el mapeo de integridad de cuencas a escala nacional facilita ejercicios comparativos y permite a los estados y agencias identificar y priorizar la protección de cuencas sanas, así como identificar elementos críticos de otras cuencas para implementar esfuerzos de restauración (Kuhn *et al.*, 2018).

Al respecto de la aplicación del IWI, como ya se ha comentado antes, se sugiere que existe margen de mejora y adaptación a situaciones particulares como es el caso de su aplicación en la cuenca Matanuska–Susitna en Alaska (Aho *et al.*, 2020) donde se modificaron los criterios de selección de indicadores para añadir, por ejemplo, a los referentes a las amenazas hacia el hábitat del salmón.

Fuera del territorio estadounidense, este índice fue recientemente aplicado a cuatro cuencas de la Península Balcánica (Aho *et al.*, 2020). Después de las severas inundaciones en Albania, Bosnia y Herzegovina, Kosovo, Macedonia, Montenegro y Serbia en el 2014, el *Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe* (REC) con apoyo de la EPA, realizó un proceso de adaptación y evaluación de este índice a su contexto paisajístico particular donde se generó un marco geoespacial, mediante un proceso revisado por pares, donde se seleccionaron bases de datos que pudieran representar las alteraciones antrópicamente inducidas en el paisaje, así mismo, las capas utilizadas para la evaluación se estandarizaron, conforme a la proyección acimutal equivalente de Lambert y la aplicación de otros tratamientos de estandarización para poder generar de manera adecuada un índice equivalente al IWI realizado en el territorio estadounidense. El IWI debido a su marco geoespacial consistente y sistemático, así como su enfoque conceptual, en suma de los ajustes y procedimientos correctivos sugeridos para su última versión, así como sus aplicaciones en distintos casos de estudio desde escala local hasta internacional (Johnson *et al.*, 2019) permiten observar un instrumento y una propuesta metodología robusta en vías de consolidación, con importantes prospectivas relativas al manejo y gestión de cuencas.

Además del IWI, varios estados de E.U. han desarrollado sus propios índices, en algunos casos tomando en cuenta los planteamientos ya presentados. El estado de California ha desarrollado una evaluación para identificar y caracterizar sus cuencas, en este caso, bajo el enfoque de salud de cuenca (EPA, 2013). Esta evaluación se conduce por el *EPA's Healthy Watersheds Program* y acude a integración y análisis de datos e información multidisciplinaria proveniente de distintos sectores e instancias gubernamentales de Estados Unidos. Su metodología contempla la evaluación de 6 atributos interrelacionados: Condición del paisaje, Geomorfología, Hábitat, Calidad del agua, Hidrología y Condición biológica. Los indicadores de cada grupo, 23 en total, se seleccionan considerando características relevantes para el ecosistema acuático y características antropogénicas con potencial para degradar las condiciones ecosistémicas.

Estos indicadores se obtienen de fuentes como: *National Land Cover Dataset* (NLCD) (Fry *et al.*, 2011), *USGS National Hydrography Dataset Plus Version 1* (NHD+) y *California Dept. of Water Resources* (CADWR), entre otros. Posteriormente, los valores obtenidos se normalizan con la finalidad de obtener una escala y una distribución uniforme. Finalmente, se desarrollan 12 índices independientes para representar tres grupos temáticos: Condición de la Cuenca, Salud del flujo y Vulnerabilidad de cuenca. El estudio permitió observar los distintos grados y condiciones de salud, así como vulnerabilidades específicas para cada cuenca y su agrupación en las regiones biogeográficas del estado, con potencial para su integración y seguimiento por parte de diversas agencias y programas gubernamentales en forma de proyectos de protección restauración y monitoreo.

Bajo una estructura de trabajo similar, también incorporada al *EPA's Healthy Watersheds Program*, se desarrolló el *Tennessee Integrated Assessment of Watershed Health*. (Matthews *et al.*, 2015) que fundamenta su análisis en los seis atributos anteriormente mencionados, así como fuentes similares de datos e información, sin embargo, en esta evaluación se constituyen dos índices como resultado final: Índice de Salud de Cuenca mediante la integración de 6 subíndices e Índice de Vulnerabilidad de Cuenca, mediante la integración de 3 subíndices. Esta evaluación al igual que la anteriormente mencionada, genera distintos aportes para conocer las condiciones de las distintas ecoregiones y cuencas del estado, la evaluación propicia mecanismos de planeación con enfoque de cuenca, mejoras en la evaluación, el monitoreo y la toma de decisiones, comunicación y socialización de información y también busca llenar vacíos de la información en términos ecosistémicos.

También en el estado de Tennessee, se desarrolló a manera experimental, una evaluación estadística multiescala en la cuenca del Río Duck, uno de los ríos con mayor biodiversidad en Norteamérica. Esta evaluación fue llevada a cabo como parte del *Ecosystem Management and Restoration Research Program* (EMRRP) del *US Army Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory* (ERDC-EL) (Pruitt *et al.*, 2020). Esta evaluación se basó en el *Stream Condition Index* (SCI) y se desarrolló con la finalidad de priorizar las cuencas para su recuperación, mejoramiento y conservación, conducir estudios ecosistémicos intensivos y evaluar respuestas ecosistémicas orientadas bajo un enfoque de manejo adaptativo. Este estudio requirió la estratificación del territorio en cuencas y ecorregiones, así mismo se seleccionaron 5 categorías de variables: Hidrología, Geomorfología, Biogeoquímica, Hábitat de flora y Hábitat de fauna. Si bien la evaluación contempla 18 indicadores, para el desarrollo del índice se toman en cuenta 11. Para el índice se determinaron correlaciones mediante un análisis regresivo, así mismo los valores se procesaron mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

El departamento de Conservación y Recreación de Virginia (2017) mediante el *Virginia Watershed Model* considera de importancia el componente terrestre en

cuanto a sus contribuciones a la calidad del agua e integridad de la cuenca, siendo que este modelo provee de información en tema de priorización de sectores terrestres para su conservación. Este modelo prioriza de forma separada los elementos ya mencionados en: 1) Conservación; 2) Restauración; y 3) Manejo fluvial, dependiendo de su tipo de cobertura y otras características. Para realizar la evaluación se acude a compilar información de múltiples bases de datos de fuentes previamente mencionadas para otros estudios como NHD+ y NLCD, en suma, de otras fuentes de datos locales, que proporcionan información sobre: a) Posición del paisaje; b) Sensibilidad del suelo; c) Integridad de cuenca; y d) Priorización. Mediante estas bases de datos, acudiendo a SIG, se generan distintos valores para finalmente generar tres capas en formato *raster* correspondiente a las tres formas de priorización mencionadas, siendo este el producto y resultado final del proceso.

En una menor escala espacial, en Oregon City se lleva a cabo una evaluación de cuenca bajo la noción de salud de cuenca (ICF International, 2010). Esta evaluación se efectúa para tres subcuencas contiguas, las cuales han sido alteradas de manera importante debido a los procesos de urbanización, agricultura y otros usos del sitio. Las representaciones cartográficas elaboradas para este índice buscan utilizarse como un elemento base para futuras evaluaciones y planes de restauración. Dentro de esta evaluación se contemplan los siguientes elementos como objetos de estudio, cada uno con diversos indicadores para su análisis: 1) Condición general de la cuenca, considerando cobertura y uso de la tierra, geología entre otras; 2) Áreas riparias y humedales, evaluando indicadores como pérdida de hábitat o especies invasivas; 3) Flujos y uso del agua, analizando patrones del flujo o ubicaciones de puntos de extracción; 4) Erosión de la superficie y flujos de sedimento, evaluando erosión de bancos y tierras arriba; 5) Calidad del agua, tomando en cuenta propiedades químicas; y 6) Hábitat acuático y poblaciones de peces, observando presencia y distribución de algunas especies, así como su relación a infraestructura y usos humanos.

Siguiendo el historial de evaluaciones presentadas, dentro de las iniciativas para rehabilitación y análisis de la calidad del Río Han en Corea del Sur se presenta la implementación de otro índice concerniente a la integridad de cuenca, en este caso como *Watershed Health Index* (Ahn & Kim, 2017), el cual se basa en el modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) enfocado a las funciones hidrológicas y relativas a la calidad del agua., sin embargo, como lo sugiere la EPA, este indicador considera seis indicadores esenciales: 1) Condición del paisaje terrestre; 2) Geomorfología; 3) Hidrología; 4) Calidad del agua; 5) Hábitat; y 6) Condición biológica. A partir de estos indicadores se genera un subíndice para cada uno de ellos y finalmente se integran en un índice único. Esta evaluación al se integra mediante información y datos obtenidos en campo, modelación y SIG.

En el caso de estudio en específico se determinó que la salud de la cuenca había disminuido en el periodo 2005-2014, así mismo relevando distintas áreas vulnerables. Posteriormente se propone que este enfoque y los subíndices como

resultado del proceso de evaluación pueden funcionar para elaborar planes maestros en el proceso de gestión de cuencas. Este mismo conjunto de subíndices puede expandirse e integrar información pertinente para generar propuestas de manejo más específicas.

Otro enfoque concerniente al tema de estudio, es el de integridad ecohidrológica misma que se diferencia con el de integridad ecológica al considerar los procesos y funciones hidrológicas implícitos en los ecosistemas acuáticos y fluviales. El enfoque de integridad ecohidrológica al que acude Garcia-Rodrigues (2015) de manera complementaria a los procedimientos y mecanismos planteados en las propuestas de índices observadas, enfatiza que las estructuras biofísicas y procesos que fundamentales de los ecosistemas son la base de la cascada de servicios ecosistémicos, tales estructuras y procesos dependen de una condición determinada de integridad para poder ser provistos.

El mismo autor, genera un *indicandum* de integridad ecohidrológica, remitiendo a la evaluación mediante matrices para interacciones de propiedades ecosistémicas referentes a integridad ecosistémica e indicadores de servicios ecosistémicos propuesta por Kandziora *et al.* (2013) donde se observa que una potencial condición de integridad más allá de resultar en beneficios tangibles y cuantificables, como servicios de aprovisionamiento, regulación o soporte, se presentan servicios culturales no necesariamente relacionados a actividades turísticas o recreativas, medibles en términos monetarios, sino que bajo esta idea, es posible interrelacionar indicadores de integridad como pueden ser biodiversidad o captura de exergía con distintas expresiones en la cultura como la religión, la experiencia estética o el entendimiento. En este punto es posible concebir un vínculo biocultural, con relevancia para el manejo y la conservación de un ecosistema, más que la provisión unilateral de un servicio.

Otra propuesta orientada de este enfoque, misma que permite observar la importancia de las condiciones de integridad ecosistémica es la que expone Burkhard *et al.* (2014) quien explica la relación entre integridad y provisión de servicios mediante una aproximación metodológica que permite evaluar este vínculo a escala de paisaje. Esta propuesta permite interrelacionar mediante un ejercicio de matrices, indicadores de integridad con propiedades ecosistémicas, observando indicadores de integridad de dos tipos: 1) Funciones: Captura de exergía, Producción de entropía, Capacidad de almacenamiento, Ciclo y Reducción de pérdida de nutrientes, Flujos bióticos de agua, Eficiencias metabólicas; y 2) Estructuras: Heterogeneidad y Diversidad biótica. Por otra parte, las propiedades ecosistémicas propuestas son: Estructuras del ecosistema, Flujos de Carbono, Flujos de Energía, Flujos de agua y Flujos de Materia. A su vez los indicadores de integridad pueden ser interrelacionados con indicadores de servicios ecosistémicos de regulación, aprovisionamiento y servicios culturales, cada uno con su set de indicadores específicos, por último, estos pueden ser interrelacionados con atributos de bienestar social en tres categorías: económico, social y personal.

Mediante los procedimientos planteados, este ejercicio teórico aporta un mecanismo interesante de trazabilidad específica de las interrelaciones y vínculo de las condiciones de integridad con la cascada de servicios ecosistémicos desde una valoración socioambiental que no es exclusivamente económica.

Además de evaluaciones y modelos conceptuales relativas a la temática específica de integridad de cuenca, existen propuestas relevantes al enfoque de evaluación de componentes específicos de la cuenca, como el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación de sistemas fluviales, aplicado en la Cuenca del Ebro, donde su objetivo se ha definido de la siguiente manera:

“El objetivo de la evaluación puede ser la determinación del estado ecológico, la definición de medidas de restauración o rehabilitación, la conservación de corredores ribereños, la ordenación del territorio, la gestión sostenible del agua, la zonificación en función del grado de riesgo. . .”(Ollero-Ojeda *et al.* 2009, P. 33).

Esta evaluación acude a imágenes aéreas, así como a mediciones y observaciones en campo, mismas que no son visibles en mapas o fotografías aéreas. Para evaluar la condición del sistema fluvial, estas observaciones se clasifican en 9 categorías de 3 grupos: A) Calidad funcional del sistema; B) Calidad del cauce; y C) Calidad de las riberas. Este índice se basa en los impactos antrópicos sobre los procesos y funciones del sistema fluvial de la cuenca.

A nivel nacional existen diversos casos de estudio y planteamientos relativos a la evaluación de integridad ecosistémica en relación a las cuencas. Cotler (2020) expone la relación entre la integridad de la cuenca, los servicios ecosistémicos derivados de esta condición y su gobernanza en el contexto nacional, dentro de este análisis se contempla que el 66 % de las cuencas de México presentan un grado de deterioro alto a excesivo, poniendo en riesgo al 81 % de la población siendo esto consecuencia de decisiones realizadas de forma centralizada, sin esquemas de planeación y sin considerar la dinámica de cuencas, donde no se consideran los impactos acumulativos y existe ineficiencia en las instituciones de control y sanción, así mismo se enfatiza en que para garantizar la disponibilidad y sustentabilidad hídrica es necesario optimizar la integridad de la cuenca mediante su gobernanza.

En la Cuenca del Valle de México mediante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), al reconocer que la noción integridad ecológica (noción que el texto agrupa en 3 elementos: integridad física, biológica y química) se ha establecido como una importante noción reguladora en materia ambiental en diversos países y al concebir las distintas características y cualidades que confieren la condición de integridad a cada uno de los elementos mencionados, con el propósito de abordar diversas problemáticas relacionadas a la seguridad hídrica del sitio mencionado; se realiza un análisis de integridad hidroecológica en la cuenca ya mencionada (Mijangos Carro *et al.* 2017) con cinco ejes temáticos: 1) Calidad del agua; 2) Hidrología superficial; 3) Hidrología Subterránea; 4) Indicadores biológicos; y 5) Cambio

climático. Igualmente, desde la ecohidrología, se considera que la cuenca, es un macrosistema donde se establecen interacciones ecológicas, hidrológicas y sociales.

Este estudio si bien no se efectúa mediante un índice de integridad, proporciona datos e información extensa en las áreas temáticas ya mencionadas, con implementaciones de medición objetivas y con la posibilidad de mostrar el escenario socioambiental actual que se afronta en la Cuenca del Valle de México, así como llevar a cabo proyectos e implementaciones particulares en las zonas específicas de la cuenca donde se observan distintas problemáticas, por ejemplo: la descarga de aguas residuales y procesos erosivos que afectan el curso medio de la cuenca, o de procesos de urbanización en la zona de captación con potencial de alterar el balance hídrico, sobreexplotación severa de los acuíferos, entre otros.

Dentro del contexto regional, bajo el mismo enfoque de integridad ecohidrológica, Cueto-Espinosa (2019) realiza un análisis de integridad en la Cuenca del Río Zanateco, en Chiapas. Esta contribución resulta un referente significativo al acervo de propuestas académicas sobre el tema de integridad de cuenca al fungir como una propuesta conceptual y metodológica donde se integran las nociones de cuenca, integridad y manejo para generar una estructura sistematizada de trabajo, articulada mediante distintos aportes relativos a la evaluación e integración de diversas variables y parámetros relativos a la calidad de los ecosistemas, biodiversidad, ecología del paisaje, calidad del agua, entre otros.

Como referente a escala estatal sobre este tipo de evaluaciones, Torres-Olvera (2018) realiza un análisis en la microcuenca del Río Jalpan, y propone un método de evaluación considerando distintos índices y evaluaciones: Índice de integridad biótica basado en asociaciones de macroinvertebrados acuáticos (IIBAMA), *biological monitoring working party system* (BMWP), calidad ambiental visual (VBHA), índice de calidad de riberas (RQI) y la calidad ambiental Urbana (ICAU), entre otras mediciones y estimaciones que permitieron examinar la calidad de distintos componentes de la cuenca, así como algunas de sus interacciones bajo el enfoque de integridad ecológica.

3.1 Consideraciones finales

Después de examinar las aplicaciones prácticas en forma de metodologías e instrumentos de análisis relativos a las temáticas de salud e integridad ecosistémica o bajo el enfoque de cuenca, es posible observar similitud entre estas, ya que ambos denotan el aspecto de completitud, estabilidad e incluso resiliencia al respecto de un sistema. Por otra parte, ambos fungen como conceptos integrados y vinculados a mecanismos de evaluación afines a la gestión de cuencas, aunque es posible distinguir que, el enfoque de salud de la cuenca, a pesar de gozar de una noción integral en términos socioambientales, puede carecer de la perspectiva sistémica

completa y de mayor actualidad que goza el enfoque de integridad de cuenca, sin embargo, el enfoque de integridad de cuenca, no posee una estructura homologada o rígida sobre factores y parámetros objetivamente medibles o verificables.

Es importante distinguir que, a pesar de que ambos términos se desenvuelvan como fundamentos centrales en distintos mecanismos de evaluación y gestión debido a un contexto político o económico determinado, las propuestas instrumentales se pueden orientar a distintos cometidos, es decir, el enfoque de salud de la cuenca se dirige principalmente hacia aprovisionamiento sostenido y beneficio del subsistema humano, de ahí derivando la intención de mantener estables, los procesos y funciones en la cuenca. Por otro lado, el enfoque de integridad de cuenca, debido a la perspectiva sistémica ya mencionada, por su apego de mayor coherencia al concepto original y por sus propuestas metodológicas con un enfoque de mayor alcance, puede anteceder a una idea de estabilidad general del sistema denominado cuenca, en este caso de estudio se busca la incorporación del modelo conceptual del Índice de Integridad de Cuenca (IWI) (Flotemersch *et al.*, 2015), que se constituye por la clasificación de 6 funciones y las alteraciones generadas sobre las mismas debido a las actividades humanas.

Como ya se ha observado en esta revisión, las aproximaciones metodológicas al respecto del tema de integridad de cuenca gozan de similitudes al contemplar en sus evaluaciones elementos derivados de la interacción de los factores biótico, hidrológico y antrópico, es decir, provisión de servicios y/o perturbaciones que surgen de la convergencia de tales factores, representados por distintos indicadores y parámetros, pudiendo observarse a un nivel de cuencas, ecosistemas, ecorregiones u otras unidades del paisaje ya sea de manera aislada o en conjunto; por lo tanto el análisis e investigación e instrumentos de integridad bajo el contexto de cuenca, se constituyen mediante estructuras de trabajo multiparamétricas y multiescalares.

Resulta importante destacar que la mayoría de las metodologías propuestas enfatizan su flexibilidad y adaptabilidad para realizar evaluaciones de esta naturaleza bajo distintas condiciones y niveles de acceso a la información, siendo que el cúmulo de evaluaciones, así como mediciones y estimaciones parciales sobre las funciones y elementos de la cuenca, gozan de valor como acervo del estudio ambiental, al establecer líneas de base, ante futuros monitoreos o evaluaciones de mayor extensión, sin embargo es de notar que existen factores que se consideran y reiteran para su análisis, pudiendo ser el modelo de seis elementos funcionales el que englobe o mejor represente de manera sintética los objetos a investigar para el presente estudio.

La revisión de estos antecedentes conlleva a observar la importancia de las funciones hidrológicas de la cuenca, así como su influencia e interacciones en relación a elementos externos del sistema fluvial, por ejemplo, al considerar su relación con los ecosistemas terrestres y otros factores anexos a las márgenes del

cauce y el *buffer* ripario con incidencia en su dinámica, aún más, resaltando el factor antrópico y los estresores derivados del comportamiento sociocultural, económico y político relativo a la transformación de la cuenca. Por lo anterior, el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) (Ollero-Ojeda *et al.*, 2007) en conjunto de sus parámetros de evaluación, resultan un componente de importancia para el desarrollo de esta investigación, ya que este índice resulta altamente compatible con el modelo conceptual del IWI y resulta propicio para el estudio de las condiciones de integridad a una escala de microcuenca, donde la información institucional disponible puede resultar escasa o de una escala incompatible.

En la realización del estudio también se consideran algunos elementos de la estructura metodológica en la evaluación de integridad ecohidrológica elaborada por Cueto-Espinosa (2019) en tanto a las formas propuestas de clasificación e integración de indicadores. Así mismo, resulta importante señalar que la combinación e incorporación de estos métodos, precisa mediciones *in situ* pero también el uso de SIG, imágenes teledetectadas, así como elaboración y análisis de capas, donde se puedan incorporar los valores de cada grupo temático, en este caso, estos últimos representados por 6 funciones de la cuenca, donde se considera que estos métodos y técnicas resultan un procedimiento habitual en este tipo de estudios, como ya se observó en el *Multi-Scale Assessment of Watershed Integrity (MAWI)* (Kleiss *et al.*, 2008) o el *Virginia Watershed Model* (VDCR, 2017).

Cabe señalar que las formas de evaluación seleccionadas, en su mayoría, no se desarrollan como métodos de investigación descriptiva, sino que de forma intrínseca y como propósito de su aplicación, se destinan al manejo y gestión del territorio, por ende constituyen un elemento importante a la gobernanza de los sistemas socioambientales como son las cuencas, sin embargo, el estudio de las interrelaciones en este tipo de sistemas, no resulta uniforme en los instrumentos e investigaciones planteadas; es posible observar que en la mayoría de los índices de integridad solo se observan los efectos energéticos y materiales de la interacción humana en el medio, por lo tanto resulta importante observar perspectivas como las propuestas por Burkhard *et al.* (2014) y Kandziora *et al.* (2013) donde es posible considerar factores subyacentes del comportamiento humano dentro de los ecosistemas, aún más dentro de un espectro sociocultural diverso.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Localización

La Microcuenca La Laborcilla, en términos hidrológicos, se ubica en la cuenca del Río Querétaro, en la Región Hidrológica RH12 Lerma-Santiago, situándose en el parteaguas de esta región y la RH26 Pánuco (SINA-CONAGUA, 2021). La ubicación geográfica de la microcuenca (Tabla 1) es al norte del municipio El Marqués, Querétaro, extendiéndose en una fracción, al noroeste del municipio de Colón, Querétaro. desde las laderas y piedemonte del Pinal de Zamorano y al sureste del municipio de San José Iturbide, Guanajuato (Figura 2).

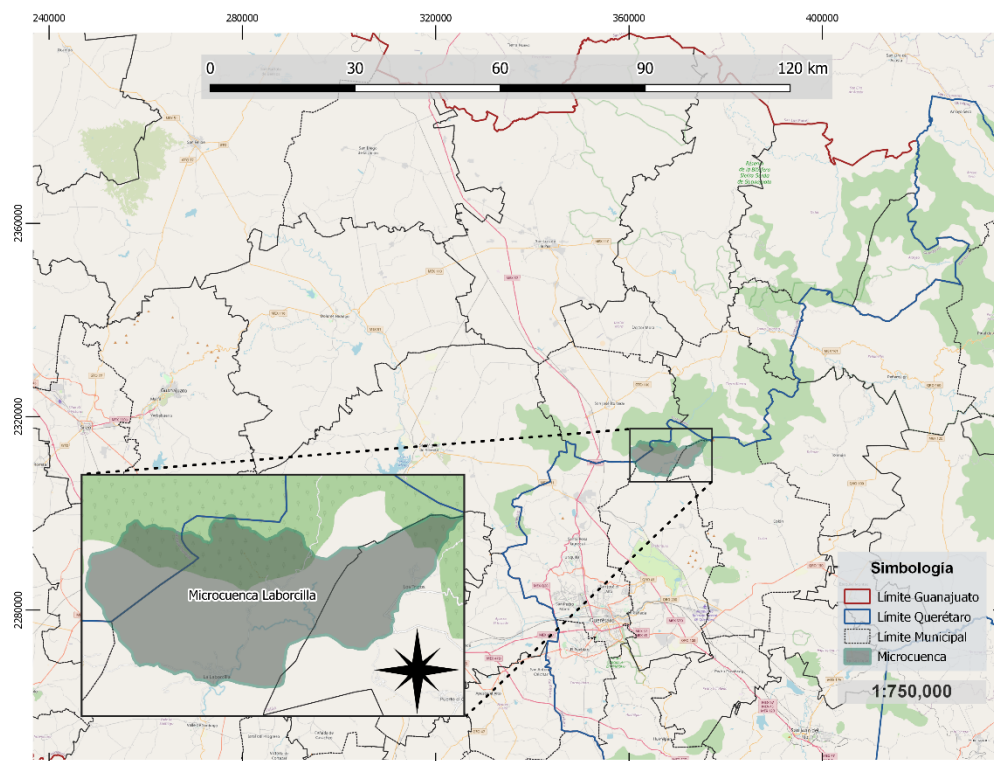


Figura 2.
Localización. Elaboración propia

Tabla 1. Coordenadas extremas.

Coordenadas extremas		
Orientación	Norte	Oeste
Norte	2315153.970	376251.597
Sur	2307858.359	367774.066
Este	2315149.449	376264.474
Oeste	2312201.956	360221.525

Fuente: Elaboración propia

4.2 Descripción general

La microcuenca tiene un área de 70.51 km² con una altitud media de 2509 msnm. Así mismo, dentro del parteaguas de la microcuenca se pueden localizar únicamente 2 asentamientos humanos: Los Trigos y La Laborcilla, siendo esta última, la de mayor extensión, estas localidades se encuentran comunicadas por carreteras pavimentadas, también observando una red medianamente extensa de caminos rurales y ubicando dentro de su territorio fracciones de 3 ejidos: Ejido Emiliano Zapata-La Laborcilla, Ejido Cilerio Esparza-La Laborcilla y Ejido Los Trigos (RAN, 2020) (Figura 3). Es posible considerar esta microcuenca como un espacio rural con superficies silvestres. La delimitación de la microcuenca La Laborcilla, se encuentra mayormente situada dentro de la Región Terrestre Prioritaria RTP-100 Cerro Zamorano (Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, 2000), encontrando en la zona de captación, varias secciones de bosque de encino y bosque de encino-pino. El Zamorano, además de presentar funciones hidrológicas importantes a escala regional, aloja el único bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el estado de Querétaro (Gómez Sánchez, 1997). También se observa bosque de galería (Rzedowski, 1978) en las márgenes de ciertos cauces y existe la presencia de una planta vascular endémica, así como de ciertas aves y reptiles, también, genera provisión de servicios ecosistémicos relacionados a la recarga de acuíferos y mantenimiento de germoplasma (CONABIO, 2000). Sin embargo, se atestigua una importante superficie de cobertura vegetal modificada por actividades antrópicas.

La microcuenca alberga parcialmente el Área Natural Protegida (ANP) con categoría de Reserva Estatal “Dr. Mario Molina-Pasquel” conocida como “El Pinalito” conforme en el Periódico Oficial de Gobierno del Estado “La Sombra de Arteaga” (2003) donde se estima la presencia de 300 especies de fauna, encontrando algunas de estas, sujetas a protección especial como *Myadestes occidentalis*, *Kinosternon integrum*, *Crotalus aquilus* y también una especie amenazada, *Pituophis deppei*, dentro de la normatividad federal en términos de protección ambiental (NOM-059-SEMARNAT-2010).

De igual manera, El Zamorano, decretado como ANP, en su fracción localizada en el estado de Guanajuato alberga 19 especies con algún estatus de protección, entre las que se observan: *Falco peregrinus*, *Barisia imbricata*, *Phrynosoma orbiculare*, *Lithobates neovolcanicus*, entre otras. (SMAOT, 2020). Así mismo El Zamorano se considera una de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) en el país (CONABIO, 2018).

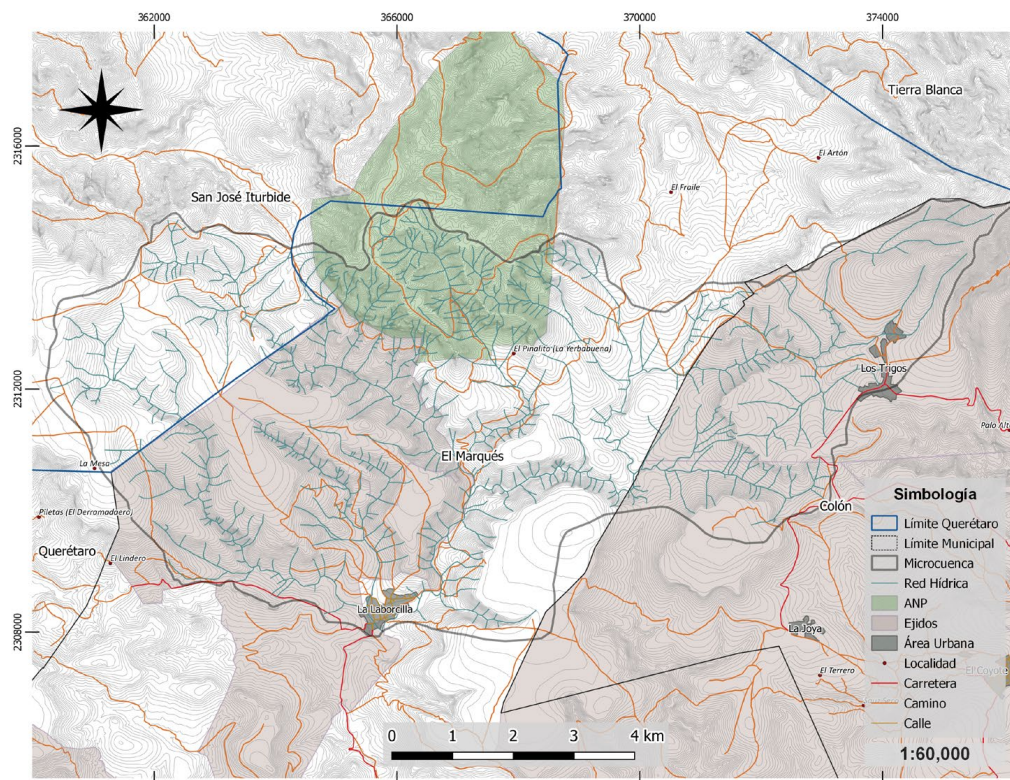


Figura 3.
Microcuenca La Laborcilla. Elaboración propia con datos de INEGI (2006)

4.3 Clima

En la clasificación de Köppen, es posible localizar tres tipos de climas para la microcuenca. Dentro de los climas templados subhúmedos se observan C(w0) y C(w1), con más de 40 mm de precipitación en el mes más seco, con lluvias de verano y sequía en invierno con un % de lluvia invernal entre de 5 y 10.2 así como una temperatura media anual entre 12° y 18°C.

En la misma clasificación en templados húmedos del subtipo semifrío C(E)(w2) con una temperatura media anual entre 5° y 12°C, caracterizados como climas de alta humedad dentro de su grupo (INEGI, 2015) (Figura 4). Con información de 7 estaciones meteorológicas (CICESE, SMN, CONAGUA) (Tabla 2) mediante un proceso de interpolación se han determinado los rangos de precipitación y evaporación para la microcuenca (Figuras 5 y 6).

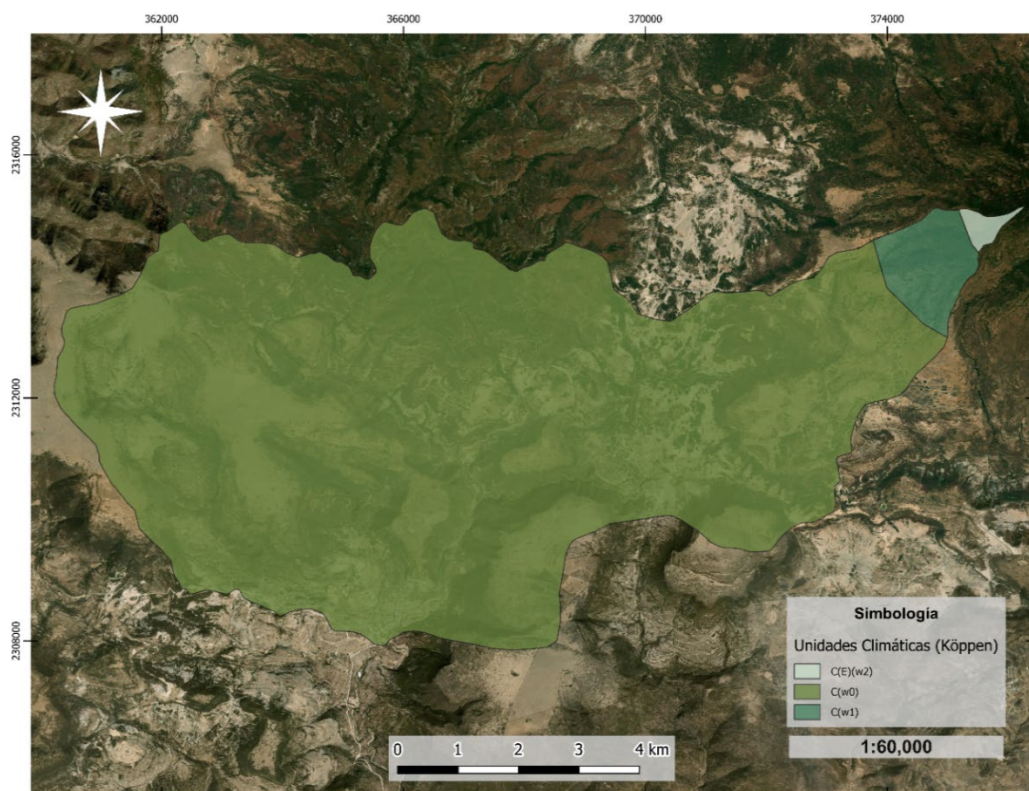


Figura 4.
Unidades climáticas. Elaboración propia con datos de INEGI (2001)

Tabla 2. Precipitación media anual y evaporación media anual

Clave	Nombre	Oeste	Norte	Precipitación Media Anual	Evaporación Meda Anual
22049	EL ZAMORANO	373980.3	2312021.3	594.69	1692.77
22026	COLÓN	391160	2298774.6	430.1	1756.37
22068	LA SOLEDAD	389494.7	2306264.1	415	2068.2
22046	NOGALES	380816	2289240.9	360	1693.5
11167	SAN JUAN PAN DE ARRIBA	358070.7	2324418.6	436.9	1727.9
11066	JOSE ITURBIDE SMN	357753.2	2324591.5	492.1	1777.9
11144	EL CHARAPE	351116.3	2313780.4	375.83	1845.41

Fuente: Elaboración propia

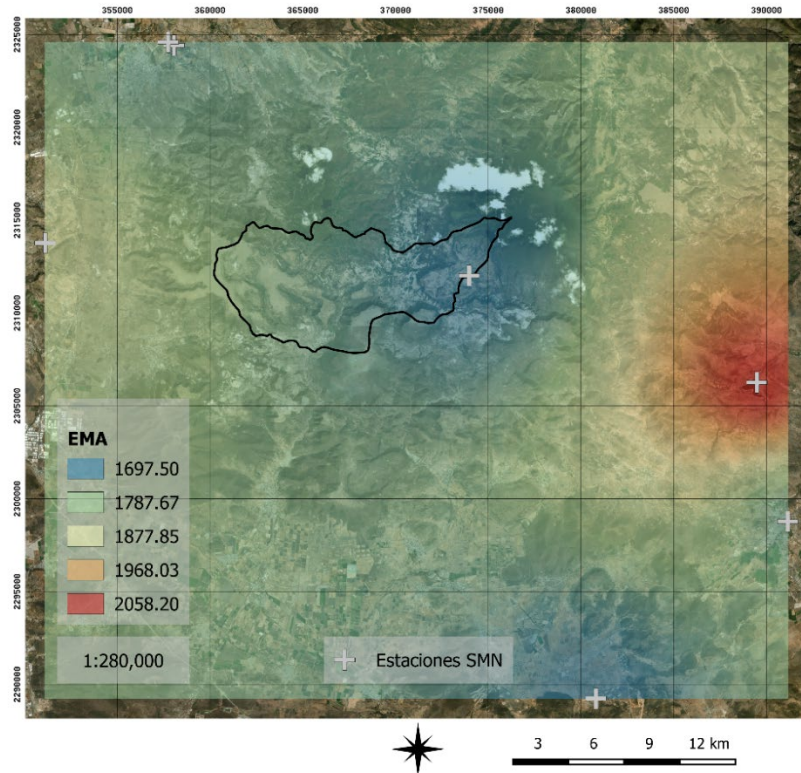


Figura 5.
Evaporación Anual Media. Elaboración propia con datos del SMN (2021)

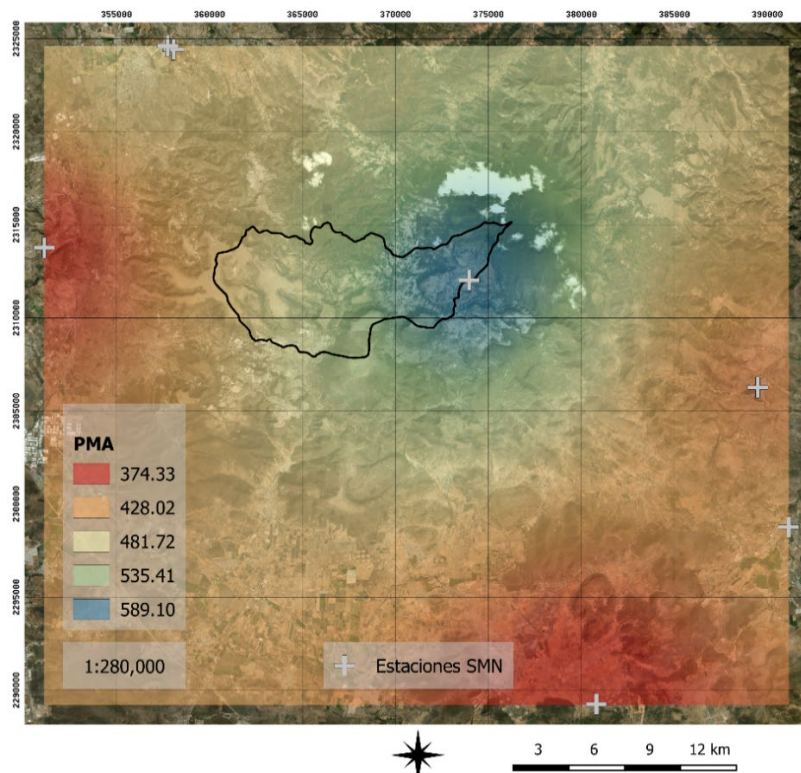


Figura 6.
Precipitación Anual Media. Elaboración propia con datos del SMN (2021)

4.4 Topoformas

Las topoformas presentes dentro de la delimitación de la microcuenca son meseta disectada la cual se caracteriza por áreas donde la superficie original es reconocible, pero se encuentra seccionada por redes densas de drenaje, que pueden ser profundas y pueden generar mesetas aisladas pero cercanas entre sí (INTECOSA, AIC, CNR, 1993) y por otra parte se presenta sierra alta escarpada, la cual se conforma por rocas sedimentarias, material detrítico y rocas ígneas extrusivas cerca de las zonas con actividad volcánica (CEIEG, 2013). Estas topoformas constituyen respectivamente el 59.32 % y el 40.68 % de la superficie total de la microcuenca (Figura 7).

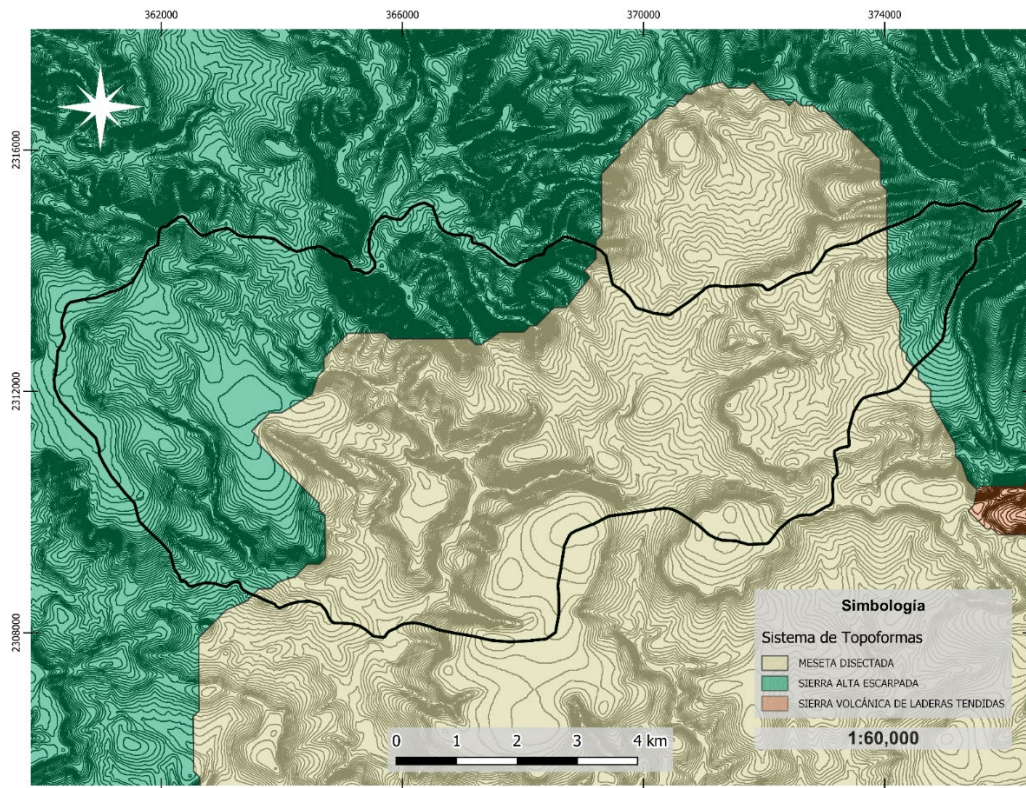


Figura 7.
Sistema de topoformas. Elaboración propia con datos de INEGI (2015)

4.5 Edafología

En la microcuenca es posible observar 9 grupos edafológicos (Figura 8). El tipo de suelo de mayor predominancia dentro de la microcuenca es el Leptosol con un 83.33 % del total de la superficie de la cuenca, estos constituyen suelos poco profundos y susceptibles a procesos erosivos. Este tipo de suelos también se asocia a formas de vegetación como selva baja caducifolia y bosque de encino. Posteriormente en términos de abundancia de tipo de suelo, se ubica el Phaeozem con un 8.23 %, de color pardo a negro, importante para la agricultura con un contenido significativo en magnesio y potasio. En tercer lugar, se ubica el Umbrisol con un 4.77 % del total, este tipo de suelos son oscuros y ácidos en la superficie, estos suelos son susceptibles ante escenarios de deforestación. Por último, se observa el vertisol con un 3.65 % del total de la superficie, los cuales son suelos pesados y se crean en condiciones de saturación-sequía, también gozan alta capacidad de retención de humedad y propiedades de fertilidad por lo que gozan de valor para la agricultura (INEGI, 2014) (Tabla 3).

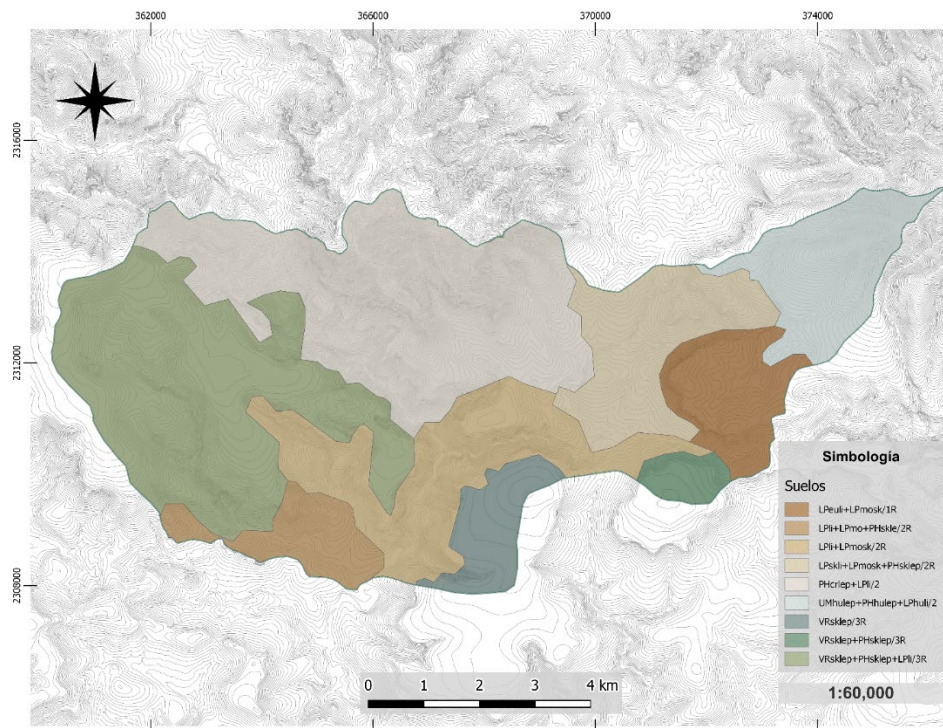


Figura 8.
Edafología. Elaboración propia con datos de INEGI (2005)

Tabla 3. Grupos edafológicos

<i>Clave WRB</i>	<i>Grupos</i>	<i>Texturas</i>	<i>Hectáreas</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Area km²</i>
LPli+LPmosk/2R	Leptosol Lítico + Leptosol Mólico Esquelético	Media	14471.2	11.63108	9824.47
LPskli+LPmosk+PHsklep/2R	Leptosol Esquelético Lítico + Leptosol Mólico Esquelético + Phaeozem Esquelético Epiléptico	Media	83606.064	67.19753	6835.68
UMhulep+PHhulep+LPhuli/2	Umbrisol Húmico Epiléptico + Phaeozem Húmico Epiléptico + Leptosol Húmico Lítico	Media	5936.641	4.77152	5922.84
LPeuli+LPmosk/1R	Letosol Éutrico Lítico + Leptosol Mólico Esquelético	Gruesa	1405.475	1.12964	4401.66
LPli+LPmo+PHskle/2R	Leptosol Lítico + Leptosol Mólico + Phaeozem Esquelético Léptico	Media	4195.881	3.3724	3168.75
VRsklep/3R	Vertisol Esquelético Epiléptico	Fina	889.501	0.71493	2842.23
PHcrlep+LPli/2	Phaeozem Crómico Epiléptico + Leptosol Lítico	Media	10251.044	8.23917	18635.03
VRsklep+PHsklep+LPli/3R	Vertisol esquelético epiléptico + Phaeozem Esquelético epiléptico + Leptosol Lítico	Fina	3361.301	2.70161	17729.4
VRsklep+PHsklep/3R	Vertisol Esquelético Epiléptico + Phaeozem Esquelético epiléptico	Fina	301.256	0.24213	1183.72

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2005)

4.6 Características socioeconómicas

La población total aproximada de la microcuenca es de 1,204 habitantes, encontrando en Los Trigos, 270 pobladores y un total de 111 viviendas, de las cuales 74 se encuentran habitadas, en La Laborcilla se tiene un registro de 934 pobladores, un total de 263 viviendas, de las cuales 222 se encuentran habitadas. El grado promedio de escolaridad en La Laborcilla es de 7.78 grados, en Los Trigos es de 6.91 grados (INEGI, 2014). En cuanto al grado de marginación observado, Los Trigos presenta un grado clasificado como bajo, en tanto La Laborcilla presenta un grado de marginación medio. En Los Trigos, la población es económicamente activa (PEA), constituye el 69.26 % mientras en La Laborcilla, la PEA se reduce a 40.04 % (INEGI, 2020).

Las principales actividades económicas se constituyen por la agricultura y producción pecuaria. Adicionalmente a estas actividades, en Los Trigos, se lleva a cabo aprovechamiento forestal no maderable. En ambas comunidades también se desarrollan actividades comerciales al por menor, a través de tiendas locales. (INEGI, 2014) Algunas de las problemáticas socioeconómicas detectadas son relativas al desempleo y en términos de problemáticas asociadas a fenómenos naturales, se han observado sequías y heladas en ambas comunidades, las cuales han causado daños en la productividad, esta situación resulta desfavorable, ya que como anteriormente se observó, las principales actividades de estas comunidades son las relativas a la producción primaria (INEGI, 2014).

4.7 Aprovechamientos y servicios hídricos

La red de cauces de la microcuenca y manantiales proveen de servicio de aprovisionamiento hídrico mediante varios aprovechamientos superficiales al Ejido La Laborcilla, así mismo a la Comisión Estatal de Aguas con un total de 81,492 m³ anuales (Tabla 4) (REPDA, 2021). Sin embargo, se observan secciones en las comunidades sin acceso a agua potable entubada o sistema de drenaje (Tabla 5) (INEGI, 2020). Por otra parte, mediante proceso de teledetección se contabilizan aproximadamente 36 bordos y cuerpos de agua artificiales.

Tabla 4. Volúmenes de agua concesionados en la microcuenca

<i>Titular</i>	<i>Uso</i>	<i>Fuente</i>	<i>Volumen anual concesionado (m³/a)</i>
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	14338
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	13833
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	9010
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	6179
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	4340
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	3411
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	3200
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	3067
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	2500
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	1360
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	360
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	270
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	252
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	234
Ejido Laborcilla	Pecuario	Superficial	216
CEA	Público	Superficial	18922
TOTAL			81492

Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA, 2021

Tabla 5. Viviendas con servicios hídricos en la microcuenca

<i>Servicio</i>	<i>Cantidad</i>
Vivienda con agua entubada	256
Vivienda sin agua entubada	39
Vivienda con drenaje	213
Vivienda sin drenaje	82

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2020

4.8 Política ambiental

El territorio de la microcuenca La Laborcilla se encuentra sujeta al Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) mediante Unidades de Gestión Ambiental (UGA) en el Estado de Querétaro, específico para los municipios de El Marqués y Colón donde las políticas de uso para las mismas únicamente corresponden a Protección y Restauración.

Por otra parte, el Modelo de Ordenamiento Sustentable del Territorio del Programa Estatal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Ecológico Territorial (PEDUOET) de Guanajuato considera un solo uso para la sección noroeste de la microcuenca, en el municipio de San José Iturbide, siendo la modalidad de Protección (Figura 9)

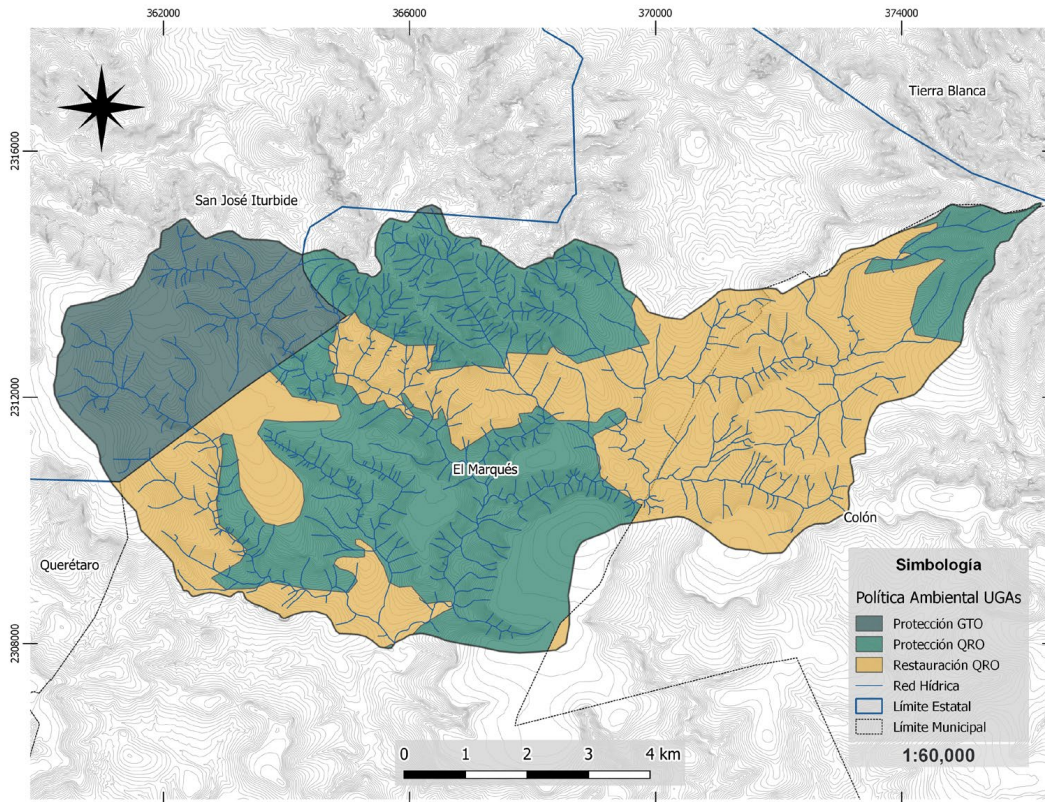


Figura 9.
Política Ambiental. Elaboración propia con datos de Programa de Ordenamiento Ecológico Local (2018) y el Programa Estatal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Ecológico Territorial

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de generar una aproximación funcional, objetiva, proporcionada y participativa a las condiciones e interacciones socioambientales del sitio de estudio, a escala de microcuenca, en este caso en específico, en una zona rural donde a la vez se observan áreas silvestres, resulta obligado definir una serie de indicadores, parámetros de medición y fenómenos sociales, que permitan considerar particularidades del comportamiento del sistema que resultan excluidos al realizar diagnósticos de salud o integridad de cuenca en escalas meso o macro, por ejemplo, al hablar de grandes obras de infraestructura hidráulica, de proyectos carreteros, industriales o de amplias transformaciones del paisaje en entornos urbanizados. Esta aproximación también precisa de una estrategia metodológica (Figura 10) que permita ensamblar y analizar de manera adecuada los datos extraídos en el área de estudio, la información obtenida de forma remota y procesada mediante SIG, así como el discernimiento de los actores locales en torno a las condiciones socioambientales de la microcuenca.

Esta aproximación busca desarrollar un índice que considere los aspectos conceptuales ya mencionados, así mismo se enfatiza en la necesidad de una interpretación y un examen vinculado con el comportamiento del metabolismo social en la microcuenca, si bien el análisis de integridad permite conocer de manera aproximada las condiciones biofísicas de la cuenca y resulta el tema central de esta investigación, el estudio de las relaciones socioambientales que suceden en la microcuenca permite observar la relación de sus condiciones, con el comportamiento de factores económicos, políticos o culturales del sitio, tomando en cuenta la forma de apropiación, organización o también intereses, de los actores sociales presentes en el mismo (Heathcote, 2009, en Musálem-Castillejos, *et al.*, 2013), por lo tanto es necesario considerar un espectro amplio de variables y situaciones, que deben ser contemplados en los procesos de gobernanza de la microcuenca, por lo tanto, al considerar que los componentes y funciones biofísicas no se encuentran aislados, sino que suceden dentro de un contexto socioambiental, se requiere una visión que permita examinar en mayor detalle estas situaciones y dinámicas.

Considerando lo ya mencionado, es necesario clarificar que el producto final del estudio se constituye de la siguiente manera: 1) Análisis de integridad de la microcuenca; y 2) Evaluación socioambiental de la microcuenca. Estos dos elementos son evaluados de forma independiente, con sus técnicas específicas, sin embargo, estos procedimientos constituyen dos etapas de una misma secuencia de generación de conocimiento.

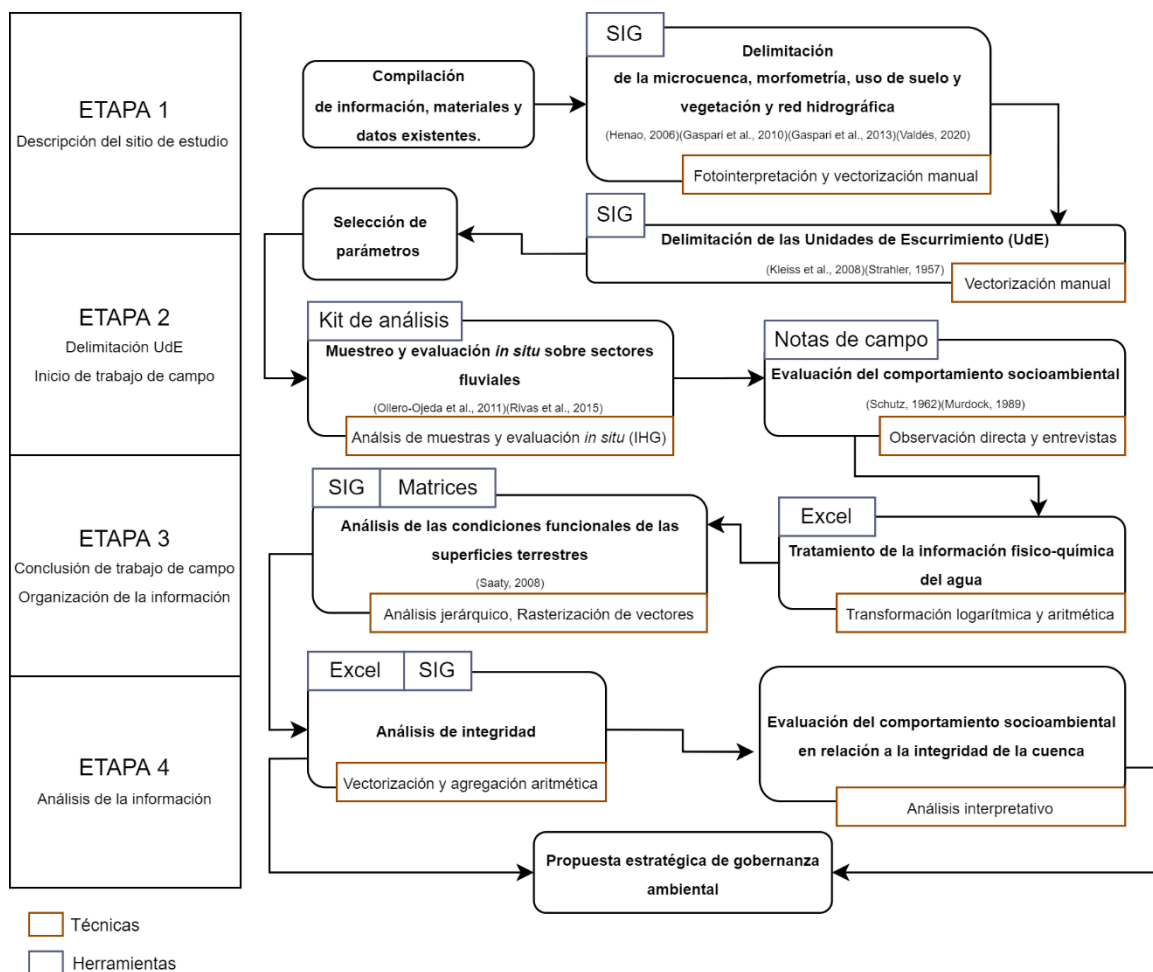


Figura 10.
Estrategia metodológica. Elaboración propia.

5.1 Compilación de información, materiales y datos existentes

Se realiza la compilación de insumos cartográficos, imágenes aéreas y satelitales, documentación, planes de manejo, ordenamientos e información en términos biofísicos, socioeconómicos, legales y referentes a políticas públicas e instrumentos de gestión y aprovechamiento relevantes al presente estudio y zona de investigación seleccionada.

5.2 Delimitación y caracterización de la microcuenca

Para la delimitación de la microcuenca, se acude como referencia a la cartografía de delimitación de microcuencas de la República Mexicana del Programa Nacional de Microcuencas elaborado por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) (SAGARPA, 2002). Posteriormente, mediante el modelo digital de elevación (MDE) de la microcuenca con resolución a 15m (Continuo de Elevación Mexicano CEM 3.0, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, 2013), se elabora una delimitación automatizada tomando como referencia el mismo punto de salida presentado en la fuente mencionada, así mismo se genera una capa de curvas de nivel con 15m de separación entre isolíneas, posteriormente se comparan ambas representaciones y se utilizan como referencias para la vectorización de los límites de microcuenca de forma manual. Para la caracterización social y posteriores digitalizaciones, se utilizan las cartas topográficas (Conjuntos de datos vectoriales de información topográfica) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) F14C55c, F14C56a, F14C56b y F14C56b, Escala 1:20000, Serie III, Edición 2015. Para la digitalización de los Usos de Suelo y Vegetación se toma como referencia el Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:50 000. Serie VI (Capa Unión). Posteriormente, mediante el uso de imágenes remotas Sentinel 2 del año 2021 y un procedimiento de fotointerpretación y vectorización manual se delimitan los distintos tipos de vegetación y usos. Por otra parte, se acude al Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional, Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. Y Conjuntos de datos vectoriales de información topográfica Escala 1:20000, Serie III, para cada salida cartográfica temática.

5.3 Delimitación de Unidades de Escurrimiento (UdE)

La delimitación de las Unidades de Escurrimiento (UdE), permite observar con mayor especificidad las condiciones de la microcuenca en sus componentes anidados. Para este procedimiento se utiliza la cartografía mencionada en la sección anterior y se acude al método de Strahler (1957) como se describe en el *Multi-Scale Assessment of Watershed Integrity* (MAWI) (Kleiss *et al.*, 2008) ajustado al presente estudio, se consideran los siguientes criterios para su delimitación:

- A)** En dirección hacia aguas abajo, desde el origen de un cauce de primer orden, se establece un punto límite para la *Unidad de Escurrimiento*, donde la corriente de segundo orden de la UdE propuesta se une a otra corriente de segundo orden.
- B)** En dirección hacia aguas abajo se establecen dos límites adicionales para la delimitación de las UdE: I) En la confluencia con otros arroyos de segundo orden o más grandes. II) Donde se encuentran áreas geológicas, geomórficas o terrestres significativas.

5.4 Selección de parámetros complementarios

Cada uno de los componentes funcionales de la cuenca, implica la interacción de distintos procesos y dinámicas ecosistémicas en un rango muy extenso de escalas espaciales y temporales, por lo tanto, existe potencialmente, una variedad extremadamente amplia de parámetros para evaluar las condiciones de integridad de un ecosistema o una cuenca. Este análisis, se adhiere a la clasificación de 6 funciones del modelo conceptual del *Index of Watershed Integrity* (IWI). Resulta importante mencionar que para la ejecución de este procedimiento se considera que existen dificultades para encontrar sitios referenciales en condiciones prístinas, tampoco resulta viable elegir sitios en otras regiones que puedan representar un hipotético estado referencial, debido a estas y otras circunstancias relacionadas con la transformación de los paisajes por causas antrópicas, este índice se elabora considerando factores de riesgo para las funciones clave que ocurren en la cuenca, más que en sus condiciones referenciales (Flotemersch *et al.*, 2015).

Se busca que los parámetros utilizados para el desarrollo del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) se integren al desarrollo del IWI en el presente caso de estudio, ya que, el IHG evalúa alteraciones antrópicas sobre las funciones del sistema fluvial y algunos de estos pueden sustituir o complementar los estresores propuestos en el IWI, ya que en el contexto de este estudio, algunos de los elementos cartográficos e información equivalente a las proporcionadas por las bases de datos con las que se elabora el índice mencionado, debido a la escala del sitio de estudio no son aptos o no se encuentra información disponible. EL IHG considera importante el procedimiento de reunir información para observar las condiciones de estos sistemas, sin embargo, resulta flexible al considerar que el acceso a esta información en muchos casos resulta dificultoso y es posible utilizar el índice de forma parcial y adaptarlo a distintos criterios y objetivos (Ollero-Ojeda *et al.*, 2008), por lo tanto se procede una selección de indicadores suplementarios que representen y posibiliten la evaluación de estas funciones mientras guardan coherencia con la propuesta conceptual y metodológica del IWI. A su vez fueron seleccionados algunos parámetros fisicoquímicos del agua, que, mediante la integración en un índice IQA(m), expuesto en secciones posteriores, también pueda aportar información específica para el estudio.

El uso de indicadores fisicoquímicos del agua, así como del IHG, goza sustento de selección en los siguientes criterios: 1) Especificidad; 2) Posibilidad de medición; 3) Sensibilidad para detectar cambios; 4) Capacidad para detectar cambios rápidos; 4) Factibilidad técnica; 5) Costo-efectividad; y 6) Potencial colaborativo (Noss, 1990 en Unnasch, 2018). Para obtener una evaluación confiable, además de los criterios mencionados, se implementa un sistema de indicadores de tres niveles de intensidad en el levantamiento y recopilación de datos: 1) *Remotos*: mediante información cartográfica y calibración en campo, uso de recursos enfocados en escalas espaciales extensas, obtenidos mediante sensores remotos y uso de SIG;

2) *Rápidos*: integración de información de sensores remotos y evaluaciones cualitativas en campo, como métodos de evaluación visual; y 3) *Intensivos*: mediciones cuantitativas en campo, así como muestreos elaborados bajo un diseño estadístico apropiado (Brooks *et al.*, 2004; Tiner, 2004; EPA, 2006, en Unnasch, 2018). Tomando en cuenta los criterios, niveles de intensidad, se definen los siguientes indicadores (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de parámetros, indicadores y nivel de indicador

Parámetro	Indicador	Nivel del indicador
Acidez	mg/l CaCO ³	Intensivo
Dureza	mg/l	Intensivo
pH	Unidades de pH	Intensivo
Oxígeno Disuelto	mg/l O ₂	Intensivo
Nitratos	mg/l NO ³⁻ -N	Intensivo
Fosfatos	mg/l PO ₄ ³⁻	Intensivo
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	Intensivo
Conductividad eléctrica	µS/cm	Intensivo
Dióxido de carbono	mg/l CO ₂	Intensivo
Temperatura del agua	°C	Intensivo
Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Naturalidad del régimen de caudal	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Funcionalidad de la llanura de inundación	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Continuidad longitudinal (Ribera)	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Anchura del corredor ribereño	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Estructura, naturalidad e Interconectividad transversal del corredor ribereño	Estimación (IHG)	Rápido-Remoto
Condiciones funcionales de las superficies terrestres de la microcuenca	Estimación (SIG)	Remoto

Fuente: Elaboración propia

5.5 Muestreo y evaluación in situ sobre sectores funcionales

5.5.1 Tamaño de la muestra y puntos de muestreo de parámetros físico químicos del agua

El tamaño de muestra n para la evaluación de parámetros relativos al ecosistema fluvial de la microcuenca, se definió mediante la herramienta *Sample Size Table* (The Research Advisors®). El cauce principal de la microcuenca se tramificó en segmentos de la misma longitud, determinado como distancia de referencia 1 km de longitud por tramo, N representando el número total de tramos y n el número de tramos a muestrear, considerando un margen de error del 15 % y un intervalo de confianza del 80 %, obteniendo n , mediante la siguiente ecuación (1):

$$n = \frac{X^2 * N * P * (1-P)}{(ME^2 * (N-1)) + (X^2 * P * (1-P))}$$

Ecuación 1. Tamaño de la muestra. (Krejcie y Morgan, 1970)

n= Tamaño de la muestra

X²= Chi-cuadrada para el nivel de confianza especificado con 1 grado de libertad

N= Total de tramos del cauce

P= Proporción (.50)

ME= Margen de error

Finalmente, dividiendo el cauce principal entre n, obteniendo el número total de tramos de muestreo dentro de los cuales se priorizan puntos específicos para muestreo y evaluación bajo los siguientes criterios:

- 1) Puntos que acumulen la afluencia de corrientes principales de diferentes unidades de escurrimiento.
- 2) Puntos que, además de considerar el primer criterio, consideren asentamientos, puntos de descargas y otros factores de origen antrópico que puedan inducir cambios directos en las propiedades fisicoquímicas del agua.
- 3) Puntos separados por una distancia en un rango de mínimo 1 km y máximo 2 km.

5.5.2 *Análisis in situ de parámetros físico-químicos del agua*

Para el procedimiento se recolectan las muestras en tres segmentos de los tramos anteriormente designados, eligiendo como sitios de toma de muestra las fracciones del cauce representativas donde se presente mayor turbulencia del flujo en la columna de agua.

Para medir pH, conductividad, dióxido de carbono y oxígeno disuelto, mediante una probeta se tomó una muestra de 100 ml, posteriormente se vierte el contenido en un vaso de precipitado y mediante un medidor HI98129 de *Hanna Instruments*, se determinan los primeros 2 parámetros. Para determinar los parámetros de gases disueltos, se efectúan las pruebas correspondientes mediante el kit de análisis de campo HI3817BP de *Hanna Instruments*. Para los parámetros de acidez, alcalinidad, dureza, nitratos, fosfatos y sólidos disueltos totales, mediante la probeta se toman 3 muestras de agua, cada una en tres sitios representativos del tramo del cauce, almacenándola en viales de 100 ml, enjuagando la probeta tres veces con el agua de muestreo antes de tomar la muestra efectiva (Rivas *et al.*, 2015). Posteriormente, se vierte el contenido de los 3 viales en un vaso de precipitado, se agita y se retira el exceso de líquido y se procede a las pruebas requeridas mediante el kit e instrumento ya mencionados.

5.5.3 Evaluación de presiones e impactos sobre los sectores funcionales

Para examinar los impactos de los sectores funcionales seleccionados, como ya se mencionó, se acude a los parámetros del IHG en su versión actualizada, propuesto por Ollero-Ojeda *et al.* (2011) ya que observa distintas funciones de la dinámica hidrogeomorfológica en los sistemas fluviales, considerando directamente los impactos o modificaciones de origen antrópico, de distintos tipos y magnitudes que alteran la funcionalidad del mismo. La evaluación del IHG precisa tanto de valoración mediante imágenes de sensores remotos, cartografía y trabajo de campo, a partir de las observaciones y mediciones propuestas, en caso de encontrar alteraciones de origen antrópico en las funciones naturales del sistema fluvial, se generan penalizaciones que afectan el valor total esperado de las mismas, siendo la valoración máxima 10 puntos por cada uno de los 9 parámetros (Tablas 8 a 16), arrojando una valoración máxima de 90 puntos en caso de observar un sistema fluvial en óptimas condiciones. En este caso en particular, por cuestiones logísticas se excluirán mediciones (granulometría, topografía) y se acudirá solo a las observaciones cualitativas propuestas en el índice. Las funciones para este índice se clasifican de la siguiente manera:

1) Calidad funcional del sistema fluvial

- A) Naturalidad del régimen de caudal
- B) Disponibilidad y movilidad de sedimentos
- C) Funcionalidad de la llanura de inundación

2) Calidad del cauce

- D) Naturalidad del trazado y de la morfología en planta
- E) Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales
- F) Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral

3) Calidad de las riberas

- G) Continuidad longitudinal
- H) Anchura, estructura y naturalidad
- I) Interconectividad transversal

Para delimitar los sectores funcionales del ecosistema fluvial se acude a la recomendación de Ollero-Ojeda *et al.* (2010): “tramos inferiores al kilómetro de longitud, el nivel de detalle exigido por los objetivos del estudio o el propio presupuesto del mismo condicionarán las dimensiones de los tramos.” Para el caso presente, resulta viable la opción de tramificar en longitudes regulares y no mediante criterios hidrogeomorfológicos, como se indica en el IHG, para ciertos casos. Posteriormente se procede a un recorrido *in situ* sobre el cauce principal de la microcuenca, abordando la longitud total del mismo en los tramos generados anteriormente con una longitud aproximada de 1 km, resultando excluidas las secciones fluviales que debido a sus características físicas y ubicación imposibiliten su evaluación directa, en este caso acudiendo a otras fuentes, como se sugiere para el IHG, mediante fotografías aéreas, documentos y otras fuentes de información.

Cabe mencionar que el IHG no se restringe a la evaluación de la estructura interna del cauce sino a otros componentes del ecosistema fluvial, como las condiciones morfológicas de la llanura de inundación y la vegetación dentro del *buffer* ripario, por lo tanto, es necesario determinar una anchura para las secciones fluviales propuestas. Existen procedimientos para determinar medidas de longitud y anchura de tramos para evaluación de ecosistemas fluviales por ejemplo se puede indicar una longitud de 40 veces el ancho de la ribera máxima (Barbour *et al.*, 1999) o 5 veces el ancho del cauce, como lo señala la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, por otra parte existen otros planteamientos como el de definición de una anchura potencial, la cual se expresa como la mayor extensión alcanzada por el corredor fluvial natural, observado mediante imágenes aéreas (Ollero-Ojeda *et al.*, 2011) así como propuestas de medidas estandarizadas, en las que es posible observar un mínimo de 18 metros de ancho para cada franja de vegetación riparia en cada lado del cauce (Barton *et al.*, 1985) o un ancho determinado por el orden de cada río (Calles y López, 2012).

Al considerar la heterogeneidad de planteamientos para definir el ancho de las llanuras de inundación, se acude a Hansen *et al.* (2010), quien examina la importancia del ancho de las mismas en relación a las funciones de regulación hídrica y provisión del hábitat que estas proporcionan y realiza una comparación entre las distintas propuestas encontradas en la literatura especializada, en donde se pueden encontrar planteamientos donde se sugieren franjas desde 1 metro de ancho para estudios experimentales sobre filtración y almacenamiento de sedimentos en relación a una especie de pasto, hasta *buffers* de 2250 metros con función de regulación química del agua. Al analizar detalladamente el sumario, considerando las funciones a evaluar en este estudio, es posible encontrar las siguientes referencias (Tabla 7):

Tabla 7. Rangos de anchura para sectores funcionales

Función	Rango en metros
Hábitat biota acuática	30-100
Extensión de vegetación en cauces de 4to orden	15-55
Calidad del agua en ríos (4to orden)	50-100
Mantenimiento del microclima	25-83
Sombra y control de la temperatura del agua	30-125
Filtro de sedimentos	1-61
Control de la erosión	30-57
Regulación de Fósforo, Nitrógeno y sedimentos	4.6-200<

Fuente: Elaboración propia con base en Hansen *et al.* (2010)

Con base en las referencias consultadas, los órdenes de cauce, los parámetros de evaluación, las características del relieve en la microcuenca y la factibilidad de aplicación, se determinó que un *buffer* adecuado para la evaluación de IHG, es de 50 metros de ancho para el cauce principal de la microcuenca y 20 metros para los cauces de orden inferior en caso de ser evaluados.

Tabla 8. Naturalidad del régimen de caudal.

Tanto la cantidad circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente con su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	Si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	Si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	Si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	Si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante, pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	Si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 9. Disponibilidad y movilidad de sedimentos.

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	Si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	Si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	Si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	Si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (armouring, embeddedness, alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales ...) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 10. Funcionalidad de la llanura de inundación.

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos				10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	Si son defensas continuas	Si son discontinuas, pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	Si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación	
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3	
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de	-4	-3	-2	
si solo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1	
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias...), generalmente transversales, que alteran los procesos hidrogeomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida			si hay abundantes obstáculos	-2
			si hay obstáculos puntuales	-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural a bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie			-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie			-2
	Si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados, aunque no alcanzan el 15% de su superficie			-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 11. Naturalidad del trazado y de la morfología en planta.

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	Si afectan más del 50% de la longitud del sector	Si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	Si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	Si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
Si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos ...)	-8	-7	-6	-5
Si, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones ...)	-6	-5	-4	-3
Si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4-	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta del cauce derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras			notables	-2
			leves	-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 12. Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales.

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	Si embalsan más del 50% de la longitud del sector	Si embalsan más del 50% de la longitud del sector	Si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
Si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
Si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
Si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 13. Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral

El cauce es natural y tiene la capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde a los procesos hidrogeomórficos de erosión y sedimentación		10	
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias...) adosadas a las márgenes	En más del 75% de la longitud del sector	-6	
	Entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5	
	Entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4	
	Entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3	
	Entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2	
	En menos de un 5% de la longitud del sector	-1	
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural		Notables	-2
		Leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba		Notables	-2
		Leves	-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 14. Continuidad longitudinal.

Las riberas sobrevivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen su papel en el sistema hidrogeomorfológico		10
La anchura de la ribera sobreviviente ha sido reducida por ocupación antrópica	Si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 50% de la potencial	-3
	Si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 50% y el 75% de la anchura potencial	-2
	Si la anchura media del corredor ribereño actual ha sido reducida, pero se mantiene por encima del 75% de la anchura potencial	-1
Si la continuidad longitudinal ha resultado en 0 (ribera totalmente eliminada)		-10
Si la continuidad longitudinal ha resultado en 1		-2
Si la continuidad longitudinal ha resultado en 2 o 3		-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 15. Anchura, estructura y naturalidad.

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del canal, mientras que las condiciones geomorfológicas del valle lo permitan				10
Hay segmentos con usos de suelo no recuperables o permanentes (urbanización, fábricas, granjas, pozos de arena, infraestructura linear estable, puentes, defensas, diques...) que interrumpen la continuidad longitudinal del corredor ribereño. Hay superficies con usos de suelo recuperables o no permanentes (plantación de árboles, cultivos, explotación forestal, senderos...) que implican discontinuidades		Si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	Si del 30% al 70% de las discontinuidades son permanentes	Si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
	Si la zona ribereña está completamente removida	-10	-10	-10
	Si la longitud de la discontinuidad es más del 85% de la longitud de las márgenes del canal	-10	-9	-8
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 75% y el 85% de la longitud de las márgenes del canal	-9	-8	-7
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 65% y el 75% de la longitud de las márgenes del canal	-8	-7	-6
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 55% y el 65% de la longitud de las márgenes del canal	-7	-6	-5
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 45% y el 55% de la longitud de las márgenes del canal	-6	-5	-4
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 35% y el 45% de la longitud de las márgenes del canal	-5	-4	-3
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 25% y el 35% de la longitud de las márgenes del canal	-4	-3	-2
	Si la longitud de la discontinuidad es entre el 15% y el 25% de la longitud de las márgenes del canal	-3	-2	-1
	Si la longitud de la discontinuidad es menor al 15%	-2	-1	-1

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 16. Estructura, naturalidad e Interconectividad transversal del corredor ribereño

En las riberas supervivientes las etapas naturales de la vegetación, la complejidad de los hábitats, la naturalidad de las especies y toda la diversidad transversal se mantiene, no existiendo ningún obstáculo humano interno que separe o desconecte los diferentes hábitats o ambientes				10
Hay presiones humanas en la zona ribereña (pasto, limpieza de vegetación, explotación forestal, incendios, explotación acuifera, recolección de madera, relleno de lago, escombros, uso recreativo...) que causan alteraciones en su estructura o que provocan que la ribera se convierta en matorrales debido a la desconexión con la mesa de agua		Si se extienden más del 50% del corredor ribereño actual	Si se extienden entre el 25% y el 50% del corredor ribereño actual	Si se extienden menos del 25% del corredor ribereño actual
Si las alteraciones son muy importantes		-4	-3	-2
Si las alteraciones son menores		-3	-2	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por especies foráneas o plantaciones		Si las alteraciones son significativas		-2
		Si las alteraciones son menores		-1
El alcance está constreñido lateralmente, generalmente, longitudinalmente o diagonalmente por estructuras lineales como carreteras, defensas, diques, caminos, senderos. Estas estructuras alteran la conectividad transversal del corredor ribereño		Si las discontinuidades están distribuidas por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas		-4
		Si la suma de las longitudes de las discontinuidades da un valor entre 100% y 150%		-3
		Si la suma de las longitudes de las discontinuidades da un valor entre 50% y 100%		-2
		Si la suma de las longitudes de las discontinuidades es menor al 50% de la longitud de las riberas		-1
Si la continuidad longitudinal resulta 0 (ribera totalmente eliminada)		-10	Si al aplicar estos valores, el resultado final es negativo, valorar 0	
Si la continuidad longitudinal resulta 1 (ribera totalmente eliminada)		-2		
Si la continuidad longitudinal resulta 2 o 3		-1		

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

5.6 Evaluación del comportamiento socioambiental

5.6.1 Entrevistas a profundidad

A partir de un conjunto específico de ejes temáticos adoptados a manera de guía, se pretende realizar un conjunto de entrevistas a manera de conversaciones dialógicas, efectuadas con un lenguaje natural, adecuado al contexto y condición sociocultural de los informantes, que permita generar de forma interpersonal, mediante la inducción de procesos reflexivos (Russell *et al.*, 2002), conocimiento adecuado para el estudio. Las *entrevistas a profundidad* no contemplan un formato de preguntas preestablecidas, debido a sus características metodológicas, sin embargo, requiere de una estructura que permita abordar la diversidad temática en su extensión para generar un proceso interpretativo adecuado, donde sea posible integrar la experiencia, perspectiva y conocimiento de los participantes a un contexto biofísico delimitado y definido de manera objetiva. Para generar un acercamiento hacia las relaciones que constituyen los distintos procesos y condiciones metabólicas dentro de la microcuenca, resulta necesario aproximarse a su dinámica socioambiental, mediante una perspectiva enfocada hacia patrones,

tendencias y situaciones relacionados a la apropiación, uso, así como significados y otros factores socioculturales de importancia en la forma de manejo de elementos biofísicos de la microcuenca. Esta aproximación dirigida a la profundización sobre temáticas, en ocasiones sensibles, requiere un método que considere al sujeto desde una perspectiva personalista en el sentido de la irreductibilidad de la persona en relación a ideas preconcebidas o prejuicios negativos o positivos ya que cada persona goza de una historia, así como rasgos personales únicos (Williams y Bengtsson, 2020) y por lo tanto resulta significativa la expresión de su conocimiento particular sobre las interacciones humano-ambiente en el territorio. Los tópicos a tratar, se procuran abordar en relación a la expresión de los sentidos y significados que los actores atribuyen al medio biofísico, pero también a sus prácticas de uso, apropiación del medio y otras formas de participación social, las cuales se pueden estudiar mediante las narrativas y relatos comunitarios de los actores buscando realizar un análisis de “lo que se dice que se hace” (Bruner, J. 2006), situación que permite observar posturas morales e ideológicas, así como aspectos normativos, intereses económicos y otros aspectos culturales. El ejercicio procura realizar una aproximación que considera ciertos elementos fenomenológicos, principalmente la noción de *epojé*, no desde la perspectiva trascendental de Husserl que implica la suspensión del juicio y las construcciones de la realidad, sino atendiendo a la propuesta de actitud natural de Schutz (en Aristizábal-Hoyos, 2016):

“En ella no se suspende “la creencia en el mundo externo y sus objetos; por el contrario, suspende la duda en su existencia”. Esta *epojé* la practica el ser humano común y corriente con el fin de ratificar la realidad y la existencia en el mundo externo. Esta nueva forma de *epojé* le permite a Schutz acercarse más idóneamente al mundo del sentido común y a sus estructuras.”

Se busca que el espacio de entrevista se no desenvuelva únicamente como un lugar carente de sentido, sino como un medio de observación y análisis del pensamiento y la conducta de los copartícipes del ejercicio, dentro de su propio contexto vivencial, bajo una perspectiva de naturalidad, buscando una interacción y el establecimiento de un vínculo articulado por el sentido común que como expresa Schutz (en Belverde, 2013) es “adecuado y basta para llegar a entendernos con nuestros semejantes, los objetos culturales, las instituciones –en breve, con la realidad social–”. Esta modalidad de entrevista no presupone una linealidad y un orden preestablecido de preguntas y respuestas, sino que busca integrar las mismas en un contexto de conversación, partiendo de temáticas particulares a generales, en momentos adecuados y prudentes. Esta idea de sentido común, presupone el uso de un lenguaje sencillo y adaptativo, el cual se verá observado en la forma de emitir preguntas y planteamientos con los sujetos copartícipes del ejercicio. Para ejecutar de manera adecuada el ejercicio también se acude a ciertas nociones de Taylor y Bogdan (1987), quienes aluden a la práctica de la empatía y concordancia en los marcos referenciales, lingüísticos y simbólicos del ejercicio en relación del investigador, el estudio y los sujetos de estudio para lograr una comprensión adecuada de sus realidades, además de una actitud ética, perspectivista y humanista.

Criterios de elegibilidad de informantes

El procedimiento se realiza mediante un muestreo de bola de nieve, considerando de 12 a 14 sujetos, elegidos bajo los siguientes criterios:

- 1) Mayores de 18 años.
- 2) Residentes, propietarios o usufructuarios de la microcuenca y territorios vinculados.
- 3) Actores locales relacionados con la gobernanza y organización social y en relación al manejo y aprovechamiento ecosistémico.
- 4) Actores de instituciones gubernamentales y organismos referentes al manejo y gestión de la microcuenca y territorios vinculados.

Formato de la entrevista

Duración estimada: 1 hora

Estimación de sesiones complementarias: 30 minutos

Materiales: Libreta de notas, Tabla de categorías

El desarrollo las entrevistas, previo a la implementación del proceso de selección, se desarrollará de la siguiente manera: **1)** Se solicitará de manera individual la colaboración de cada sujeto **2)** Se llevará a cabo una presentación personal breve, donde se muestra el permiso otorgado por la autoridad local y otros documentos requeridos **3)** Se explica de manera concreta la intención y finalidad del ejercicio **4)** Se reconfirma la voluntad de participación del sujeto **5)** Se inicia la entrevista estableciendo una conversación dialógica considerando las características de cada sujeto (edad, ocupación, afinidades, etc.), así como algunos elementos de lenguaje no verbal, indagando inicialmente en los hechos sociales y ambientales percibidos por el mismo, así como sus interpretaciones, posturas y estados emocionales en relación a los fenómenos aludidos. **6)** Se dirige la entrevista hacia un sentido de profundización, con la intención de abordar temas potencialmente sensibles y situaciones complejas que puedan constituir elementos de información relevantes para su posterior análisis.

Para organizar la información proporcionada se genera un esquema referencial para mediante categorías tomadas de la Guía para la clasificación de los datos culturales (Murdock, 1989) (Tabla 17) para una posterior revisión y estudio de la experiencia y observaciones llevadas a cabo. Las clasificaciones a utilizar se han adaptado al objeto de estudio particular de la investigación, es decir, en dirección hacia el estudio de las interacciones socioambientales, las categorías son las siguientes: **A)** Personalidad y conducta en relación al medio social y al medio biofísico; **B)** Historia socioambiental y características culturales; **C)** Economía local, aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, regímenes de propiedad y formas de apropiación del espacio; **D)** Organización social y participación gubernamental.

Las entrevistas a llevar a cabo, se desarrollan mediante un lenguaje natural y conciso, así mismo propiciando una relación emisor-receptor simétrica considerando una postura proporcionada hacia el contexto situacional del sujeto. Utilizando las categorías y pasos ya mencionados se plantea comenzar con las preguntas de orden particular, referentes a lo individual y a grupos sociales primarios, es decir la temática de los Incisos **A)** y **B)**.

Posteriormente, un segundo bloque preguntas de mayor generalidad, referentes a la interacción ambiental material en la microcuenca y grupos sociales secundarios, incisos **C)** y **D)**. Para cada categoría se plantea utilizar un tiempo estimado de 15 minutos. El registro para cada entrevista se llevará a cabo mediante la elaboración de diagramas de flujo y categorización de datos desde lo particular a lo general en las 4 clasificaciones ya mencionadas

Los sujetos de estudio de mayor relevancia al estudio, resultan de interés para generar un flujo continuo de información mediante interacciones subsecuentes, por lo tanto, se procura realizar nuevas entrevistas o llevar a cabo algunas preguntas de control en sesiones dialógicas rápidas, complementando o corrigiendo el registro individual ya realizado. Cabe aclarar que en algunos casos no todos los subtemas podrán ser abordados o aportar información, al concluir las entrevistas se realizará un filtrado, para excluir del análisis los temas donde la información obtenida resulta irrelevante o limitada.

5.6.2 Observación directa

La perspectiva para la realización de las entrevistas propuestas implica percibir la experiencia de los informantes, pero también experimentar el contexto donde los sujetos forman su consciencia, es decir, observar la interacción social y con el medio y a su vez, buscar experimentar el ambiente del sistema en sí mismo, en dirección a un sentido de realismo y significado donde “se permite al investigador contar con su versión, además de las versiones de otras personas (protagonistas, informantes ...) y las contenidas en los documentos” (Valles, 2003). Por lo tanto, de forma complementaria a las entrevistas propuestas, se desarrolló un proceso de observación directa, entendida como una técnica que consiste en observar de forma sistematizada los hechos o fenómenos que ocurren en la naturaleza o en la sociedad, en función de un objetivo preestablecido (Arias, 2012).

Aspectos técnicos

Número de sesiones: 4

Duración estimada: 2 horas por sesión

Materiales: Fichas de observación

Se generaron notas observacionales (NO) y notas teóricas (NT) (Schatzman y Strauss, 1973) para organizar adecuadamente la información recolectada.

Las sesiones se efectúan con la participación de dos observadores, con la finalidad de aportar mayor validez y fiabilidad (Adler y Adler, 1994). De igual manera y en concordancia con las entrevistas aplicadas, las categorías tomadas como referencia se encuentran desarrolladas a partir de la Guía para la clasificación de los datos culturales (Murdock, 1989) (Tabla 17).

Sitios de observación

- 1) Sitios donde se desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos.
- 2) Sitios estratégicos (camino, accesos) para el acceso a los recursos.
- 3) Áreas presuntamente silvestres o de uso restringido.
- 4) Cauce principal de la microcuenca.

Condiciones de observación

- 1) Efectos reactivos de la observación.
- 2) Verificación sobre situaciones expresadas por los entrevistados (inconsistencias, congruencia).
- 3) Actividades que comprometan la integridad de los componentes funcionales.
- 4) Actividades de monitoreo o vigilancia comunitaria.
- 5) Presencia de actores, técnicos institucionales en materia ambiental.
- 6) Roles en el aprovechamiento de los recursos.

Tabla 17. Categorías para realización de entrevistas y observación directa.

Categoría	Subcategoría
A) El sujeto en relación al medio social y al medio biofísico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tendencias instintivas y estados emocionales relacionados al ambiente. 2) Procesos de adaptación, formación y modificación del <i>ethos</i> ante cambios del ambiente. 3) Autopercepción en el contexto socioambiental. 4) Rutina y actividades recreativas relacionadas a servicios ecosistémicos culturales. 5) Normas y pautas formales y no escritas, vinculadas al uso de las funciones ecosistémicas.
B) Historia socioambiental y características culturales	<ol style="list-style-type: none"> 1) Historia tradicional 2) Transculturación y tendencias socioculturales 3) Vínculos y atribuciones culturales hacia los espacios comunes y/o naturales
C) Economía local, aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, regímenes de propiedad y formas de apropiación del espacio.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Aprovisionamiento de agua y uso del suelo 2) Prácticas agrícolas, pecuarias y forestales 3) Recolección 4) Tendencias económicas 5) Tipo de propiedad 6) Usufructos y usos productivos por agentes externos 7) Conflictos territoriales o vinculados al uso de los recursos
D) Organización social y participación gubernamental	<ol style="list-style-type: none"> 1) Organizaciones que participan en la dinámica socioambiental 2) Interacciones, actividades intersectoriales y jerarquía 3) Mecanismos de monitoreo, control y vigilancia ambiental 4) Mecanismos de participación, concertación e intervención en la política ambiental 5) Procesos de educación ambiental, transmisión de conocimientos y habilidades 6) Prácticas de conservación

Fuente: Elaborado con base en Murdock (1989)

5.7 Tratamiento de la información físico-química del agua

La integración de los resultados obtenidos mediante el análisis de los parámetros físico-químicos del agua en los sitios señalados requirió de cuatro etapas para gozar de elementos suficientes que permitieran ensamblar el subíndice relativo a la función de regulación química del agua,

- 1) Se realizó una interpolación lineal tomando como referencia los valores obtenidos mediante el análisis *in situ* para obtener valores en sitios faltantes mediante la siguiente ecuación (2):

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Ecuación 2. Interpolación lineal.

- 2) Se realizó una transformación a escala logarítmica con la finalidad de comprimir los resultados y evitar así la asimetría de cifras resultantes.
- 3) Debido a la relevancia de algunos parámetros relativos a la calidad del agua en relación al mantenimiento de diversos procesos ecosistémicos, se propone una ponderación de los parámetros (Tabla 18) tomando como referencia el análisis de Rubio-Arias *et al.* (2014).

Tabla 18. Ponderación de parámetros fisicoquímicos del agua.

Parámetro	Peso (Wi)
Oxígeno disuelto	5
Conductividad eléctrica	3
Fosfatos	3
Nitratos	2
Dióxido de carbono	2
Acidez	1
Dureza total	2
Sólidos totales disueltos (TDS)	3

Fuente: Elaboración propia con base en Rubio-Arias *et al* (2014)

- 4) Posteriormente a obtener los valores faltantes, transformarlos a una escala logarítmica y ponderarlos mediante su relevancia, los parámetros (Tabla 19) se agregan aritméticamente mediante la siguiente ecuación (3):

$$Q = \frac{T^{\circ} [Ac(P_{Ac}) + CO_2(P_{CO_2}) + O_2(P_{O_2}) + D(P_D) + NO_3^-(P_{NO_3^-}) + PO_4^{3-}(P_{PO_4^{3-}}) + SDT(P_{SDT}) + \sigma(P_{\sigma})]^{(\frac{pH}{10})}}{20}$$

Ecuación 3. Cálculo del índice de Calidad Ambiental del Agua

Tabla 19. Parámetros en la ecuación del IQA(m)

Abreviaturas ecuación IQA(m)
Q = IQA(m)
T° = Temperatura
Ac =Resultado acidez con normalización logarítmica
CO ₂ = Resultado de CO ₂ con normalización logarítmica
O ₂ = Resultado de oxígeno disuelto con normalización logarítmica
D = Resultado de dureza con normalización logarítmica
NO ₃ = Resultado de nitratos con normalización logarítmica
PO ₃ = Resultado de fosfatos con normalización logarítmica
SDT = Resultado de solidos disueltos totales con normalización logarítmica
σ = Resultado de conductividad eléctrica con normalización logarítmica
Px = Ponderación de cada parámetro
pH = Valor de pH (sin normalizar)

Fuente: Elaboración propia con base en Rubio-Arias *et al* (2014)

Esta ecuación, por su desarrollo se puede considerar de tipo empírica (Whittembury y Whittembury, 1957) y fue desarrollada tomando como referencia la propuesta para el índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) (Queralt, 1982). Inicialmente, conforme al índice mencionado, en este caso específico, posteriormente a su normalización logarítmica, se realiza una sumatoria de los resultados de todas las variables, pues estas se hallan en las mismas unidades (con excepción de la conductividad) las cuales se multiplican por su factor de ponderación, posteriormente se toman en cuenta las consideraciones a continuación expuestas.

La temperatura no solo impacta en la actividad biológica, sino también en la actividad química del agua, pues la temperatura es un factor determinante en el suministro de energía al sistema fluvial por lo que el valor de temperatura se posiciona como coeficiente, que multiplica el conjunto de las variables analizadas (al igual que en el ISQA) en la ecuación propuesta (Glasstone, 1979). Por otra parte, el pH es un parámetro del agua que indica en términos generales la calidad de la misma. La actividad, tanto química como biológica, es distinta en diferentes valores de este parámetro siendo la diferencia más notoria cuando se oscila entre valores muy altos y muy bajos de pH (Pourbaix, 1974), es por esto que dicho valor se posiciona como exponente en la ecuación, ya que, un incremento como un decremento, impactan de manera notable sobre la calidad del agua. El argumento matemático radica en que el valor de pH dividido entre diez arroja cifras cercanas a 1, resultando de este cálculo, valores numéricos compatibles con la escala anteriormente aplicada. Al mismo tiempo, el cálculo se vuelve más sensible ante cambios minúsculos de pH en los que se están usando hasta dos cifras decimales. Finalmente, el divisor con valor de veinte se corresponde con la temperatura estándar, la cuál es de 20°C y es establecida por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST) (Doiron, 2007)

5.8 Análisis de las condiciones funcionales de las superficies terrestres de la microcuenca

Definir la condición de integridad de la microcuenca constituye observar las condiciones externas a la estructura geomorfológica de la red hídrica y a la vegetación riparia asociada, ya que los cambios en los ecosistemas y suelos contenidos en las tierras que se elevan más allá de las llanuras de inundación de los cauces, potencialmente pueden afectar otros componentes de la microcuenca, como lo menciona Kleiss *et al.* (2008) “*A watershed perspective promotes consideration of the linkages among landscape components, such as the effects of land use on stream water quality and discharge*”. Los ecosistemas terrestres aportan funciones importantes para la regulación del flujo hidrológico y su buen estado de conservación, resulta un factor importante para prevenir la erosión y pérdida de suelos, así como la sedimentación en los cauces y cuerpos de agua, facilitando la infiltración y flujo hídrico, a la vez manteniendo la calidad del agua proporcionado hábitat (FAO, 2009). Para realizar el análisis, se generaron cinco ejes temáticos con base a los componentes funcionales del IWI relativos a regulación hidrológica, provisión de hábitat, regulación de sedimentos, regulación de la temperatura y regulación química del agua, adicionales a los procesos funcionales del cauce y las llanuras de inundación ya analizadas. Posteriormente, se realizó un análisis jerárquico mediante una matriz pareada (Saaty, 2008) para asignar un valor correspondiente a cada tipo de cobertura según sus condiciones funcionales. Para realizar el análisis se consultó bibliografía especializada, se generó una lista de aspectos referenciales para sustentar objetivamente la comparación y se generó una matriz para cada eje temático con valores preliminares como la expuesta en el ejemplo (Tabla 20).

Subsiguientemente se sometieron las matrices de cada eje temático a un ejercicio de consulta con expertos para generar los valores definitivos, por último, los valores resultantes se definieron como el producto de cada componente funcional de cada tipo de cobertura, los cuales se sometieron a un proceso de normalización en escala del 0 al 1, estos datos fueron vectorizados mediante SIG y convertidos a formato *raster*. Para continuar el proceso se gestionó el insumo cartográfico Mexbio 1.0 Mapa de impactos antropogénicos a la biodiversidad 2010 (CONABIO, 2016) el cuál se reproyectó al sistema de referencia de coordenadas del proyecto, posteriormente se vectorizó y se sometió a distintitos procedimientos (interpolación, *resampling*, y extracción) para tener un producto compatible para efectuar el análisis. Finalmente, mediante calculadora de *raster*, considerando una escala del 0 al 1, mediante multiplicación, se generó el producto final, integrando los mapas previamente generados.

Tabla 20. Análisis jerárquico de condiciones funcionales de la microcuenca.

<i>Tipo de cobertura</i>	<i>BPE</i>	<i>BE</i>	<i>BE(p)</i>	<i>CA</i>	<i>PI</i>	<i>SV</i>	<i>AH</i>	<i>AGR</i>
<i>BPE</i>	1	1	7	7	9	9	9	9
<i>BE</i>	1	1	7	7	9	9	9	9
<i>BE(p)</i>	0.14	0.14	1	7	7	9	9	9
<i>CA</i>	0.14	0.14	0.14	1	9	9	9	9
<i>PI</i>	0.11	0.11	0.14	0.11	1	5	3	3
<i>SV</i>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.2	1	1	0.2
<i>AH</i>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.33	1	1	0.33
<i>AGR</i>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.33	3	3	1

Fuente. Elaborado con base en Saaty (2018)

5.8.1 Referencias básicas para análisis jerárquico de condiciones funcionales

1) Los cambios de uso de suelo alteran la respuesta hidrológica, la impermeabilización de los suelos genera excedente de escorrentía, disminuye la capacidad de infiltración y limita las coberturas vegetales para interceptar la lluvia. En caso de presentarse tormentas intensas, se producen inundaciones con alto poder erosivo y transporte de materiales (Masís-Campos, 2014).

2) El tipo de cubierta vegetal es un factor no estructural para contrarrestar los problemas de movimiento del agua superficial, de la erosión del suelo y del control de inundaciones, así mismo los procesos de conversión de bosques a pastizales producen un aumento en el contenido de agua en el suelo y una mayor escorrentía anual, al disminuir la evapotranspiración y transpiración (Cavelier *et al.*, 2000 en Romero, 2009).

3) La urbanización provoca cambios ambientales en las superficies donde se desarrolla, como puede ser alteración del ciclo hidrológico, biológico y de la vegetación, así mismo, el aumento de las superficies impermeables al interior de la cuenca pueden ser indicadores de alteración del medio natural. Por otra parte, cuando la superficie impermeable se aproxima al lecho de los cauces, se modifican los niveles de las crecidas, ya que, la eliminación de la vegetación promueve una mayor escorrentía, a la vez, provocando un aumento en los límites de la llanura de inundación (Moscoso, 2007).

4) Las superficies impermeabilizadas, pudiendo ser áreas urbanizadas o suelos desnudos, generan pérdida y fragmentación de hábitats acuáticos y terrestres, así mismo algunas especies muestran estrés y disminución de su población, provocando pérdida de biodiversidad (Romero y Vásquez, 2005).

5) Algunos efectos conocidos de la agricultura en las cuencas son: incremento en la escorrentía, exacerbación de la erosión de los cauces, incremento en el caudal de sedimentos y nutrientes a los cuerpos de agua, fragmentación del hábitat de la vegetación y la vida silvestre, reducción o erradicación de especies sensibles, establecimiento y expansión de especies invasoras, microtopografía homogenizada (Zedler, 2003).

6) En los bosques perturbados por actividades antrópicas se observan varios cambios ambientales importantes en comparación con el bosque maduro. La eliminación del dosel modifica drásticamente el microclima, incluida la luz, así como disponibilidad y temperatura del suelo, así mismo genera perturbación en la estructura de la red trófica a través de los niveles tróficos inferiores, que a su vez afectaron a los niveles tróficos superiores (Laigle *et al.*, 2021).

5.9 Análisis de integridad del cauce

Ya efectuados los análisis específicos de los diversos componentes de la microcuenca, se procede a la incorporación de la información generada para generar el resultado final.

Para generar el índice de integridad del cauce, se acude a la reclasificación de los parámetros hidrogeomorfológicos ya evaluados, en seis condiciones funcionales, (Tabla 21) así mismo se incorpora al cálculo del índice los resultados del IQA(m) representando el valor del componente de Regulación Química del Agua. Para el cálculo del índice, además de la reclasificación mencionada y la incorporación de los datos sobre calidad de agua, se sustituye la suma de los parámetros en 3 categorías como sugiere el procedimiento original para el cálculo del IHG por su producto, tomando en cuenta las consideraciones conceptuales de Flotemersch *et al.* (2015) y se normaliza el resultado a una escala de 0 a 1.

Tabla 21. Reclasificación de los parámetros hidrogeomorfológicos.

Parámetros hidrogeomorfológicos	Clave
Naturalidad del régimen de caudal	Nr
Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Dms
Funcionalidad de la llanura de inundación	Fi
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	Ntp
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Clv
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	Nml
Continuidad longitudinal	Cl
Anchura, estructura y naturalidad	Aen
Interconectividad transversal	It
Parámetros de calidad de agua	Clave
Índice de calidad ambiental de agua	IQA(m)
Componente funcional	Parámetros
Regulación Química del Agua	IQA(m)
Regulación Hidrológica	Nr, Fi, Ntp, Clv, Aen, Cl
Conectividad Hidrológica	Ntp, Clv, Nml, Fi
Regulación de Temperatura	Nr, Clv, Cl, Aen, It
Provisión de Hábitat	Nr, Fi, Clv, Nml, Cl, Aen, It
Regulación de Sedimentos	Dms, Nml

Fuente: Elaboración propia con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011) y Flotemersch *et al.* (2016)

5.10 Análisis de integridad de la microcuenca

El índice de integridad de la microcuenca, se genera siguiendo la ruta metodológica del IWI, inicialmente, con base en los análisis específicos previamente realizados, se elabora una lista de estresores (Tabla 22) que afectan la condición de integridad de los componentes funcionales de la microcuenca (Tabla 23), estos estresores son definidos en dos categorías, dentro del cauce y fuera del cauce. Para generar esta lista, se consideran los elementos cartográficos disponibles, equivalentes a los utilizados por el índice original, sin embargo, se sustituyen por otros estresores o se omiten: 1) Estresores que carecen de insumo cartográfico o que no gozan información para el sitio de estudio; y 2) Estresores que no son adecuados para la escala de trabajo del proyecto. Los estresores ausentes son sustituidos por estresores que fueron observados, medidos y evaluados en campo. Mediante Excel, se construye una base de datos que contiene: 1) Unidades de escurrimiento (UdE); 2) Estresores; 3) Valor de cada estresor, por ejemplo: la densidad de intersecciones de caminos y cauces, el porcentaje de determinado tipo de cobertura terrestre, índice de calidad ambiental de agua, y en este caso valores resultantes sobre evaluación de parámetros hidrogeomorfológicos realizados *in situ*.

Tabla 22. Estresores de la microcuenca

Estresores	Componente Funcional
Fuera del Cauce	
Agricultura (No ribereña) (Milpas, arados, algunos tractores) (% de superficie)	RH, RT, RS, RQ
Bosque Perturbado (No ribereño) (Aclareo debido a la madera, pastoreo de ganado) (% de superficie)	RH, RS
Pérdida de bosques a pastizales (% de superficie)	RH, RS
Uso de suelo urbano (Baja densidad 800-2000, algunas calles y puentes de concreto, casas de concreto) (% de superficie)	RH, RT, RS, RQ
Superficies impermeabilizadas de origen antrópico (relacionadas con asentamientos humanos y tala histórica) (% de superficie)	RH, RS, RQ
Eliminación ribereña (Cultivos, madera, ganado) (IHG)	RH, CH, RT, PH, RS, RQ
Densidad de Caminos (Caminos de concreto, senderos, veredas) (km/km2)	RH
Alteraciones de llanuras de inundación (Calles/puentes, uso de suelo urbano) (IHG)	RH
Dentro del Cauce	
Defensas longitudinales en arroyos (Muros de piedra) (IHG)	RH, CH, RS, RQ
Incrustación de sedimentos (Incrustación del lecho rocoso en sedimentos finos) (IHG)	RS
Simplificación o alteración de la forma natural del canal o reducción de sinuosidades (IHG)	RH, CH
Alteraciones topológicas del cauce (Excavaciones en el cauce para acceso humano y de ganado al agua, alteraciones de la morfología vertical, obstáculos que alteran la continuidad longitudinal) (IHG)	RH, CH
Alteraciones de la calidad del agua (Contaminación difusa por actividades de ganado, agricultura, descargas urbanas y superficie impermeabilizada) (IQAm)	RQ
Intersecciones de carreteras/arroyos (Mayor presencia en los arroyos de orden inferior) (Intersecciones /km2)	CH, PH

Fuente: Elaboración propia con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011) y Flotemersch *et al.* (2016)

Tabla 23. Componentes Funcionales de la Cuenca de la microcuenca

Componente	
RH	Regulación Hidrológica
CH	Conectividad Hidrológica
RT	Regulación de la Temperatura
PH	Provisión de Hábitat
RS	Regulación de Sedimentos
RQ	Regulación Química del Agua

Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Posteriormente se procede a identificar el valor máximo para cada estresor, en los estresores referentes a proporciones el máximo valor es 100, para los estresores extraídos del IHG el valor máximo es 1, en los casos que los estresores no tengan un valor teórico máximo, el valor máximo será el valor más elevado considerando los resultados encontrados en todas las UdE, posteriormente, estos valores son transformados a una escala de 0 (menor impacto) a 1 (mayor impacto). Así mismo se conduce un proceso de agregación espacial de los valores de todas las UdE de la microcuenca y, por otra parte, del área de todas las UdE locales (sin afluentes) que confluyen a la misma UdE receptora (de afluentes de las UdEs locales).

Consecutivamente se establece numéricamente cuántos estresores alteran cada componente funcional de la cuenca, en este caso, diversos estresores afectan diferentes componentes. Este proceso permite obtener resultados para cada componente funcional de cada UdE local obteniendo el *Index of Catchment Integrity* ICI, que en este caso es posible traducir como índice de Integridad de Unidades de Ecurrimiento (Ecuación 4) por componente, así como para cada componente del total acumulado del área de la microcuenca y de la UdE receptora *Index of Watershed Integrity* IWI (Ecuación 5). El resultado final se constituye como el producto de los seis subíndices generados (Ecuación 6).

$$\widehat{ICI}_{i,c} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{i,c}} \left[1 - \left(\frac{s_{j,c}}{s_{j,cmax}} \right) \right]}{n_{i,c}}$$

Ecuación 4. Cálculo del ICI por componente funcional. Aho *et al.* (2020)

$$\widehat{IWI}_{i,w} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{i,w}} \left[1 - \left(\frac{s_{j,w}}{s_{j,cmax}} \right) \right]}{n_{i,w}}$$

Ecuación 5. Cálculo del IWI por componente funcional. Aho *et al.* (2020)

$$WI = \prod_{i=1}^6 \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_{i,w}} \left[1 - \left(\frac{s_{j,w}}{s_{j,cmax}} \right) \right]}{n_{i,w}} \right)$$

Ecuación 6. Cálculo del IWI. Elaborado con base en Aho *et al.* (2020) y Flotemersch *et al.* (2016)

5.10 Análisis del comportamiento socioambiental

Al finalizar la etapa de entrevistas y observación directa con las comunidades y otros actores pertinentes, se procede al análisis e interpretación, con la finalidad de identificar tendencias, patrones y otras situaciones puntuales que resulten elementos significativos para analizar las interacciones socioambientales de la microcuenca. Como se mencionó en un inicio, la aprehensión de las experiencias y sujetos en su fase inicial se realiza desde una postura fenomenológica, sin embargo, para su análisis se opta por una perspectiva de mayor inclinación hacia la hermenéutica, en un sentido de complementariedad, ya que en esta investigación no solo se busca plasmar de manera descriptiva los procesos experienciales de los habitantes y actores de la microcuenca, sino generar un conjunto de interpretaciones sobre la realidad socioambiental del sitio estudiado, en este sentido, los significados de la forma de apropiación del espacio biofísico, los actos relativos a la vivencia con el ese mismo espacio y sus elementos y las interacciones entre distintos actores con relación a estas experiencias, son de importancia y requieren de un análisis que permita distinguir los hechos reales de los supuestos aparentes y preconstruidos sobre los procesos socioambientales del sitio, en este sentido una perspectiva hermenéutica en las ciencias humanas y sociales, ofrece como menciona Pérez-Vargas *et al.* (2019) “una nueva visión, por demás, objetiva y diferenciada de la realidad aparente.”

Las actividades y omisiones humanas que actualmente e históricamente inciden en la condición de integridad de la microcuenca no solo son actos mecánicos, sino vivencias que surgen de la intención, comprender tales vivencias, precisa extender la visión más allá del individuo de forma aislada, ya que esta realidad se desenvuelve en conjunto con las realidades de otros humanos, en un contexto social y cultural. Por otra parte, como señala Dilthey (1951) no solo los actos y las palabras sino las posturas, gestos, expresiones faciales y otras formas de expresión son parte de la comprensión de la vivencia, en este sentido se pretende realizar el análisis considerando estos elementos y mediante lo definido como Dilthey como categorías reales, es decir categorías fundamentales extraídas de las experiencias, como ideas relativas a conexiones, estructuras, sentidos y significados (Fernández-Labastida, 2004).

El análisis inicialmente será realizado por segmentos, tomando en cuenta las categorías sobre las cuales se condujeron las sesiones de observación directa y entrevistas: **A)** Personalidad y conducta en relación al medio social y al medio biofísico **B)** Historia socioambiental y características culturales **C)** Economía local, aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, regímenes de propiedad y formas de apropiación del espacio **D)** Organización social y participación gubernamental. La información obtenida mediante las dos técnicas utilizadas se abordará de forma complementaria. Finalmente se busca realizar un ejercicio interpretativo que integre estos segmentos en un solo análisis de mayor profundidad.

6. RESULTADOS

6.1 Hidrografía y Unidades de escurrimiento (UdE)

Considerando sus características hidrográficas, la microcuenca La Laborcilla se define como una microcuenca exorreica de sexto orden, que presenta un patrón de drenaje dendrítico. El cauce principal de la microcuenca se define como Arroyo Gachupines, en el cual confluyen los cauces de 6 unidades de escurrimiento nombradas mediante una nomenclatura referente a su orientación geográfica (Tabla 24) definidas con base en el método de Strahler (1957) (Figura 11) El Arroyo Gachupines, aguas abajo, al confluir con otras corrientes de la microcuenca, cambia su nombre a Arroyo el Grande, el cual desemboca a Presa el Carmen y nuevamente cambia su nombre a Río El Pinal, la misma corriente en la localidad de Amazcala al confluir con el Arroyo Pinal del Zamorano cambia su nombre a Río Querétaro (Concyteq, 2003).

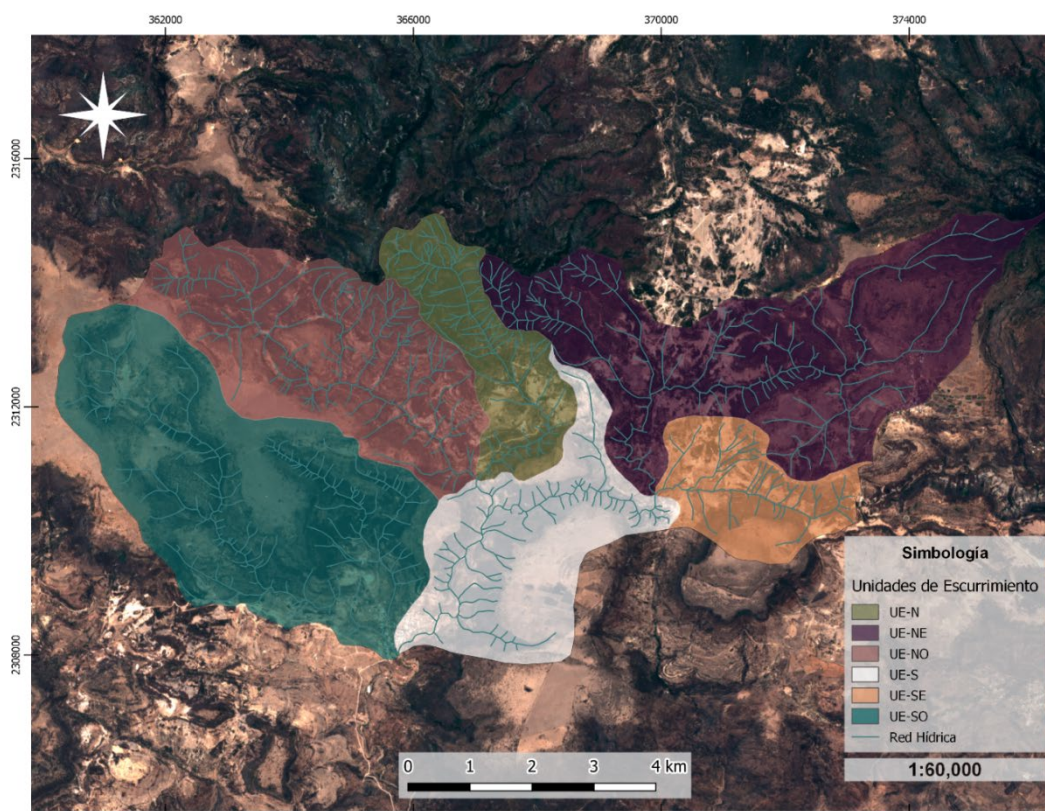


Figura 11.
Unidades de Escurrimiento. Elaboración propia con base en Strahler (1957)

Tabla 24. Unidades de Escurrimiento

<i>UdE</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Superficie en %</i>
UE-SE	4.93	6.99
UE-N	5.64	8
UE-S	9.70	13.75
UE-NO	12.97	18.39
UE-NE	18.62	26.4
UE-SO	18.66	26.45

Fuente. Elaboración propia con base en Strahler (1957)

6.2 Morfometría de la microcuenca

El funcionamiento de la microcuenca, en términos del comportamiento hídrico, desde su captación hasta su descarga, así como del transporte de sedimentos y otros procesos de la cuenca, vinculados a su forma y relieve precisan de su caracterización en términos morfométricos, ya que esta información permite comprender su comportamiento, con distintas finalidades de análisis y beneficios relacionados al estudio, manejo y gestión. Para el análisis se definieron los parámetros de forma, relieve y drenaje.

El espacio de estudio abordado, considerando sus parámetros de forma (Tabla 25), según la clasificación de las cuencas hidrográficas por área (Moreno y Esquivel, 2015), constituye una “microcuenca” de 70.51 km² y cuenta con un perímetro de 45.17 km. Con base al Coeficiente de compacidad de Gravelius cuenta con una clasificación Kc6 del rango de 1.51 a 1.74 con un valor de 1.52 por lo tanto se define como una microcuenca oval oblonga a rectangular oblonga, el Factor de Forma (0.44), la Relación de Elongación (0.75), el Índice de Alargamiento (2.17) y el Índice de Homogeneidad (0.61) permiten inferir que la microcuenca resulta tiende a una forma rectangular, es moderadamente alargada y con un relieve fuerte y pronunciado.

Las características del relieve, tomando en cuenta la curva hipsométrica (Figura 12) permiten definir que la microcuenca se encuentra, en fase de madurez, así mismo, se observa un Coeficiente de Rugosidad de 4.25 y una pendiente de 25.4 % así como una elevaciones máxima y mínima de 3285 msnm y 2176 msnm (Figura 13) observando un relieve fuerte y localizándose en uno de los puntos más elevados del estado de Querétaro.

Tabla 25. Parámetros morfométricos de la microcuenca La Laborcilla.

Parámetro	Indicador	Fórmula/Definición	Resultado
Forma	Área de la cuenca (Ac)	Superficie comprendida dentro del parteaguas	70.51 km ²
	Perímetro de la cuenca (Pc)	Longitud de la línea del parteaguas	45.17 km
	Longitud axial de la cuenca (Lc)	Distancia del punto más alejado del exutorio de la cuenca que sigue el comportamiento del río principal y toca el extremo del parteaguas	12.7 km
	Ancho promedio de la cuenca (W)	$W=Ac/Lc$	5.55 km ² /km
	Coefficiente de compacidad o índice de gravelius (K)	$K=0.282*Pc/\sqrt{Ac}$	1.52
	Factor de forma (Rf)	$Rf=W/Lc$	0.44
	Relación de elongación (Re)	$Re=1.128*\sqrt{Ac}/Lc$	0.75
	Índice de alargamiento (Ia)	$Ia= Lm/Am$	2.17
	Índice de homogeneidad (Ih)	$Ih=Ac/Sz$	0.61
Relieve	Curva hipsométrica (Ch)	Expresa la distribución del área de acuerdo a su elevación dentro del límite de la cuenca.	Figura
	Altura media (A)	$A= V/Ac$	0.24 km
	Elevación media (E)	$E= (\sum a*e) /Ac$	2509 msnm
	Pendiente de la cuenca(S)	$S=100 [(H*L) /Ac]$	25.4 %
	Orientación de la cuenca	Dirección geográfica según la resultante de la pendiente general de las laderas	Sur (36.04 %)
Drenaje	Longitud del cauce principal (Lcp)	Distancia de la proyección horizontal del cauce principal	17.75 km
	Pendiente media del cauce principal(P)	$P= [(Hmáx*Hmín)/Lcp] *100$	13.28 %
	Densidad de drenaje (Dd)	$Dd=Lcorr/Ac$	3.83 km/km ²
	Densidad de corrientes (Dc)	$Dc=Ca/Ac$	12.92 corr/km ²
	Orden de la cuenca	Según Schumm y Strahler	Sexto orden
	Relación de bifurcación (Rb)	$Rb=Nn/Nn+1$, $Rb= (Rb1+Rb2+Rbn)/número\ de\ Rbs$	8.279
	Tiempo de Concentración (tc)	$Tc= 0.06628*(Lcp^{0.77}/S^{0.385})$	0.175 hrs

Fuente: Elaborado con base en Henao (2006), Gaspari *et al.* (2010) y Gaspari *et al.* (2013)

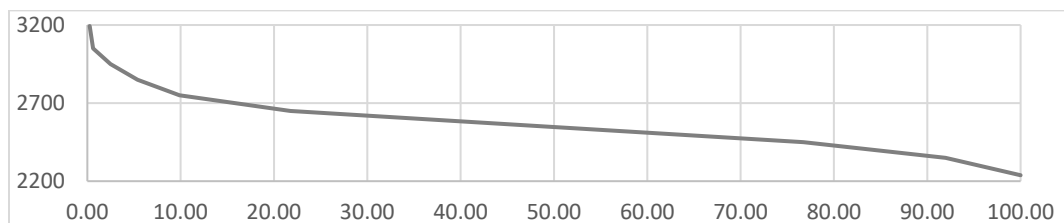


Figura 12.
Curva hipsométrica. Elaboración propia

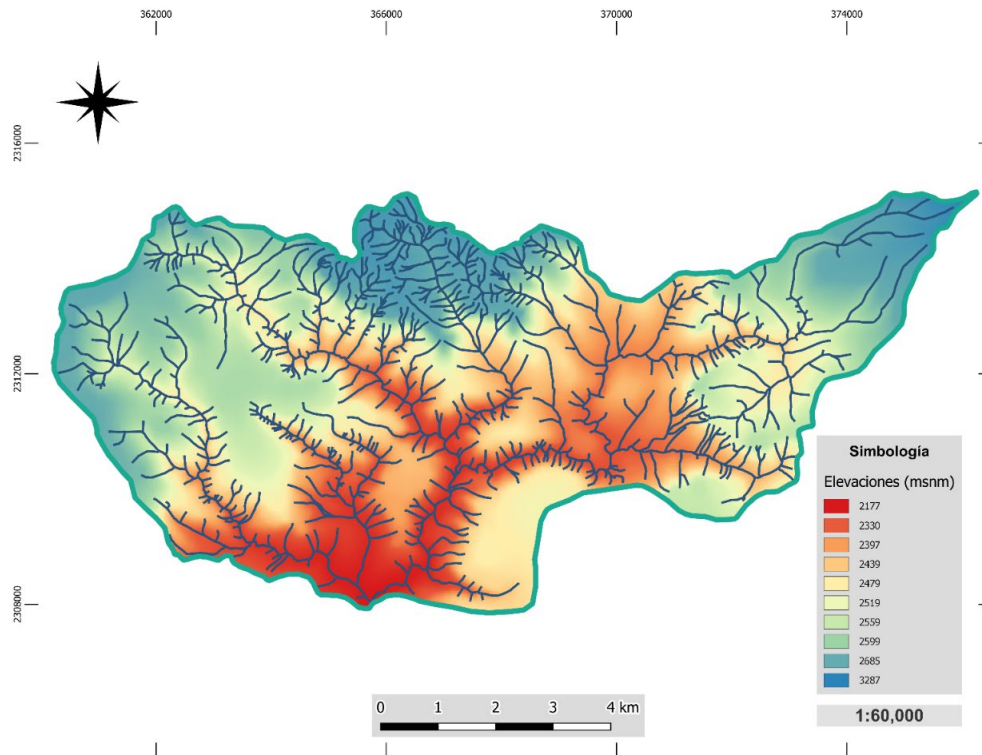


Figura 13.
Hipsometría. Elaboración propia con datos de INEGI (2015)

La microcuenca tiene una dirección predominante Sur con una superficie de 36.04 km², seguida de Norte con 17.72 km², posteriormente Este con 8.97 km² y finalmente Oeste con 6.92, encontrando para el valor *flat* una superficie de 0.86 km².

En tanto a los factores morfométricos de drenaje, la red de drenaje se caracteriza como dendrítico, el cauce principal de la microcuenca es de 6^{to} orden según Strahler (1957) (Figura 14) y tiene una longitud de 17.75 km. mientras en la superficie de microcuenca se observan aproximadamente 911 cauces de distintos órdenes (Tabla 26). La red presenta una densidad de drenaje con 3.83 km/km² y una densidad de corrientes de 12.92 corr/km², así como una relación de bifurcación de 8.27 con un Tiempo de concentración según Kirpich de 10.48 minutos, lo cual indica un drenaje medianamente rápido del agua, que coincide con su forma y relieve.

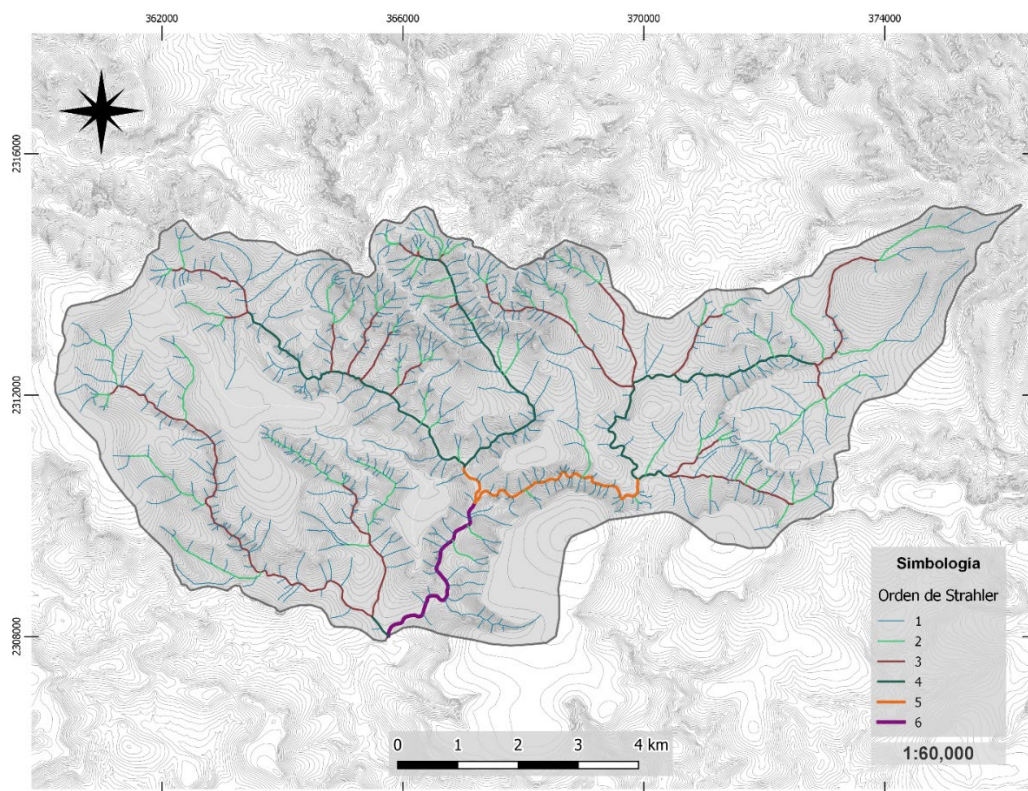


Figura 14.
Orden de los cauces. Elaboración propia con base en Strahler (1957)

Tabla 26. Número de cauces por orden.

<i>Orden del cauce según Strahler</i>	<i>Cantidad</i>
1	758
2	106
3	36
4	7
5	3
6	1
Total	911

Fuente: Elaboración propia con base en Strahler (1957)

6.3 Uso de Suelo y Vegetación (USyV)

La vegetación de la microcuenca (Figura 15) se caracteriza principalmente por coberturas de origen antrópico, en tanto este tipo de coberturas, resulta predominante la superficie de bosque de encino perturbado, seguido de pastizales inducidos, áreas sin cobertura vegetal, agricultura de temporal, zonas urbanas y finalmente cuerpos de agua artificiales como bordos. En tanto a las coberturas naturales se observa bosque de encino y bosque de encino pino, encontrando parches amplios en buen estado de conservación principalmente al norte de la microcuenca (Tabla 27).

Los antecedentes de degradación de la cobertura vegetal se remontan a la época colonial donde se talaron numerosas áreas para la producción de carbón y construcción de la ciudad (POELMCOL, 2018.) Así mismo, en la actualidad se desarrollan actividades pecuarias que inciden en la degradación de tales coberturas, también se presentan labores de tala en menor grado.

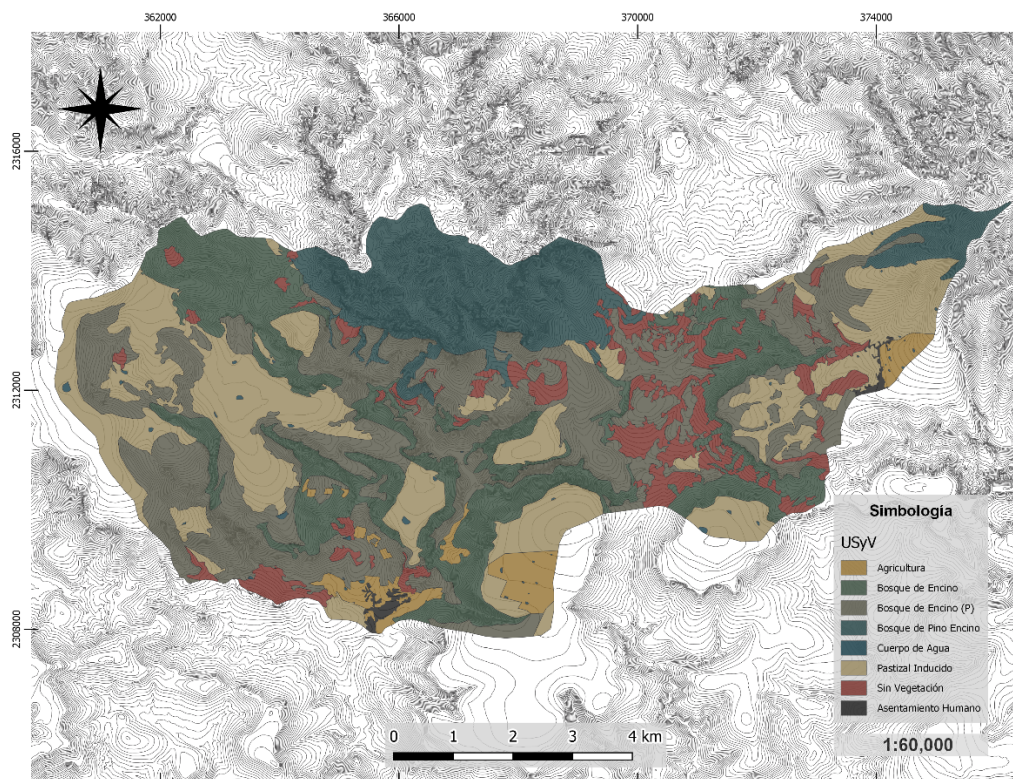


Figura 15.
Uso de suelo y vegetación. Elaboración propia

Tabla 27. Uso de suelo y vegetación por superficie

<i>Uso de suelo y vegetación</i>	<i>Superficie (km2)</i>	<i>Superficie en %</i>
Agricultura de Temporal	2.31	3.27
Bosque de Encino	14.34	20.31
Bosque de Encino (P) (Perturbado)	21.26	30.11
Bosque de Encino-Pino	9.95	14.09
Cuerpo de Agua	0.14	0.2
Pastizal Inducido	16.74	23.71
Sin Vegetación	5.56	7.88
Asentamiento Humano	0.31	0.44

Fuente: Elaboración propia

6.4 Índice Hidrogeomorfológico (IHG)

Respecto a la calidad hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (SF) evaluados (Figura 16) el SF18, el cual constituye el primer sector del curso superior del cauce, resultó uno de los dos sectores mejor puntuados al no observar impactos o presiones dentro de los indicadores del IHG que alteren su calidad funcional, sin embargo, el SF17 comienza a mostrar indicios de deterioro, encontrando un pequeño afluente que atraviesa secciones de pastizal inducido y a la vez observando afectaciones a la naturalidad de la vegetación del corredor ribereño.

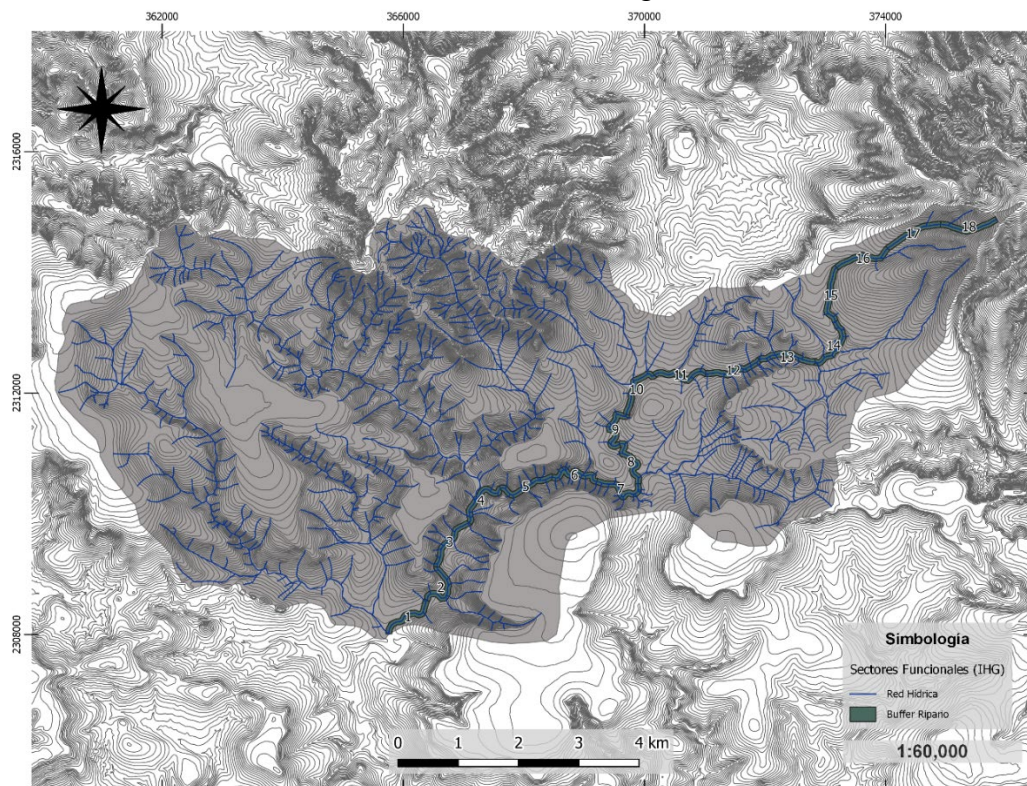


Figura 16.
Sectores Funcionales Evaluados (IHG). Elaboración propia

Los SF16, SF15 y SF14, muestran un tipo similar de afectaciones que el SF anterior, sin embargo, estas afectaciones se desarrollan en un grado más avanzado, al encontrar una mayor superficie ribereña afectada por pérdida de vegetación, presiones antrópicas relacionadas a actividades de pastoreo y la presencia de algunas discontinuidades longitudinales menores relativas a intersecciones con veredas donde transita ganado, cabe señalar que estos tres sectores son los de mayor proximidad a la comunidad Los Trigos. EL SF13 discurre en un valle de mayor profundidad que sus antecesores y no se presenta pérdida de vegetación del corredor, sin embargo, la naturalidad del lecho encuentra algunas alteraciones puntuales relativas a la acumulación y aporte de sedimentos proveniente de una de sus vertientes y colonización vegetal sobre estos depósitos. El SF12 mostró mayor acumulación de sedimentos, con el mismo origen que el sector anterior, sin embargo, en este sector los depósitos son abundantes, modifican la morfología del lecho y pueden afectar la movilidad lateral del cauce y la cantidad de caudal, así mismo la llanura de inundación presenta de forma puntual, algunas áreas impermeabilizadas por pérdida de vegetación y suelo.

El SF11 muestra menor acumulación de sedimentos y menor pérdida vegetal, sin embargo, de forma paralela sobre el corredor ribereño, se encuentra una vereda que genera una leve discontinuidad transversal. Los SF10 y SF9 presentan algunas zonas impermeabilizadas puntuales, de origen antrópico, así como discontinuidades transversales leves relativas a la pérdida de vegetación. La SF8 presenta una desvegetación más severa en la zona ribereña, una mayor superficie impermeabilizada, así como tramos con depósitos sedimentarios asociables al aporte de la superficie terrestre contigua, observando alteraciones en la verticalidad potencial del lecho. EL SF7 presenta buenas condiciones en su cobertura y estructura vegetal, sin embargo, presenta algunas zonas impermeabilizadas puntuales y una de sus vertientes se encuentra mayormente desprovista de vegetación.

EL SF6 Y SF5 ubicados en un valle confinado, resultaron los sectores en mejores condiciones en el curso medio del cauce, en el primero encontrando indicios leves de acumulación de sedimentos provenientes de procesos erosivos de las superficies terrestres deterioradas, mientras el segundo no mostró ninguna alteración que afectara sus condiciones funcionales. A partir del SF4 y hasta el punto de salida de la cuenca, se incrementó la presencia y frecuencia de factores de deterioro fluvial, es importante señalar que estos sectores se encuentran próximos a la comunidad La Laborcilla, en la zona de descarga de la microcuenca. En el último sector mencionado se encontró una importante superficie de su extensión, constituida por superficie agrícola, indicando no solo pérdida de vegetación sino alteraciones morfológicas de la llanura de inundación, encontrando defensas longitudinales de piedra entre el cauce y esta última, así como un camino rural donde circulan vehículos el cual en ciertos tramos se ubica longitudinalmente

sobre el lecho del cauce. En el SF3, a pesar de no encontrar intersecciones con caminos se vuelven más frecuentes las defensas longitudinales y las superficies agrícolas ubicadas dentro del *buffer* ripario abarcan una mayor extensión. Los SF2 Y SF1 resultaron los sectores con mayor deterioro. En estos sectores, especialmente el último la sustitución de vegetación riparia por coberturas agrícolas resulta evidente, así mismo se vuelven a observar defensas longitudinales sobre de los dos sectores, varias intersecciones transversales y longitudinales de caminos sobre el cauce y el *buffer* ripario, en algunas secciones, el camino se ubica longitudinalmente sobre el lecho, también se observan algunas perforaciones puntuales del mismo lecho, hechas con maquinaria.

Con base al IHG (Tabla 28) y sus parámetros asociados (Tabla 29) Los SF no presentan alteraciones hidrogeomorfológicas severas atribuidas a obras de infraestructura hidráulica como presas, canalizaciones, trasvases, derivaciones, obras de infraestructura vial como puentes o carreteras, o actividades como extracciones de materiales, sin embargo, se presentan alteraciones relacionadas al uso de suelo como procesos de remoción de vegetación riparia para desarrollar actividades de agricultura (Figura 17) también se observó que algunas de estas superficies antropizadas, se acompañaban de defensas longitudinales entre las márgenes del cauce y la llanura de inundación (Figura 18). Cabe señalar que la calidad funcional de los SF cercanos a los asentamientos humanos y a superficies terrestres altamente deterioradas, obtuvieron resultados inferiores, presentando no solo remociones de vegetación, sino alteraciones en la morfología de las llanuras de inundación u en el lecho, mediante perforaciones realizadas con maquinaria (Figura 19) y en la cantidad de sedimento circundante, encontrando algunos signos de embebimiento en diferentes categorías (Figura 20). Los sectores superiores del cauce mostraron condiciones adecuadas, en algunos casos sin alteraciones de forma, sin aporte de sedimentos por condiciones de alteración, sin obstáculos longitudinales ni transversales o remoción de vegetación (Figura 21).

Tabla 28. Índice Hidrogeomorfológico por sector funcional

S. Funcional	Nr	Dms	Fi	CSF	Ntp		Clv	Nml	CC	CI	Aen	It	CR	IHG
1	-4	-3	-4	19	-1		-1	-5	23	-1	-3	-2	24	66
2	-2	-3	-3	22	-2		-2	-3	23	-1	-3	-3	23	68
3	-2	-2	-3	23	-1		-1	-4	24	-1	-2	-2	25	72
4	-2	-2	-2	24	-1		-2	-3	24	-1	-2	-2	25	73
5	10	10	10	30	10		10	10	30	10	10	10	30	90
6	10	-1	10	29	10		10	10	30	10	10	10	30	89
7	-2	-1	-1	26	10		10	10	30	10	10	-1	29	85
8	-2	-2	-2	24	-1		-1	-1	27	-1	-2	-2	25	76
9	10	-2	-2	26	10		10	10	30	10	-1	-1	28	84
10	10	-2	-1	27	10		10	10	30	10	10	-1	29	86
11	10	-2	10	28	10		10	10	30	-9	-9	-9	30	85
12	10	-3	-1	26	-1		-1	-1	27	-1	-1	-1	27	80
13	10	-2	10	28	10		-1	10	29	10	10	10	30	87
14	-2	-2	-1	25	10		10	10	30	-1	-1	-1	27	82
15	-2	-2	-1	25	10		-1	10	29	-1	-1	-1	27	81
16	10	-2	-1	27	10		-1	-1	28	-1	-2	-1	26	81
17	10	-1	10	29	10		10	10	30	10	-1	-1	28	87
18	10	10	10	30	10		10	10	30	10	10	10	30	90

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)

Tabla 29. Parámetros del Índice Hidrogeomorfológico

Parámetros del IHG	Clave
Calidad funcional del sistema fluvial	CSF
Naturalidad del régimen de caudal	Nr
Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Dms
Funcionalidad de la llanura de inundación	Fi
Calidad del cauce	CC
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	Ntp
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Clv
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	Nml
Calidad de las riberas	CR
Continuidad longitudinal	Cl
Anchura, estructura y naturalidad	Aen
Interconectividad transversal	It

Fuente: Elaborado con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011)



Figura 17.
Sustitución de vegetación riparia por superficie de agricultura. Elaboración propia



Figura 18.
Defensas longitudinales en las márgenes del cauce. Elaboración propia



Figura 19.
Defensas longitudinales y perforaciones en el lecho. Elaboración propia



Figura 20.
Embebimiento de categoría 4 del sustrato rocoso. Elaboración propia



Figura 21.
Sector del curso superior con buena calidad hidrogeomorfológica. Elaboración propia

6.5 Índice de Calidad Ambiental de Agua IQA(m)

Las mediciones sobre los puntos de muestreo (Figura 22) arrojaron resultados heterogéneos en el índice, sin embargo, se observó que, al aproximarse los puntos de muestreo a la zona de descarga de la microcuenca, aumentaron los indicios de alteraciones en la calidad físico-química del agua, esta situación se relaciona con distintos procesos de transformación del paisaje y las relaciones entre las actividades humanas con el cauce principal de este territorio.

En cuanto a los parámetros específicos (Tabla 29), el pH se ubicó en el rango de 7.61 a 8.68, y se observó un patrón de incremento entre los sitios de muestreo 4 y 7, es posible que este fenómeno se deba al aporte de sedimentos de las superficies impermeabilizadas encontradas en algunas de las vertientes del cauce, dicho aporte también puede mostrar un incremento por la pérdida de vegetación riparia. La geología del sitio está compuesta por rocas ígneas extrusivas alcalinas como la andesita, pero también ácidas, como ignimbrita riolítica (Verma y Carrasco-Núñez, 2003) situación que genera incertidumbre al asociar directamente el cambio con la situación mencionada, sin embargo, es posible considerar otras situaciones que pueden generar este incremento como el aporte de amoníaco asociado a descargas de aguas residuales o posibles filtraciones de fosas sépticas, ya que la comunidad Los Trigos carece de drenaje sanitario.

Tabla 30. Parámetros físico-químicos del agua en los sitios de muestreo.

SITIO	pH	Acidez	CO ²	O ²	Dureza	Nitrato	Fosfato	Temp.	STD	Conductiv.
9	7.68	30	8.35	5.8	34.5	<0.5	<0.1	20.08	77	197
8	7.61	27.5	15	4.1	97.5	<0.5	<0.1	15.04	136	306
7	7.58	25	9.75	5.8	60	<0.5	<0.1	17.0	74	151
6	7.81	27.5	7.55	5.1	39	<0.5	<0.1	21.25	76	160
5	8.00	25	8.36	5.7	51	<0.5	<0.1	21.6	80	169
4	8.20	23.16	9.1	6.3	63	<0.5	<0.1	21.95	84	178
3	8.40	20	10	6.9	75	<0.5	<0.1	22.3	89	187
2	7.77	14.5	6	7.7	51	<0.5	3	24.15	83	205
1	8.68	20	6	7.5	72	<0.5	<0.1	22.1	126	251

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, este aporte puede ser asociado a una forma de contaminación difusa mediante la aplicación de fertilizantes y actividades relacionadas con la ganadería, misma que tiene una importante presencia en la microcuenca. Cabe señalar que el punto de muestreo con el pH más elevado, se encuentra en el punto de salida de la microcuenca, donde el cauce se encuentra con la comunidad La Laborcilla, donde también se llevan a cabo actividades de ganadería y agricultura, el resultado en este sitio es el único que excede el límite permisible de la normatividad (NOM-127-SSA1-1994).

A pesar de las actividades y estresores ya mencionados, la saturación de oxígeno disuelto encontrada en los puntos de muestreo, convertida de OD mg/l a OD% mediante un monograma de saturación (Tabla 31) y con base en la escala de clasificación de la calidad de agua superficial de cuerpos de agua lóticos (RNM, 2021), las muestras se encontraron en el rango de aceptable a excelente, sin encontrar muestras clasificadas en los rangos de contaminada o muy contaminada. Con base en la misma clasificación en el apartado de SDT, todas las muestras se encontraron en el rango de aceptable a excelente, sin embargo, los sitios de muestreo 2 y 9 se encontraron cerca del límite de su clase, próximas a clasificarse como contaminadas. En términos de dureza, ninguna muestra excedió el límite permisible mostrado en la normativa (NOM-127-SSA1-1994) con base en su clasificación (Sawyer, 1960) todas las muestras con excepción de la muestra del sitio 2 y 7 se clasificaron como suave, mientras el agua de los sitios mencionados se puede considerar moderadamente dura.

Tabla 31. Conversión de OD mg/l a OD% mediante monograma de saturación.

OD mg/l	Temp. °C	OD %
5.8	20.08	67
4.1	15.04	43
5.8	17	63
5.1	21.25	59
5.7	21.6	67
6.3	21.95	76
6.9	22.3	83
7.7	24.15	95
7.5	22.1	89

Fuente: **Elaboración propia**

La conductividad de todas las muestras se ubicó en el rango de 150 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ considerado por la EPA (2012) como apto para ciertas especies de peces o macroinvertebrados. Con relación a los SDT y dureza, los sitios 2, 7 y 9 mostraron los niveles más elevados en este parámetro. En cuanto a concentración de nitratos ningún sitio superó los límites de la normatividad (NOM-127-SSA1-1994). Por otra parte, en cuanto a concentración de fosfatos, el sitio 8 superó ampliamente el límite establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEDUDE, 1989) el cual es 0.1 mg/ y 0.05 mg/l en afluentes, esta situación, se relaciona a zonas del cauce cercanas a La Laborcilla, utilizadas para el lavado de ropa, utensilios o vehículos. Como se comentó, el índice mostró resultados en un sentido descendente (Tablas 32 y 33) conforme el cauce se dirigía aguas abajo. El primer sitio arrojó un resultado en la categoría excelente, del sitio 2 al 5 el resultado fue en la categoría muy buena, esto a pesar del incremento del pH a partir del sitio 4, los sitios 6 y 7 se ubicaron en la categoría media, notando un incremento en SDT, dureza y conductividad en comparación con los sitios anteriores, finalmente los sitios 8 y 9 se ubicaron en la categoría mala, notando un incremento de CO_2 , SDT y conductividad, así como fosfatos y temperatura en el sitio 8 y pH en el sitio 9.

Tabla 32. Parámetros normalizados y ponderados con resultado final del IQA(m).

Wi	NA	1	2	5	2	2	2	NA	3	3	IQA(m)
SITIO	pH	Acidez (mg/L)	CO ₂ (mg/L)	O ₂ (mg/L)	Dureza (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Temp. (°C)	SDT (mg/L)	Conductiv. σ (μS/cm)	
1	7.68	1.47712125	0.92168648	-0.76342799	1.5378191	-0.301	-1	20.08	1.88649073	2.29446623	6.9
2	7.61	1.43933269	1.17609126	-0.61278386	1.98900462	-0.301	-1	15.04	2.13353891	2.48572143	6.1
3	7.58	1.39794001	0.98900462	-0.76342799	1.77815125	-0.301	-1	17	1.86923172	2.17897695	5.8
4	7.81	1.43933269	0.87794695	-0.70757018	1.59106461	-0.301	-1	21.25	1.88081359	2.20411998	7.6
5	8	1.39794001	0.92220628	-0.75587486	1.70757018	-0.301	-1	21.6	1.90308999	2.2278867	8.2
6	8.2	1.36473856	0.95904139	-0.79934055	1.79934055	-0.301	-1	21.95	1.92427929	2.25042	8.8
7	8.4	1.30103	1	-0.83884909	1.87506126	-0.301	-1	22.3	1.94939001	2.27184161	9.5
8	7.77	1.161368	0.77815125	-0.88649073	1.70757018	-0.301	0.47712125	24.15	1.91907809	2.31175386	9.7
9	8.68	1.30103	0.77815125	-0.87506126	1.8573325	-0.301	-1	22.1	2.10037055	2.39967372	10.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Clasificación de rangos del IQA(m). Elaboración propia.

Rango	Clasificación
> 10.50	Muy Mala
9.6 - 10.50	Mala
8.6 - 9.5	Media
7.6 - 8.5	Muy buena
6.6 - 7.50	Excelente
5.6 - 6.5	Muy buena
4.6 - 5.5	Media
3.6 - 4.5	Mala
3.6 <	Muy Mala

Fuente: Elaboración propia



Figura 22.
Puntos de muestreo IQA(m). Elaboración propia.

6.6 Análisis de integridad

6.6.1 Integridad del cauce

Como se determinó en el IHG del cauce principal de la microcuenca, se lograron resultados mixtos donde se observó el decremento del resultado en la proximidad a asentamientos humanos, a superficies terrestres con alteraciones severas y a la salida de la cuenca. De forma similar esta situación también fue posible de observar en el cálculo del IQA(m). Al tomar en cuenta la noción de complementos funcionales e incorporarlos matemáticamente como producto, los cambios pequeños en cualquiera de ellos, genera una disminución en el valor total obtenido, esta situación indica que, si alguno de estos valores tiende a valores muy bajos, el sistema se encuentra en riesgo de colapso, en un escenario donde cualquiera de estas funciones desapareciera, surgiría una reacción en cadena con los otros elementos del sistema. Por esta razón, al calcular la condición de integridad del cauce (Figura 23), en ciertos casos fue posible observar un resultado inferior al obtenido mediante el IHG.

Cabe señalar que el proceso para generar el índice final (Tabla 34), otorga un grado de integridad máximo (1) al sector que obtiene la mejor puntuación, el cual funciona como límite superior y referencia de condiciones de integridad en relación a otros cauces. En este caso en particular, el primer sector del curso fluvial alto resultó con los valores más altos posibles en todas las evaluaciones, lo cual indica que no sólo goza de buena calidad hidrogeomorfológica sino de una excelente condición de integridad. Por el contrario, los SF1, SF2, SF3 y SF4, resultaron con los menores grados de integridad, aún en mayor medida los últimos dos sectores. La situación en términos de regulación química del agua resulta un efecto no solo local, al observar mayores presiones en el sitio, sino también un efecto acumulativo, encontrando un incremento gradual en algunos parámetros como pH y conductividad conforme el curso del cauce se aproxima al punto de descarga de la microcuenca. En términos de provisión de hábitat estos últimos sectores también resultan los más alterados, al encontrar remoción de vegetación riparia, pero también defensas longitudinales que impiden la función de estos ecosistemas como interface entre los ecosistemas terrestres y acuáticos y además generan alteraciones en la movilidad lateral del cauce, causando efectos en términos de Regulación de Sedimentos, al restringir procesos erosivos naturales del cauce, así mismo generando efectos negativos en términos de conectividad hidrológica y de regulación hidrológica, al dificultar la conexión del cauce con la llanura de inundación. La remoción de las superficies vegetales naturales también es un factor de incremento de sedimentos, el cual puede aumentar por los efectos de impermeabilización que se extienden desde las superficies terrestres hasta algunos puntos de las llanuras de inundación, situación que también constituye un factor de alteración en términos de regulación de la temperatura.

Como es posible observar la interacción entre estos factores genera sinergias negativas en términos del funcionamiento del cauce, situación que permite definir que aún las mínimas alteraciones tienen capacidad de generar reacciones negativas en términos exponenciales.

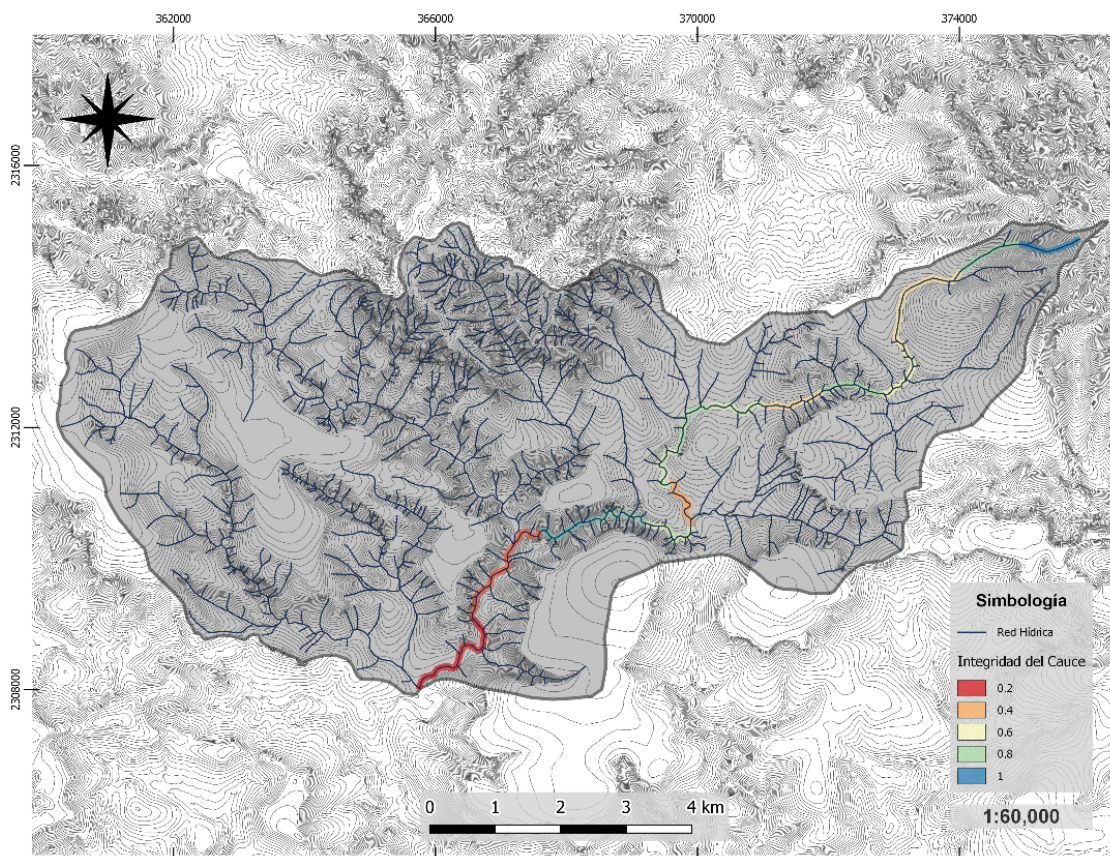


Figura 23.

Integridad del Cauce. Elaboración propia con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011) y Flotemersch *et al.* (2016)

Tabla 34. Integridad del Cauce por Sector Funcional.

SF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IIC	0.18	0.21	0.28	0.29	0.90	0.86	0.71	0.40	0.71	0.78	0.70	0.53	0.80	0.61	0.56	0.54	0.84	1

Fuente: Elaboración propia con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011) y Flotemersch *et al.* (2016)

6.6.2 Funcionalidad e Integridad de las superficies terrestres

Al tomar en cuenta los planteamientos de la gestión integrada de cuencas y la noción de integridad expuesta en el IWI, es innegable la influencia de las condiciones de los ecosistemas terrestres en el funcionamiento adecuado de la cuenca. Con base al resultado obtenido (Figura 24) es posible observar que los SF 18, 17, 13, 5 y 6 que se encuentran próximos a superficies terrestres con un grado elevado de funcionalidad-integridad resultan los mejor evaluados. Las superficies que con base en el análisis jerárquico fueron definidas con el mayor grado de funcionalidad, razonablemente resultaron las menos alteradas en el índice Mexbio 1.0 que considera tres factores de impacto antropogénico: cambio de uso del suelo, desarrollo de infraestructura y fragmentación de hábitats. Una situación importante resultó que superficies altamente funcionales, como el Bosque de Encino, aún al encontrarse parches en zonas de alto impacto preservaron una relación de Funcionalidad – Integridad adecuada, lo cual permite observar que superficies altamente funcionales y por lo tanto integrales, hipotéticamente gozan de mayor capacidad de amortiguar impactos, sin embargo superficies menos funcionales como pastos inducidos o agricultura demostraron mayor fragilidad en zonas con grados de presión similar. En este caso en particular, el tipo de cobertura con mayor grado de funcionalidad resultó el Bosque de Pino-Encino, no solo por sus resultados en el análisis jerárquico, sino también por las mínimas condiciones de impacto contempladas en Mexbio 1.0.

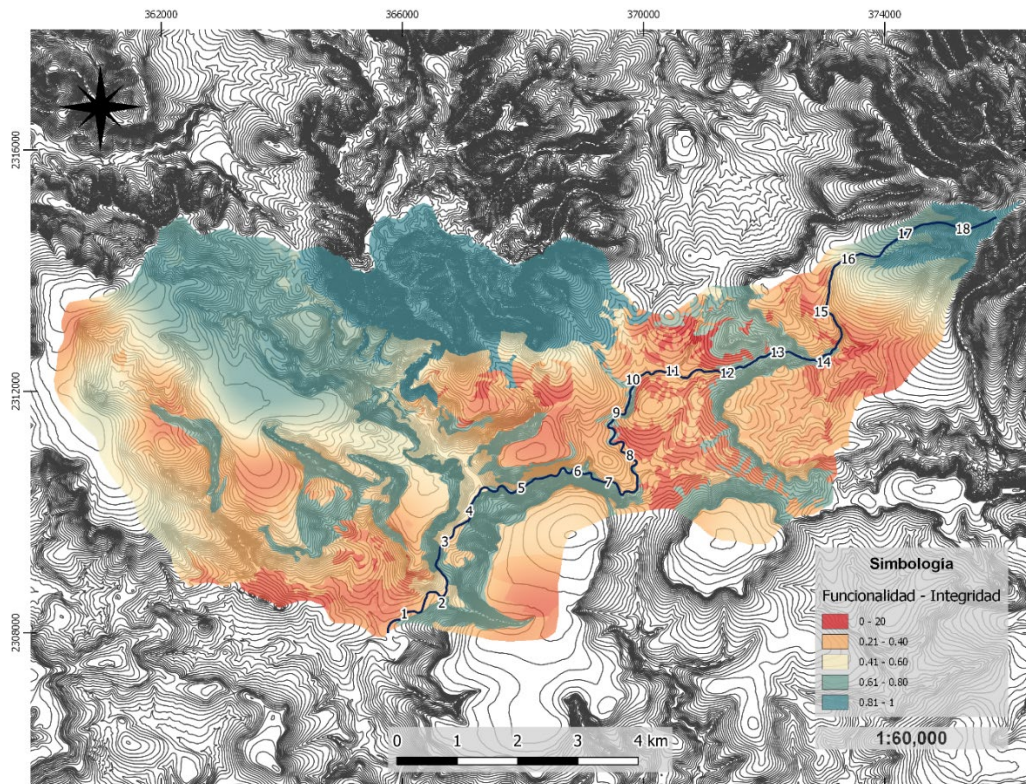


Figura 24.
Funcionalidad-Integridad de las superficies terrestres. Elaboración propia.

6.6.3 índice de Integridad de la Microcuenca

El desarrollo de los índices de Integridad de Cuenca y de Integridad de Unidades de Ecurrimiento, permitió en su proceso integrar los datos relativos a los estresores seleccionados de dos formas; la primera de estas considera que los estresores afectan el funcionamiento general de la cuenca, excluyendo la noción de componentes funcionales; por el contrario, la segunda forma, adherida al planteamiento original, considera estresores específicos para cada componente funcional, donde se genera un subíndice para cada uno de ellos y posteriormente el producto de estos constituye el índice final. Este ejercicio permite observar cómo es que la interacción de estresores en la cuenca deriva en efectos acumulativos, mismos que no solo se desarrollan en una situación temporal sino por la situación de interacción mencionada.

En tanto a los resultados específicos, comenzado por el cálculo del ICI en su modalidad no acumulativa (Figura 25), se determinó que todas las unidades de escurrimiento exceptuando la UE-SO obtuvieron resultados sobre el 0.8 (Tabla 35) situación que indica que, a pesar del grado de presión generada por los estresores, sin considerar su interacción, las unidades gozarían de un grado elevado de integridad. La UE-SO, aún sin considerar los efectos acumulativos ya presenta un grado de integridad inferior, lo cual conforma un indicio del avanzado grado de deterioro de la misma.

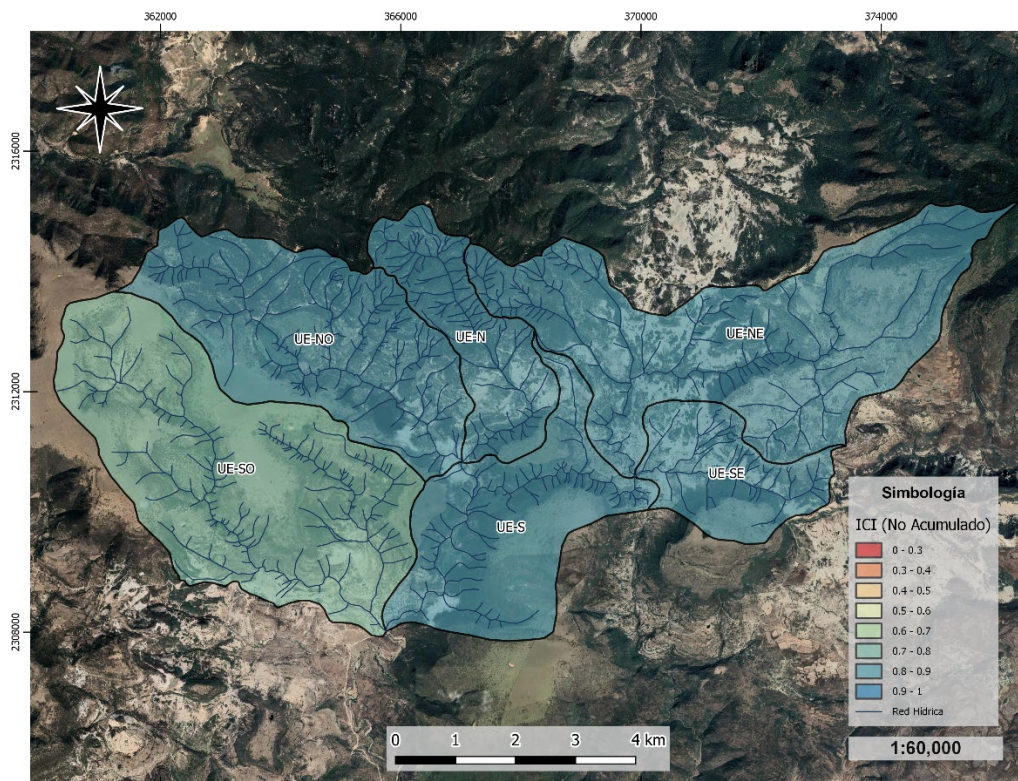


Figura 25.
Integridad de Unidades de Ecurrimiento ICI (No Acumulado). Elaboración propia.

Tabla 35. Índice de Integridad de Unidades de Escurrimiento ICI (No Acumulado).

ICI	UDE-S	UDE-N	UDE-NE	UDE-NO	UDE-SO	UDE-SE
	0.82	0.85	0.85	0.87	0.78	0.87

Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Por otra parte, al realizar la agregación espacial de todos los estresores observados en las UdE (Figura 26), considerando la misma mecánica que el caso anterior, al excluir el concepto de complementos funcionales e interacciones entre estresores, se determina un IWI de 0.83 para la microcuenca en toda su extensión (Tabla 36). Cabe señalar que al realizar este cálculo, el resultado para la UE-S experimenta un ligero cambio, esta situación se debe a que esta unidad de escurrimiento se comporta como una UdE receptora de afluentes de varias UdE locales, su resultado corresponde a la agregación espacial de todas las UdE exceptuando la UE-SO, así mismo, al ejecutar el proceso de agregación espacial es posible observar que el resultado global de la microcuenca y el esta UdE se aproximan a un valor similar al ejecutar el proceso ya mencionado.

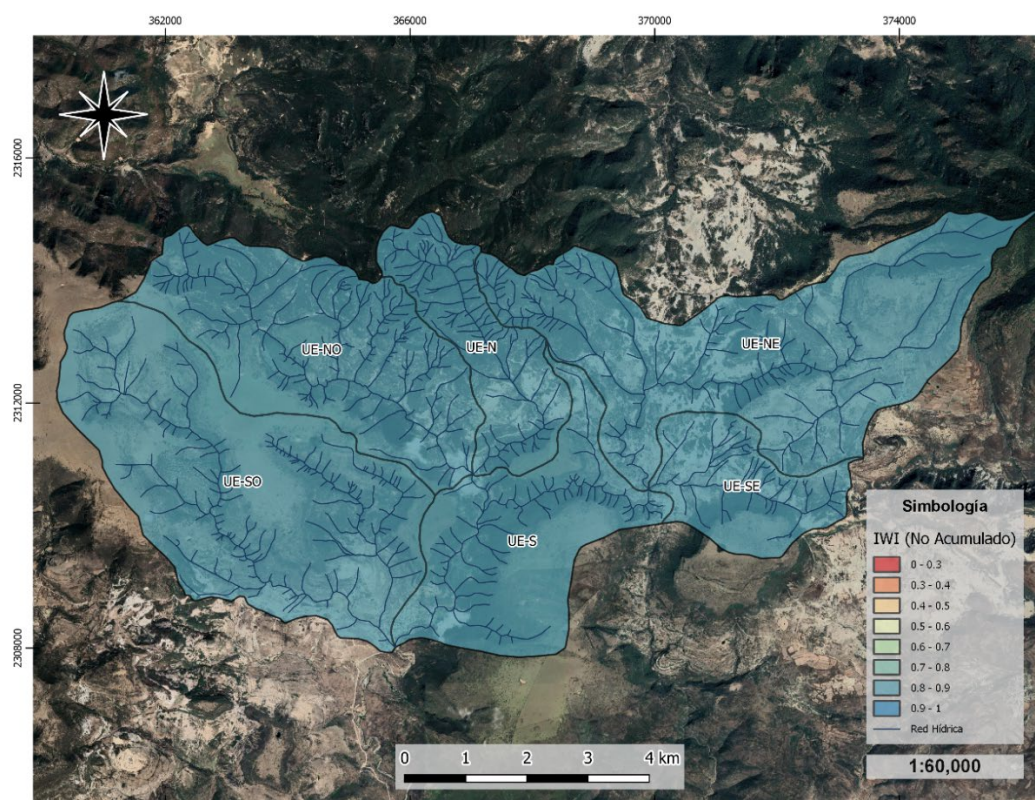


Figura 26.

Integridad de Cuenca IWI (No Acumulado). Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Tabla 36. Índice de Integridad de Cuenca IWI (No Acumulado).

IWI	UDE-S	UDE-N	UDE-NE	UDE-NO	UDE-SO	UDE-SE	Laborcilla
	0.84	0.85	0.85	0.87	0.78	0.87	0.83

Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Al considerar los componentes funcionales así como los efectos acumulados entre estresores, se generan cambios abruptos frente a los resultados anteriormente planteados. En términos de los subíndices generados (Tabla 37), calculados para cada UdE, se arrojaron resultados superiores a 0.8, sin embargo es posible notar cuatro excepciones con resultados inferiores, dos en términos de RQ, en las UE-S y UE-SO, situación que surge debido a los resultados arrojados por el IQA(m) en conjunción con la presencia de asentamientos humanos y la proporción de superficies agrícolas, así mismo otra excepción se presenta en PH en la UdE-N debido a la elevada cantidad de intersecciones entre caminos y arroyos y una más en RT de igual forma en la UE-SO en relación a la desvegetación de superficies terrestres pero también por el deterioro de la vegetación riparia de su cauce principal. Es posible observar que esta última UdE resulta con el menor grado de integridad con un ICI de 0.27, por el contrario, la UE-NO presenta el ICI más elevado con 0.58. Los resultados del ICI (Figura 27) indican que todas las UdE, exceptuando la UE-NO, se encuentran en un grado de integridad por debajo de un 50%.

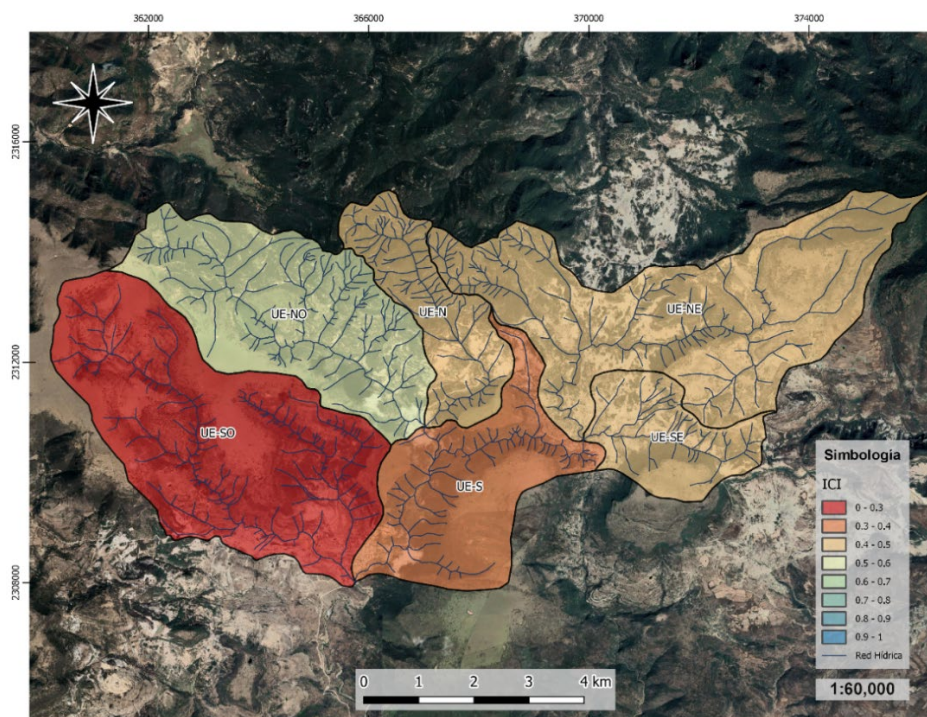


Figura 27.

Integridad de Unidades de Escurrimiento ICI. Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Tabla 37. Índice de Integridad de Unidades de Escurrimiento ICI y subíndices por componente.

<i>ICI_c</i>	<i>UDE-S</i>	<i>UDE-N</i>	<i>UDE-NE</i>	<i>UDE-NO</i>	<i>UDE-SO</i>	<i>UDE-SE</i>
<i>RH</i>	0.875484	0.929629	0.867163	0.933563	0.81283	0.902723
<i>CH</i>	0.859287	0.87832	0.948322	0.942353	0.886806	0.933952
<i>RT</i>	0.931429	0.945833	0.807076	0.966458	0.779583	0.875
<i>PH</i>	0.870718	0.737461	0.931329	0.902058	0.841667	0.889355
<i>RS</i>	0.838571	0.90619	0.871316	0.90119	0.808333	0.845714
<i>RQ</i>	0.793571	0.838889	0.825172	0.850556	0.717639	0.833333
<i>ICI</i>	0.40	0.43	0.44	0.58	0.27	0.46

Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Finalmente, al agregar espacialmente todas las UdE se observa el IWI final de la Microcuenca, es decir, se obtiene el resultado tras incorporar los parámetros e índices para calcular la integridad de cada componente funcional de las unidades hidrográficas anidadas en esta microcuenca (Figura 28). Como es posible observar el IWI es 0.43 (Tabla 38), este resultado no es favorable en términos ecológicos e indica que en esta microcuenca interactúan distintos procesos de degradación que comprometen sus funciones, cabe recordar que esta microcuenca se encuentra en un espacio rural con áreas silvestres, donde la densidad poblacional, así como la cantidad de caminos e infraestructura es reducida, sin embargo, como se ha comentado en el desarrollo del documento, esta microcuenca ha sido sometida a procesos de degradación histórica, que se han desenvuelto por cientos de años, en este sentido ya no solo es posible observar la consecuencia de los efectos acumulativos en terminos de interaccion de estresores sino a la vez el factor temporal que actualmente sigue acumulando impactos negativos.

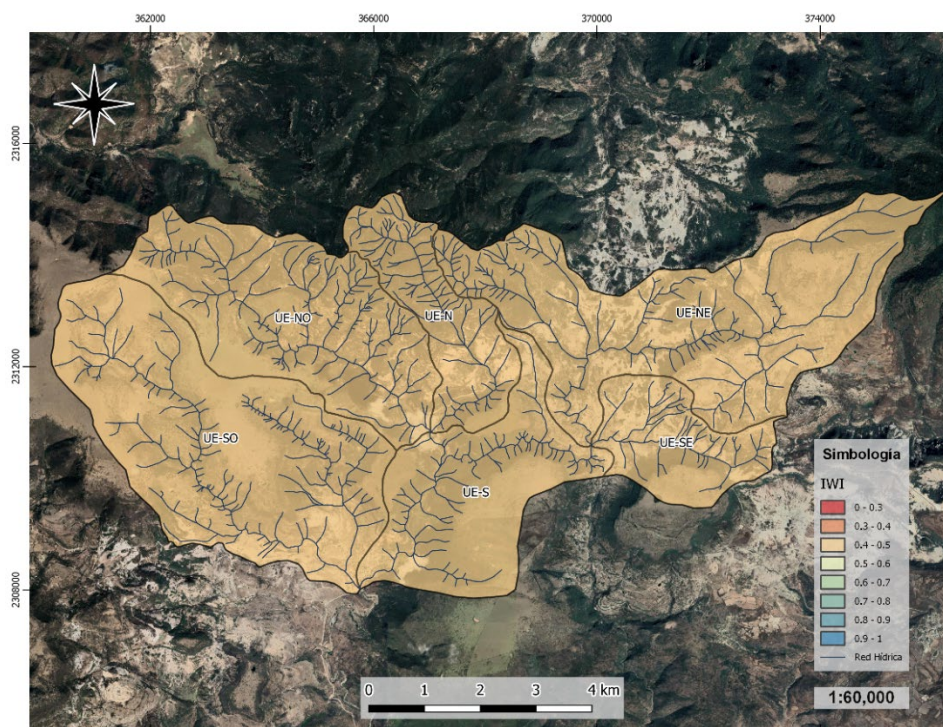


Figura 28.
Integridad de Cuenca IWI. Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Tabla 38. Índice de Integridad de Cuenca IWI y subíndices por componente.

<i>IWI_{i,w}</i>	<i>UDE-S</i>	<i>UDE-N</i>	<i>UDE-NE</i>	<i>UDE-NO</i>	<i>UDE-SO</i>	<i>UDE-SE</i>	<i>LABORCILLA</i>
RH	0.906503	0.929629	0.867163	0.933563	0.81283	0.902723	0.896485162
CH	0.893107	0.87832	0.948322	0.942353	0.886806	0.933952	0.890717202
RT	0.94093	0.945833	0.807076	0.966458	0.779583	0.875	0.939816473
PHA	0.826465	0.737461	0.931329	0.902058	0.841667	0.889355	0.825639977
RS	0.871293	0.90619	0.871316	0.90119	0.808333	0.845714	0.857286822
RQ	0.824667	0.838889	0.825172	0.850556	0.717639	0.833333	0.824024935
IWI	0.45	0.43	0.44	0.58	0.27	0.46	0.43

Fuente: Elaboración propia con base en Flotemersch *et al.* (2016)

Sobre los estresores utilizados para realizar los cálculos del ICI y el IWI (Tabla 39) se determina que algunos no solo afectan de forma individual los componentes funcionales, sino a varios de ellos de forma simultánea (Figura 29), en estos términos, un estresor es responsable de generar impactos en todos los componentes, el relativo a la pérdida y alteración de los bosques de ribera. Como ya es conocido, este ecosistema, resulta uno de los más alterados por actividades antrópicas y dista de la condición natural que debe mantener (Kutschker *et al.*, 2009). A nivel nacional han realizado estudios donde se han demostrado los altos niveles de degradación de los mismos lo cual genera no solo un impacto ecosistémico sino también relativo al bienestar poblacional (Meli *et al.*, 2017). Por otra parte, las actividades de agricultura, las superficies urbanas y las defensas longitudinales en los arroyos generan impactos en cuatro componentes funcionales, en este caso, este tipo de superficies no abarcan grandes áreas, sin embargo, debido a que estos estresores generan impactos múltiples, son importantes de considerar en relación a las condiciones de integridad de la microcuenca. En esta misma circunstancia es posible considerar las superficies impermeabilizadas, las cuales afectan 3 componentes funcionales, los estresores que afectan dos o un solo componente funcional, se relacionan con pastizales inducidos o bosques perturbados, o son estresores que se encuentran restringidos a la estructura interna de los cauces. Es importante anotar que la suma acumulada de estresores de todos los componentes funcionales es 35, 23 fuera del canal y 12 dentro del mismo.

Tabla 39. Estresores con clave.

Estresores	Clave
Agricultura	AGR
Bosque Perturbado	BQP(P)
Pérdida de bosques a pastizales	PI
Uso de suelo urbano	ASHUMA
Superficies impermeabilizadas de origen antrópico	IMPER
Eliminación o alteración de zona ribereña	IHG CR
Densidad de Caminos	DENS CAM
Alteraciones de llanuras de inundación	IHG FI
Defensas longitudinales en cauces	IHG NML
Incrustación del lecho en sedimentos / acreción	IHG DMS
Simplificación o alteración de la forma natural del canal o reducción de sinuosidades	IHG NTP
Alteraciones topológicas del cauce	IHG CLV
Alteraciones de la calidad del agua	IQAM
Intersecciones de carreteras / cauces	DENS INTER

Fuente: Elaboración propia con base en Ollero-Ojeda *et al.* (2011) y Flotemersch *et al.* (2016)

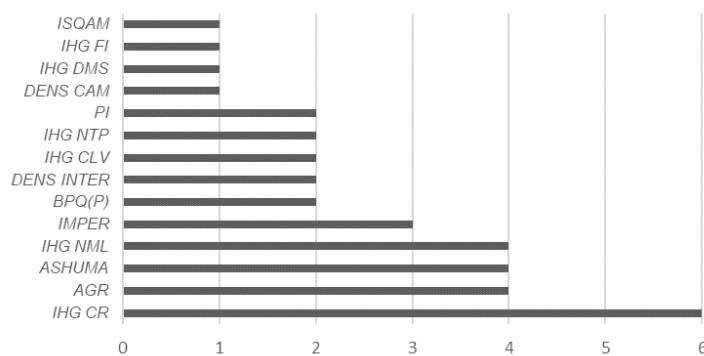


Figura 29.
Incidencia de estresores por cada componente funcional. Elaboración propia.

Por otra parte, el valor para cada estresor agregado en todas las UdE, espera un valor máximo de 6 o cercano a este para aquellos estresores que no tienen presencia en la microcuenca, por el contrario, la proximidad al valor 0 representa estresores que generan un alto impacto en la misma (Tabla 40). En este sentido, el estresor con el mayor impacto es el relativo a la alteración de la calidad del agua, como se mencionó, existen diversas fuentes de contaminantes, en este sentido, no solo atribuible a descargas puntuales relacionadas con los asentamientos sino fuentes de contaminación difusa relacionadas a las actividades productivas en la cuenca, enseguida se colocan estresores como pérdida y perturbación de los bosques y asentamientos humanos. Posteriormente, es posible agrupar en orden descendente los estresores que generan impacto directamente a la red fluvial, dentro y fuera del canal, en este sentido se encuentran los impactos relativos al aporte de sedimentos desde fuentes externas, la degradación de los bosques de ribera, intersecciones de caminos con cauces y alteraciones de la llanura de inundación, posteriormente es posible ubicar las superficies impermeabilizadas y subsiguientemente tres estresores relativos a impactos dentro del cauce, finalmente es posible observar densidad de caminos y agricultura como los estresores que generan menor impacto (Figura 30).

Tabla 40. Nivel de impacto acumulado de estresores.

<i>Estresor</i>	<i>Nivel</i>
AGR	5.818
DENS CAM	5.81473841
IHG NTP	5.808603896
IHG CLV	5.704545455
IHG NML	5.683441558
IMPER	5.43
IHG FI	5.152467532
DENS INTER	5.131247393
IHG CR	5.123517316
IHG DMS	4.994253247
ASHUMA	4.85
PI	4.79
BPQ(P)	4.36
IQAM	2.25

Fuente: Elaboración propia.

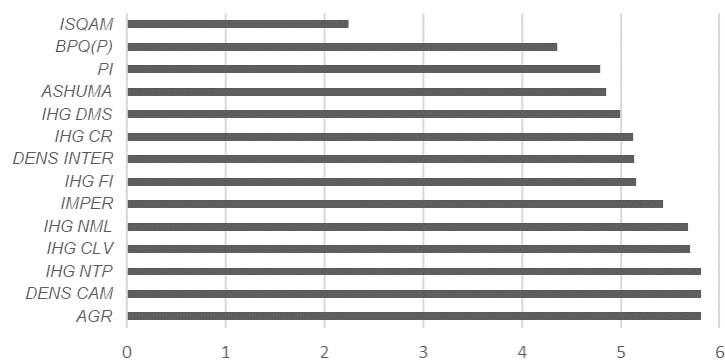


Figura 30.
Estresores por grado de impacto. Elaboración propia.

7. DISCUSIÓN

La integridad de cuenca, como se explicó anteriormente, remite a la capacidad de este sistema para mantener las funciones y procesos necesarios para sostener su propia estructura. Este estudio se dirigió a generar una aproximación objetiva hacia las condiciones de integridad de la Microcuenca La Laborcilla, tomando en cuenta el planteamiento teórico, los procedimientos, indicadores y ecuaciones sugeridas por el Índice de Integridad de Cuenca (IWI) (Flotemersch *et al.*, 2015) mientras se incorporaron otros indicadores e índices relativos a condiciones ecosistémicas de la cuenca para adaptar el índice mencionado, a la escala de estudio e información disponible dentro del contexto de esta investigación. A continuación, se realiza la discusión con base al orden metodológico establecido de cada uno de los resultados parciales generales necesarios para el cálculo del IWI.

7.1 Unidades de Escurrimiento (UdE)

En términos hidrológicos, al comparar la delimitación de unidades de escurrimiento (UdE) siguiendo el método de Strahler (1957) con otros procedimientos, como puede ser la delimitación por zonas funcionales, es posible generar información de mayor precisión y detalle en términos de estudio y manejo ambiental. Esta situación se puede observar en casos de estudio desarrollados en la región, por ejemplo, la evaluación de efectos acumulativos realizada en la microcuenca la Joya (Pérez-Hernández, 2017) realizada en la escala ya mencionada. Esta forma de delimitación resulta adecuada para optimizar y definir con particularidad los usos y aptitudes del territorio mediante los instrumentos de política ambiental. Con base al método implementado, en el caso de la microcuenca La Laborcilla, se generaron 6 UdE, sin embargo, si se acude estrictamente a los criterios planteados para su delimitación, se observarían 7 UdE, en este caso, esta séptima unidad gozaría de una superficie reducida, que, para objetivos de manejo o investigación su delimitación específica, no observa alguna ventaja concreta.

7.2 Morfometría

Sobre los parámetros morfométricos de la microcuenca determinados mediante las ecuaciones de Henao (2006), Gaspari *et al.* (2010) y Gaspari *et al.* (2013), es posible observar que el relieve accidentado, principalmente en áreas cercanas a las mayores elevaciones del sitio, dificulta la realización de actividades productivas, lo que ha permitido mantener un buen estado de conservación de suelos y cubiertas vegetales, por ejemplo en zonas del Área Natural Protegida de la microcuenca, o en proximidad al Pinal del Zamorano, sin embargo esta cuenca en fase de madurez también aloja áreas degradadas propensas a fuertes procesos erosivos debido a su

ausencia de vegetación y pendientes pronunciadas que pueden problematizar la rehabilitación mediante métodos convencionales, requiriendo estabilización mediante técnicas ingenieriles de mayor complejidad Belandria y García (2013).

Cabe señalar que la elevación máxima de la microcuenca, al ser de 3285 msnm supera otras elevaciones importantes en el estado, como puede ser el Cerro de la Pingüica con 3159 msnm en la Sierra Gorda, en este sentido, en la microcuenca la Laborcilla se presentan efectos orográficos distintivos que permiten la existencia de especies de distribución restringida en la zona como el bosque de oyamel (*Abies religiosa*), este conjunto de características biofísicas constituyen un área que goza de diversas cualidades que convierten en una necesidad su protección y conservación.

7.3 Uso de Suelo y Vegetación

Aunque el territorio de la microcuenca La Laborcilla se encuentra mayormente excluido de procesos de industrialización o urbanización extensivos, la huella del extractivismo forestal de la Época Colonial en conjunto de un metabolismo social (Gonzales de Molina y Toledo, 2011) de tipología rural, también observa consecuencias ambientales. Este hecho resulta evidente cuando aproximadamente el 65.61 % de la superficie vegetal de la microcuenca se encuentra alterada, comprometiendo en diversas proporciones las funciones ecosistémicas de la microcuenca. En comparación, la subcuenca adyacente, El Zamorano, que constituye un sistema hidrográfico de tres microcuencas, ubicada en un rango altitudinal similar y que aloja 24 comunidades, aún conserva el aproximadamente el 88.3 % de vegetación natural (Dorantes, 2015).

Los procesos de rehabilitación de las superficies de la microcuenca implican distintas prácticas de manejo, que no solo incluyen la recuperación de las cubiertas vegetales, sino como ya se comentó, la protección o regeneración de suelos en superficies altamente degradadas. Entre las prácticas sugeridas para el sitio, se puede optar por obras de restauración forestal, considerando rangos altitudinales y ensambles elaborados mediante el valor ecológico de diversas especies (Casanova-Cuevas, 2017), priorizando principalmente las especies nativas del sitio. Por otra parte, se requiere un proceso de rehabilitación de suelos, que inicialmente prevea estudios complementarios para su realización, al considerar la naturaleza de los procesos erosivos de la microcuenca es posible optar por terrazas de formación sucesiva, terrazas individuales o barreras de piedra acomodada entre otras (CONAFOR, 2013). Finalmente, la actividad ganadera en la microcuenca supone un factor importante como estresor de sus componentes, por lo cual es posible implementar un modelo de manejo sustentable del ganado, aunado a un proceso de rehabilitación de pastizales.

7.4 índice Hidrogeomorfológico IHG

En tanto la aplicación de los parámetros del índice Hidrogeomorfológico (IHG) las escalas de trabajo micro o meso como unidades de escurrimiento o microcuencas, pueden resultar un punto ventajoso para realizar evaluaciones con mayor detalle sobre las zonas riparias y llanuras de inundación, esta situación resulta evidente al observar otros casos de estudio donde el IHG ha sido aplicado, por ejemplo a escala subcuenca, en el arroyo San Bernardo ubicado en el Sistema de Ventania, Argentina (Volonté y Gil, 2021) donde se observó la factibilidad de implementación del índice en la escala mencionada y se resaltó la importancia de su aplicación en otras subcuencas. En comparación con otros casos de estudio donde el IHG fue aplicado, es posible observar concordancia sobre ciertas causas de degradación en los cursos altos de los sistemas fluviales, principalmente en lo relativo a las actividades agrícolas y ganaderas como es el caso del río Utcubamba, ubicado en la cuenca del Amazonas (Barboza *et al.*, 2017).

Por la propia heterogeneidad en sus aspectos geomorfológicos de los sistemas fluviales, el uso de *buffers* con una anchura homogénea conduce a la pérdida de información o aplicación sesgada de mediciones u observaciones bajo ciertas circunstancias. Con el objetivo de mejorar la precisión de la aplicación del IHG, el uso de *buffers* podría reservarse a cauces de primer y segundo orden, dada la cantidad y alta inversión de tiempo para delimitar con especificidad las zonas riparias en estas escalas o debido a características que dificultan su delimitación, como en ciertos cauces de montaña. Respecto a esta clarificación, es posible observar un modelo de delimitación de mayor fidelidad en el análisis de integridad de la Región de los Balcanes Occidentales (Aho *et al.*, 2020), donde se utilizaron delimitaciones riparias longitudinales definidas mediante criterios biofísicos elaboradas por la Agencia Europea de Medio Ambiente en el marco del programa *Copernicus* de la Unión Europea. Finalmente, la delimitación de sectores funcionales en este estudio, realizada en tramos de longitudes regulares resultó funcional, sin embargo, resulta altamente recomendable acudir a criterios hidrogeomorfológicos (Ollero-Ojeda *et al.*, 2011) para una delimitación de mayor precisión.

7.5 Índice de Calidad Ambiental de Agua IQA(m)

En tanto a la aplicación del índice de calidad de agua, el IQA(m) derivado de la modificación del ISQA (Queralt, 1982), utilizado para complementar la evaluación de la función de regulación química del agua en el marco de la evaluación de integridad, permitió generar información cuantitativa acumulada de varias unidades de escurrimiento sobre algunos de los parámetros que determinan la condición hídrica en un contexto ambiental, sin embargo, debido a las cuestiones logísticas del estudio el muestreo no pudo ser efectuado con la precisión deseada en todos

los puntos de muestreo específicos determinados mediante los criterios formulados en la metodología.

Debido a la escasa información disponible sobre parámetros físico-químicos en el curso alto del Río Querétaro, resulta improbable una comparación extensiva sobre las condiciones hídricas entre el sitio de estudio y otros tramos de este último, sin embargo, existen algunas diferencias notables entre el agua analizada en punto de muestreo con peores condiciones de la microcuenca (el cuál es el más próximo al punto de emisión de la misma) y el punto de monitoreo del Río Querétaro (SINA, 2020) más cercano a La Laborcilla. Al tomar como referencia tres parámetros: sólidos totales disueltos en el punto de muestreo del Río Querétaro se observan 972.8 mg/L vs 126 mg/L en La Laborcilla, en el mismo orden comparativo, la saturación de oxígeno resulta <10 % vs 89 % y el parámetro de conductividad 1520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vs 251 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es posible deducir que a pesar de que la condición hídrica ambiental del punto de emisión de La Laborcilla, según el índice se clasifica como mala, dista de la condición fuertemente contaminada del punto de muestreo del Río Querétaro, situación que en términos prospectivos de manejo y rehabilitación de La Laborcilla permite observar escenarios mayormente favorables para su estabilización y saneamiento ambiental.

La normalización de los datos y forma de agregación matemática del índice utilizado, gozan de fundamentos teóricos y científicos adecuados, y prosigue una estructura de diseño similar a gran cantidad de índices orientados a la evaluación de aguas superficiales (Uddin *et al.*, 2021) sin embargo esta determinación de calidad se observó sujeta a las limitaciones técnicas relativas a los instrumentos de medición utilizados, en este sentido la incorporación de otros parámetros implicaría reformulación en algunos aspectos de las ponderaciones o de la misma ecuación desarrollada, por lo tanto en caso de dar continuidad a los estudios en la microcuenca La Laborcilla u otras unidades de estudio, se recomienda la aproximación desde índices ya validados y utilizados en otros casos de estudio, donde el enfoque de aplicación de la información físico-química del agua se oriente hacia sus condiciones funcionales en un aspecto ambiental, no restringido al uso o consumo humano, o bien, en caso de un estudio a escala de cuenca, considerar los parámetros físico-químicos utilizados en las versiones 2 y 2.1 del IWI los cuales son nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y turbidez (NTU) (Johnson, 2019). De igual manera, es posible acudir a parámetros adicionales no contemplados en el estudio, como DQO o DBO5 que puedan aportar información importante sobre las condiciones mencionadas.

7.6 Índice de Integridad de Cuenca de la microcuenca La Laborcilla

El análisis de integridad generado para la microcuenca La Laborcilla, cumple una función importante al generar información adecuada para optimizar procesos de gobernanza ambiental en términos de gestión, toma de decisiones y el manejo de la microcuenca. El estudio permitió establecer una línea base generada mediante estimaciones objetivas sobre las condiciones de integridad con un enfoque ecosistémico, el cual considera múltiples escalas, diversos componentes funcionales, complementos anidados, estresores e impactos. En la escala en la que se realizó el estudio, al aplicar el IWI (Flotemersch *et al.*, 2015) en una microcuenca con únicamente seis unidades de escurrimiento, se puede perder cierta fidelidad o sensibilidad del estudio frente a las aplicaciones previas del mismo en el territorio continental de Estados Unidos, Alaska o la Península Balcánica, lo cual sucede cuando se omiten del estudio unidades de escurrimiento o cuencas donde incide un número de estresores o de manera más intensa, o por el contrario, unidades de paisaje en mejores condiciones ecosistémicas.

Por otra parte, la implementación original del IWI, se sustenta de información previamente generada mediante vastos procesos de monitoreo y se almacena en amplias bases de datos, que las instituciones en materia ambiental como la EPA en EU tienen a su disposición, sin embargo al ejecutar el índice en una escala de microcuenca como en el caso de La Laborcilla, dentro del contexto nacional, se presentó una situación donde se requirió conducir algunas adaptaciones a la forma original del índice, ya que las bases de datos e información cartográfica disponible de manera oficial presenta diversos vacíos, como puede ser en insumos cartográficos referentes al monitoreo de las condiciones de la calidad del agua, o la escala geoespacial en las delimitaciones de uso de suelo y vegetación o también insumos cartográficos que carecen de cobertura en todas las regiones del país, por lo tanto en un escenario de aplicación del índice tomando en cuenta únicamente la información existente, en la escala de trabajo deseada, se generaría una situación de pérdida de detalle, sin embargo, se reitera que el IWI, es un instrumento que se puede adaptar a diversas condiciones (Flotemersch *et al.*, 2015).

Para subsanar la carencia de información, se procedió a la incorporación de indicadores de tres niveles de intensidad, que utilizan la información cartográfica existente y la generación de información cartográfica adicional, pero también el levantamiento de datos *in situ* para complementar y ampliar la información a detalle sobre el sitio de estudio, en este sentido otorgando una mayor amplitud epistémica y de acercamiento entre el investigador y el sitio. La ejecución del IWI implica gozar de información adecuada sobre algunas condiciones de la red hídrica, sin embargo, a nivel nacional el monitoreo de la condición de los cauces y zonas riparias también encuentra algunos vacíos y omisiones, aún en mayor medida en cauces de ordenes inferiores, por lo tanto la incorporación de parámetros del índice

Hidrogeomorfológico (Ollero-Ojeda *et al.*, 2011) y del Índice de Calidad Ambiental de Agua en sus formas originales, así como en la adaptación de sus parámetros en la agregación matemática para funcionar como indicadores apropiados para el IWI, resultaron de elementos altamente pertinentes y adecuados.

Al comprar la metodología del IWI implementada en el presente estudio con otros casos relativos al análisis de integridad en cuencas a escala nacional es posible observar algunas distinciones importantes. Primeramente, el estudio realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) sobre la Cuenca del Valle de México (Mijangos Carro *et al.* 2017) considera en su análisis factores correspondientes no solo a hidrología superficial, sino también considera hidrología subterránea, indicadores biológicos y en relación al cambio climático, en este estudio se genera información concerniente a un amplio espectro temático, sin embargo esta se aborda de forma individual por cada eje temático, al no gozar de un instrumento que permita integrar la información generada en un solo índice o subíndices concernientes a componentes funcionales de la cuenca, de la misma manera, se omite del análisis, una perspectiva de componentes anidados, impactos acumulativos o el entretreído relacional entre estresores y actividad humana.

Por otra parte, en el análisis de integridad ecohidrológica en la Cuenca del Río Zanateco, en Chiapas (Cueto-Espinosa, 2019) y el análisis de integridad ecológica en la microcuenca del Río Jalpan (Torres-Olvera, 2018) se consideran subdivisiones espaciales sobre el sitio de estudio, las cuales se clasifican como objetos de conservación en el primer caso o tramos del cauce diferenciados mediante criterios geomorfológicos en el segundo caso, en ambos casos se integra la noción de zonas funcionales, así mismo se considera la influencia de las condiciones de las superficies terrestres sobre la integridad del sistema y se vinculan tales condiciones a amenazas e impactos derivados de actividades humanas específicas que a la vez se relacionan con ciertos aspectos sociales, económicos y culturales de las poblaciones locales. En este caso, el presente estudio se relaciona de una forma más cercana a estos dos análisis, sin embargo en el caso de estudio de la microcuenca del Río Jalpan, el enfoque de estudio es disgregado, mientras el índice de Integridad Ecohidrológica determinado en el segundo caso, incorpora los resultados de los indicadores seleccionados para cada objeto de conservación y presenta índices determinados para el total de la cuenca, las zonas funcionales y cada uno de los objetos de conservación, por lo cual la aproximación realizada para La Laborcilla presenta algunas similitudes con este último.

En caso de la ejecución del IWI en casos futuros de estudio, resulta altamente pertinente reconsiderar los estresores e indicadores a incorporar, ya que, si bien el IWI provee una batería completa de factores de riesgo para la integridad de la cuenca, pueden existir cuencas en otras regiones con factores de riesgo exclusivas, en este sentido un claro ejemplo la aplicación del índice en la cuenca Matanuska–

Sustina en Alaska (Aho *et al.*, 2020) requirió algunos cambios en los criterios de selección de estresores e indicadores para añadir los referentes a las amenazas hacia el hábitat del salmón. En el caso particular de la Microcuenca La Laborcilla, debido a la diferencia de escala espacial, se procedió de una forma similar, al no observar dentro de sus límites minas, presas o grandes obras de infraestructura vial, se enfocó la visión a otros cambios de menor dimensión que no dejan de generar impactos ecológicos, en este caso puede ser lo referente a defensas longitudinales del cauce, degradación de la vegetación riparia, alteraciones en la estructura del lecho y otras circunstancias que los parámetros provistos por el IHG permiten observar de manera puntual. Finalmente, es posible examinar a profundidad otros indicadores diferentes o complementarios a los utilizados para convertir el IWI en un instrumento que permita arrojar estimaciones de mayor certeza y funcionalidad, por ejemplo, en un escenario de aplicación en cuencas de mayor extensión, es posible considerar determinaciones como pueden ser balances hídricos o incorporación del factor K, sin embargo en estos casos, se requiere de un mayor tiempo y presupuesto para realizar los estudios y generar información precisa mediante la incorporación de estaciones pluviométricas e hidrométricas, o la generación de imágenes LiDAR de mayor resolución a las disponibles en las bases de datos existentes de forma local, entre otras aplicaciones tecnológicas.

8. COMPORTAMIENTO SOCIOAMBIENTAL

8.1 Perspectiva de aproximación a la experiencia del sujeto

Para analizar la información generada con los sujetos entrevistados y proveniente de los hechos observados en campo, se incorporan algunos aspectos relacionados a la percepción, consciencia y comportamiento del sujeto en relación con otros individuos y el ambiente; los cuales resultan elementos primordiales de donde surgen procesos de interacción básicos que inciden en las relaciones y forma de uso de los elementos biofísicos del territorio.

La experiencia basal se puede considerar como el *Lebenswelt* (mundo de la vida) que se considera como la relación y vivencias cotidianas con el mundo que el sujeto experimenta de forma espontánea mediante una actitud natural (Husserl, 1985), Habermas (1994) considera que este *Lebenswelt* se constituye mediante elementos de la cultura y las relaciones sociales, así como la propia personalidad del sujeto y su comportamiento. En este sentido la cohesión social se sostiene del mundo de la vida mediante procesos consensuados y entendimiento mutuo derivado de la comunicación, en dirección al interés común. Esta forma de vida interactúa con un sistema que tiende a una forma de control externo, este sistema o sistemas (burocracia, económico, mercantil) se desenvuelven mediante la colonización del mundo de la vida y generalmente se sustentan en relaciones de poder y finalidades productivas.

La vinculación social consensuada, en términos de relaciones socioambientales resulta un elemento necesario para desarrollar una relación simétrica no únicamente en términos interpersonales sino también ecosistémicos. Sin embargo, tomando en cuenta la colonización del mundo de la vida, en el contexto de una crisis no solo ambiental pero también social y cultural, la transición de las referencias multidimensionales y profundas que establecen pautas éticas, gnoseológicas y estéticas en el sujeto social, que derivan en un sentido de trascendencia, principios de comportamiento consistentes, identidad definida y una apreciación de mayor amplitud, no necesariamente monetizada del ambiente o el medio material, pueden encontrarse en un proceso de transición hacia una cultura unidimensional (Marcuse, 1987) así como a pautas de búsqueda de la realización individual, en términos de éxito y prestigio, con principios de comportamiento e identidad líquidos (Bauman, 2003) que conducen a la pérdida de mundo.

Esta idea de mundo, también manifestada en el pensamiento de Von Uexkull (1922) permite notar no solo la materialidad y mecanicismo del *Umwelt* (ambiente), sino la forma en la que el sujeto se interrelaciona, lo percibe, significa, entiende y reacciona a él; lo que constituye el *Innenwelt* del sujeto (mundo interior) que en este caso se presenta como una analogía de la idea de *Lebenswelt*, encontrando el mundo

exterior e interior vinculados por el *Funktionskreis* (círculo funcional) como un conjunto de procesos de interacción.

La pérdida de mundo se puede definir como una degradación biofísica del *Umwelt*, es decir, como una alteración en las condiciones espaciales, temporales, materiales, energéticas y de diversidad de la biosfera y sus ciclos naturales, pero como se mencionó, también en términos socioculturales y de integridad orgánica e intelectual que privan de la experiencia, percepción y reflexión distendida sobre el mismo, de su riqueza y variedad, como consecuencia de un ambiente deteriorado y un acontecer vital dirigido desde los tipos de sistemas mencionados. Por lo tanto, el proceso del círculo funcional se controla de forma externa y el mundo interno se comprime, las referencias simbólicas profundas se diluyen o se sustituyen por referencias meramente signícas y dirigidas a un ámbito productivo, la actividad mental se restringe y la respuesta hacia el exterior resulta incompatible, asimétrica e irresponsable con el ambiente. Con base en esta reflexión, se busca atender la interacción de los mundos y los sistemas mencionados, entre otras situaciones de relevancia al estudio.

8.2 Actores locales

El primer Informante entrevistado que será definido con el pseudónimo Bravo, habita un punto cercano a la salida de la microcuenca y se desenvuelve como el vigilante de una presa (que en términos de integridad de cuenca representa un estresor) que acumula completamente el escurrimiento de la microcuenca La Laborcilla y abastece para actividades de riego a diversas localidades del Municipio del Marqués. Bravo habita con su familia en una vivienda que él mismo ha elaborado con materiales rústicos y no cuenta con servicios, sin embargo, comenta que ha elegido y se ha adaptado a esta nueva cotidianidad donde ha aprendido formas de autoabastecerse; por ejemplo, desarrolló un método de pesca y explica que le resulta una experiencia satisfactoria poder encontrarse en cercanía con la naturaleza, en contraste a su modo de vida antiguo en una comunidad cercana con actividades adheridas a la convencionalidad, sin embargo, menciona que existen algunas condiciones difíciles o no esperadas en la forma de vida que ha adoptado.

Este cuerpo de agua, según las regulaciones legales, pertenece a la federación y, sin embargo, Bravo considera inválida dicha imposición. Él manifiesta que trabaja para un individuo que es reconocido de forma local como el legítimo propietario de este cuerpo de agua, heredero de la presa, quien estando presente en su imagen, postura y manera de delegar proyecta fuerte autoridad. Esta presa fue construida a finales del siglo XIX y principios del siglo XX por el abuelo del individuo aludido, presuntamente antes de promulgación de los instrumentos vigentes que regulan legalmente el agua. En estos términos, también existe un agente externo que impulsa la defensa de la propiedad privada de la presa, pero también se ostenta como copropietario, quien, al realizar una investigación más extensiva, se ha

determinado tiene participación en litigios ejidales controversiales en otros territorios; así mismo, otro informante en la comunidad La Laborcilla ha mencionado su presencia en la zona con intenciones especulativas. Al respecto de colaboración intersectorial o acuerdos con las instituciones, Bravo considera que la subdelegación de la comunidad no goza de gran participación en el tema de la administración de la presa y que las autoridades municipales, así como las relativas a la CONAGUA, son autoritarias y sus intenciones de intervención en la presa son ilegítimas ya que la administración que realiza el grupo al que pertenece, resulta funcional en términos de uso del espacio y distribución del agua. En este sentido, él mismo demuestra las formas en que da mantenimiento y busca conservar los aspectos estéticos del sitio; por otra parte, este grupo busca establecer un uso regulado del cuerpo de agua para visitantes para evitar la contaminación y daño en el sitio, manifestando que siente enojo al observar tales circunstancias, sin embargo, la autoridad ha pretendido establecer que debe mantenerse abierto al público en todo momento. Bravo explica que este espacio es de convivencia y es necesario su uso común, que en el mismo sentido que las comunidades se benefician del mismo, puede existir colaboración para cuidar el sitio, aunque manifiesta que existe falta de cohesión entre los usuarios de la presa, lo cual ha limitado algunas iniciativas por parte de algunos pobladores, situación que genera una sinergia negativa con la falta de confianza hacia las autoridades oficiales y falta de diálogo entre los distintos grupos e instituciones que pueden incidir en el sitio.

Considerando las acciones que Bravo demuestra, así como su pensamiento y perspectiva sobre el sitio que habita y el sentido que otorga al espacio de forma personal, goza de capacidades de adaptabilidad, un principio de responsabilidad y consciencia social, ya que, sus alusiones a la conservación del sitio se dirigieron especialmente a los beneficios poblacionales del mismo; además, considera una situación importante poder apreciar el ambiente, que él denomina como “naturaleza”, sin embargo el estilo de vida de este individuo se encuentra subordinado a la estructura que de manera factual gobierna el cuerpo de agua y las periferias, por lo tanto su intención se encuentra comprometida por las decisiones que jerárquicamente se establezcan en el sitio. En este sentido, la presa y el agua que contiene, toman una dimensión política a escala local, en el que los sujetos que ostentan la propiedad (unidad de apropiación) de este espacio, se puede considerar que intentan legitimar su posesión mediante un intercambio económico con las comunidades a través de la dotación del agua; por otra parte, el acceso controlado a la presa puede indicar un ejercicio no solo orientado a su conservación sino dirigido a la demostración de autoridad y poder.

Es así que las intenciones en optimizar la relación sociedad-ambiente en este territorio posicionan en un plano secundario el cuidado condiciones ecológicas, ya que, en este caso, el principal objetivo es mantener y reafirmar la propiedad para conservar los beneficios que surgen del uso de la presa y distribución del agua. A pesar de que la influencia institucional y el sistema legal se encuentran parcialmente

aislados, se observa una finalidad conveniente en dirección a beneficios particulares, pudiendo interpretarse este hecho como una manifestación sutil de la colonización del sistema económico en una escala micro, que no resulta nociva en términos ecosistémicos pero tampoco genera beneficios sustanciales en este sentido, y potencialmente goza de características convenientes para usar el recurso agua como un medio para ejercer el poder sobre las comunidades que dependen del mismo y exista posibilidad de presentarse un conflicto hídrico.

Al ingresar a la comunidad La Laborcilla, se vuelve evidente el deterioro del cauce principal de la microcuenca en un gran contraste con los segmentos del mismo que hidrológicamente escurren fuera de la misma y se encuentran encajados en valles con altitudes y pendientes considerables, con vegetación en buen estado y ausencia de infraestructura, excepto la ruina de una antigua presa y el camino pavimentado de reciente construcción que conecta la presa ya mencionada y esta comunidad. Este deterioro observado consiste en la destrucción de la zona riparia del cauce para realizar actividades vinculadas a la agricultura, producción pecuaria y urbanización, también se observan defensas longitudinales y excavaciones en el cauce, las mismas que fueron realizadas para acumular volúmenes de agua superficial del cauce y flujo de la zona hiporreica debido al caudal disminuido por condiciones climáticas. Dentro de una de estas perforaciones se encontró al segundo informante definido bajo el seudónimo Gamma.

La primera interacción con el informante, después de una breve presentación del entrevistador, consistió en solicitar su autorización para tomar algunas muestras del agua en el cauce con la finalidad de observar su reacción, ya que el sujeto se encontraba bombeando agua de una de las pozas formadas dentro de la excavación mientras en otra utilizaba agua para lavar un vehículo, del cual reingresaba agua jabonosa a la misma perforación; el sujeto manifestó de manera cordial que nos encontrábamos en una zona federal y que por lo tanto se podía ingresar libremente, sin embargo, al comenzar a recolectar agua cerca de donde él realizaba sus actividades manifestó mediante sus expresiones cierta incomodidad, a pesar de ello, se pudo desarrollar una conversación que de forma casual se derivó en entrevista ya que el sujeto además de ser uno de los productores locales de ganado, actividad económica principal del sitio, es perteneciente a una familia de influencia en la localidad, siendo familiar de un antiguo propietario de amplias extensiones de terreno en el sitio, incluyendo el Área Natural Protegida de la microcuenca, actualmente de propiedad estatal pero administrada en el momento de la entrevista por su hermano.

Durante el diálogo el individuo manifestó que en su experiencia no había presenciado en tales condiciones de escasez el caudal del río y por lo tanto para poder desarrollar sus actividades productivas requería llevar a cabo este tipo de intervenciones para poder abastecerse. Gamma también señaló un sistema de bombeo y una cisterna adyacente que se abastece de agua de un manantial en un punto elevado de la microcuenca que, de igual manera se mostraba seco. Al

cuestionar sobre posibles soluciones para evitar excavaciones en el cauce y mejorar el abastecimiento hídrico para el ganado manifestó que se requerían más puntos de bombeo de manantiales y que la petición ya había sido expuesta con anterioridad ante algunas autoridades sin obtener respuestas satisfactorias. En referencia al tema de abastecimiento, informó que en la zona alta había individuos que gozaban de volúmenes importantes en cuerpos de agua “privados” que se encontraban subutilizados, pero no estaban en disposición de compartir con la comunidad. Al dirigir la conversación a un punto de reflexión sobre la escasez del agua, el deterioro del cauce por la invasión de la zona de inundación o las mismas perforaciones, el sujeto demostró en términos argumentativos conocimiento sobre la ilegalidad de dichas obras y también sobre algunos impactos negativos que exclusivamente se asocian al tema de la contaminación hídrica; mencionó que *“la cultura de la gente no ayuda”* al referirse a una de las causantes del deterioro en relación a los residuos sólidos que otras personas arrojan al cauce o a las personas que lavan ropa y otros utensilios dentro del mismo. Al respecto de los vínculos que existen entre los puntos de recarga o la importancia de las superficies vegetales en relación con la integridad de la cuenca, el informante no gozaba de información suficiente al respecto, pero manifestó que en caso de que la autoridad requiriera recuperar las márgenes del cauce tendría que pagar una indemnización a las personas que ya tienen construcciones sobre la zona federal. Como ya se conoce, el deterioro e invasión de las márgenes y los cauces, no es un hecho exclusivo de este sitio, sino que resulta una situación extendida en otras cuencas del país, en ciertos casos es posible atribuir este comportamiento a desinformación, pero también es posible observar otros casos particulares, donde el deslinde de parcelas en ejidos no contempla estas áreas, entre otras causas.

En este escenario en particular, el comportamiento del informante se genera desde otro contexto, la forma no legal de intervención y apropiación del cauce se relaciona con el arraigo y pertenencia territorial (Monterrubio, 2014) de Gamma, la cual es atravesada transversalmente por la herencia virtual de las áreas en cuestión, lo que provee una posición social particular que genera en el individuo facultad de apropiar e intervenir el espacio con mayor libertad y autoridad, permitiendo adaptar sus actividades a las condiciones de escasez hídrica, por lo que esta forma de adaptación, en el caso de las perforaciones en el cauce, conlleva efectos indeseados en la integridad de la microcuenca. Por otra parte, el individuo resulta evasivo en términos de responsabilidad al desviar la atención sobre la perforación del lecho y derivar las causas del deterioro a las actividades de terceros o a las omisiones de las autoridades al atender sus peticiones respecto a proporcionar nuevas posibilidades de abastecimiento. Así mismo, en términos de mayor amplitud es posible distinguir que las zonas federales son áreas que, en la creencia popular, son de uso común o son áreas donde no existe la propiedad, situación que se acrecenta debido a la escasa presencia de la autoridad y procesos de comunicación-información deficientes.

Al continuar la búsqueda de informantes en la misma comunidad, mediante las indicaciones de los pobladores, se logró establecer comunicación con la autoridad local de la comunidad, definido bajo el pseudónimo Cosmo. Previamente a la explicación de la dinámica y comenzar a realizar algunas preguntas sobre las actividades y competencias de su posición como autoridad local con énfasis en el uso y manejo de los elementos ambientales, Cosmo aclaró que su condición de autoridad local fue asignada de manera directa desde la presidencia municipal, sin un proceso consensuado, además externó que él no figuraba en la nómina y no gozaba de beneficios laborales o un presupuesto para pago de empleados. Al continuar con la temática específica, se exploró el discernimiento de Cosmo sobre el cauce, el agua, la invasión de la zona federal y otras circunstancias relativas al estudio. Al buscar información sobre la situación de la presa mencionada al inicio del presente capítulo, con la finalidad de comprobar los hechos mencionados, Cosmo mencionó el nombre del individuo que ostenta la posesión del cuerpo de agua, reconociéndolo como su propietario. En términos de disponibilidad hídrica también aclaró que en su experiencia como habitante del sitio nunca había presenciado una disminución similar del volumen del caudal. Al cuestionar si tenía conocimiento sobre la invasión de las llanuras de inundación y a qué circunstancias él atribuía a estos actos el informante mostró expresiones de desagrado mientras comunicaba que la situación se debía al “*egoísmo de la gente*” ya que no eran conformes con el área de sus parcelas y buscaban extender su propiedad para desarrollar sus actividades y generar mayor riqueza.

Mientras se dialogaba la temática de estas áreas, sin hacer alusión mediante preguntas específicas, el informante demostró interés sobre la importancia de mantener la vegetación riparia y otras superficies vegetales, donde se han presentado actividades de tala de ejemplares vivos de distintas especies por parte de habitantes jóvenes de la comunidad, que realizan estas actividades para comercializar el material, Cosmo añadió que había intentado disuadir e informar a los sujetos sobre la manera correcta de realizar estas actividades, explicando que la leña seca era la indicada para su extracción afirmando que sentía lástima al observar esas superficies deterioradas y desprovistas de su vegetación original. En este sentido Cosmo mencionó que la población joven no goza de conocimiento, interés o aprecio en particular sobre las áreas silvestres, a lo cual asoció a que existen algunos migrantes que definió como “*cholos*” que al regresar de la comunidad desde E.U. influyen sobre el modo de vida y desarrollo de los jóvenes, induciéndolos al consumo de alcohol y otras sustancias, lo cual generaba deterioro social. De igual forma mencionó que, a pesar de realizar diversas sugerencias a los miembros de la comunidad al respecto del manejo de algunos elementos ambientales, eran omitidas, lo que asoció con un gobierno débil y desconfianza en la autoridad con la que el mismo demostraba inconformidad.

De forma simultánea a la entrevista, Gamma transitaba por el camino contiguo a la propiedad del informante, en ese momento Cosmo invitó al antedicho a ofrecer

algunas explicaciones sobre las causas de la invasión en la zona federal, sin embargo, no se obtuvieron respuestas precisas por parte de Gamma. Al continuar con el diálogo sobre las condiciones ambientales del sitio, Cosmo, de manera neutral con la intención de explicar algunos aspectos la distribución de la propiedad en la microcuenca mencionó que en la parte alta, en la zona aledaña al Área Natural Protegida, donde se presentan superficies vegetales en buen estado de conservación, había algunas áreas de extensión considerable de propiedad privada los cuales pertenecen a la familia de un anterior gobernante estatal, así mismo otras extensiones privadas entre el Ejido La Laborcilla y Ejido Los Trigos pertenecientes a otra familia de la cual no se realizó algún comentario concreto.

Con base en lo mencionado, desde las circunstancias generales, es posible distinguir que existe cierta desvinculación para generar acuerdos y consensos entre los distintos sectores sociales que coexisten en la comunidad, sobre el manejo ambiental del sitio. Esta segmentación sucede no solo de manera horizontal entre las poblaciones locales o entre ejidos y propietarios privados, sino de manera vertical en términos jerarquías y autoridad, desde la interacción institucional de los 3 órdenes de gobierno, donde se presentan omisiones y deficiencias en organización para la intervención y salvaguarda de la zona federal, por mencionar un ejemplo, pero también en la interacción de la autoridad local con los habitantes, siendo que esta última considera insuficiente el apoyo que recibe desde el gobierno municipal para realizar sus actividades en términos generales, lo cual le ha generado cierta aversión, a pesar de ello, la posible condición de ilegitimidad de la posición que ocupa, influye en la potencia de la autoridad que ejerce y por lo tanto se presentan conductas antipáticas como resultado de no haber establecido previamente procesos de entendimiento mutuo para liderar la comunidad.

Es posible observar que la desconfianza y alejamiento del gobierno son elemento de las narrativas cotidianas de los habitantes locales, sin embargo, como se mencionó, esta desarticulación ya no sucede únicamente entre la población en general y las instituciones, sino también entre los órdenes y sectores de las propias instituciones. En términos de conocimiento y valoración de las áreas silvestres o de los cauces, Cosmo no goza de amplios conocimientos científicos sobre las funciones ecosistémicas, pero su pertenencia territorial y su propia visión histórica derivada de habitar el sitio antes de presentarse nuevas formas de deterioro, le permiten contar con referencias tangibles sobre cuáles son las condiciones adecuadas en las que se deben encontrar las áreas silvestres en buen estado y cuáles pueden ser algunas pautas de comportamiento para interactuar adecuadamente con ellas.

Es posible discernir que no se requiere forzosamente conocimiento técnico para aproximarse a estas nociones adecuadas de comportamiento con el ambiente, sino experiencia, sentido común y algunos elementos culturales relacionados a normas no escritas y percepción distendida sobre los ecosistemas, no obstante, en este caso la comunicación, transmisión y acuerdos sobre estos conocimientos se

encuentra obstruida por algunos acontecimientos relativos a la desintegración social, ausencia de entendimiento y desorganización en el uso de los ecosistemas que existen en la comunidad, situación que en cierta medida también se relaciona con la colonización del mundo de la vida a través de un sistema burocrático ineficiente y valores o principios de comportamiento funcionales a estos mismos sistemas de control externo; uno de estos valores puede ser la democracia como principio político en la forma que actualmente se instrumenta, la cual, no necesariamente garantiza la elección consensuada de un líder en el cual se pueda depositar la confianza de la población y funcione como un agente de cambio en términos sociales y ambientales.

La siguiente informante, referida como Boyka es la actual responsable del Área Natural Protegida en la microcuenca, en el momento de la entrevista, su padre y predecesor, el antiguo responsable del ANP y hermano de Gamma había fallecido, por lo tanto, no existió posibilidad de dialogar con la persona aludida. Boyka, heredó la función antes mencionada y por lo tanto fue la informante seleccionada para continuar el ejercicio. Ella considera su función como un compromiso familiar y con el cuidado de la naturaleza, su rol no solo consiste una ocupación laboral, sino una responsabilidad que heredó de su padre, quien a su vez heredó el compromiso, al haber sido hijo del propietario de algunas zonas del ANP. Boyka, a pesar de no gozar de alguna formación académica referente al manejo de este tipo de áreas, goza de conocimientos relativos a la variedad de especies en la zona, sobre la extensión y límites del área, la distribución de senderos y caminos, técnicas de manejo forestal relativas a la implementación de brechas cortafuegos y reforestación, así como problemáticas respectivas al control de plagas como el muérdago y el heno. De forma opuesta, el conocimiento de las condiciones de la calidad ecológica de los cauces que atraviesan el ANP, así como la relación entre la condición de las coberturas forestales y el aprovisionamiento de agua, entre otros temas específicos relativos al funcionamiento hídrico y ecosistémico de la cuenca son tópicos y fenómenos completamente desconocidos para ella, en términos relativos a la red hídrica, asegura que en algunas ocasiones se han llevado a cabo algunas jornadas de limpieza del cauce, en el área donde se encuentra asentada La Laborcilla. Al examinar su conocimiento sobre la zona federal, tampoco hubo indicios de que gozara de información al respecto y aseguró que la población no tiene conocimiento de lo que esta zona implica. Sobre esta situación se planteó un escenario hipotético a la informante aludiendo que, en caso de que se presentara un fenómeno meteorológico que pudiera afectar el bienestar o patrimonio de las personas en esta zona, la demanda de asistencia gubernamental, de cierta forma podría carecer de sustento, a lo que, de forma reactiva la informante desvió la conversación a las problemáticas derivadas por las acciones de agentes externos.

De lo anterior, Boyka comenta una serie de problemas del ANP vinculadas a tales actividades, generalmente realizadas por personas ajenas a la comunidad que en ocasiones responde de forma agresiva ante las indicaciones del personal del ANP,

algunas de estas actividades consisten en: tala ilegal, cacería furtiva y la introducción de vehículos *razers*, entre otros; Boyka comenta que estos sujetos ingresan sin autorización e incluso cortan los candados de los portales de acceso al sitio, dentro de la perspectiva de la informante también los ciclistas y la realización de otras actividades deportivas y turísticas de menor impacto se relacionan con la contaminación por residuos sólidos en el sitio, comentando “*nos molesta que la gente sea sucia*”.

En términos de la administración del sitio, Boyka mencionó que existe una única brigada de dos personas para la custodia del sitio, sin embargo, anteriormente se componía de 8 elementos, así mismo se mencionó la carencia de algunos recursos para efectuar algunas de las actividades operativas en el sitio. Ella y los brigadistas del área no solo salvaguardan la superficie estatal del ANP sino otras áreas privadas pertenecientes a la familia del gobernante anteriormente aludido, mencionando que esta familia genera aportes monetarios para realizar estas actividades. Así mismo, con la finalidad de colaborar con información al estudio, la informante comunicó nombres de otros propietarios y cierta cronología en el cambio de posesión de predios en la zona, pero también de los bordos, afirmando que, para la protección de estas áreas silvestres resulta benéfica tal modalidad de dominio, aunque nunca se ha generado un plan de trabajo o convocado a los propietarios para generar algún convenio o proyecto de colaboración formal. Por otra parte, menciona que la única forma en la que ellos permiten acceder a visitantes es cuando gozan de un permiso de acceso emitido por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado, de la que ella, en términos formales depende, también manifestando que no se ha implementado, como forma de financiamiento de las actividades y control de visitantes, el cobro de alguna cuota o algún otro mecanismo similar para poder acceder al sitio.

Al conducir el diálogo a un contexto reflexivo, sobre la participación de la sociedad en el cuidado ambiental y causas de prácticas ambientales nocivas, Boyka asegura que las nuevas generaciones no gozan de conocimiento sobre los temas y la mayoría emigran. En este sentido la identidad territorial con los espacios de la microcuenca o la propia comunidad, en algunos casos son escasos o transitorios, por otra parte existe una fuerte influencia de nuevas formas de vida hacia la población juvenil, como lo relacionado a nuevos hábitos y aspiraciones de consumo, estilos de vida más cercanos a lo “urbano” o afiliaciones hacia otras identidades como las relacionadas a los migrantes hispanos en Estados Unidos. Por otra parte, la informante asegura que la gente “*busca su propio bienestar*”, siendo muy poca la gente que apoya en actividades de manejo y la causa de que se presenten situaciones donde sujetos externos violentan el área con actividades ilegales, se debe a que “*no saben respetar*”.

Con base a estas circunstancias Boyka, desde su posición de autoridad, genera mecanismos excluyentes de forma homogénea para cualquier persona que desee disfrutar o acceder a este sitio, dicha circunstancia también se vincula a la posición

privilegiada de esta familia, misma que Boyka, en su gestión asocia a la facultad de ejercer sus actividades desde una perspectiva de cierta forma unilateral y en la que, de alguna manera, su familia y ella misma, de forma factual, ostentan la posesión o beneficios exclusivos sobre los sitios en cuestión. Esta misma situación genera algunas suspicacias en las cuales, es posible asociar estos beneficios no únicamente a una familia, sino a diversas familias en esta zona de la microcuenca, las cuáles gozan de ciertas capacidades económicas o presencia en la esfera política y gubernamental, en este sentido se puede concebir que la asociación informal de estas familias que conforman una institución que incide fuertemente en organización local y formas de administración de estos espacios en diversos asuntos.

Cabe señalar que esta forma de control del acceso del ANP al ser restrictiva puede gozar de ciertas ventajas en términos de preservación del sitio, pero no es efectiva en diversos sentidos ya que no evita el acceso de personas no autorizadas, las cuales generan los impactos ya comentados; a la vez, es evidente que la administración del sitio requiere generar o recaudar mayores ingresos para el manejo adecuado del área, sin embargo, debido a las situaciones antes comentadas, en suma, de la inexperiencia en la nueva administración sobre la gestión de este tipo de sitios, que no únicamente precisan de un manejo forestal adecuado, se presentan algunas oportunidades que son desatendidas, por ejemplo, la posibilidad de autorización local de los permisos de acceso y el cobro de cuotas, la gestión con las instituciones de seguridad pública para mejorar las condiciones de salvaguarda en la zona, la inclusión de un mayor número de pobladores locales en la protección y manejo del sitio con beneficios monetarios en esquemas de empleo temporal pero también en un modalidad de intercambio por ciertas dotaciones de agua de los bordos privados, entre otros.

El siguiente informante se define como Reno, uno de los habitantes más longevos en Los Trigos. Este habitante fue señalado como un informante relevante no solo por su edad, sino que, él pudo encabezar la autoridad ejidal en periodos anteriores y, además, en el presente; su parcela es contigua al acceso del camino que conduce al Pinal del Zamorano, siendo la persona que autoriza el acceso. Al igual que otros informantes contactados en Ejido Trigos, Reno se mostró renuente a establecer un diálogo sobre las temáticas planteadas cuestionado en múltiples ocasiones la finalidad del uso de la información, la procedencia de los observadores y otra información relativa al proceso, al aclarar la confidencialidad y secrecía del proceso, así como la importancia de sus aportes, el informante accedió a compartir sus apreciaciones.

Una de sus primeras aclaraciones fue señalar que el nombre correcto del sitio conocido como Pinal del Zamorano era Cerro del Carmen, o Pinal del Carmen, y que, a partir de la intervención de una televisora y la instalación de antenas transmisoras, se comenzó a conocer con el nombre que actualmente se utiliza. Otro de los comentarios iniciales del informante, al abordar tema de la interacción

humana, el cambio del ambiente y el manejo de los recursos ecosistémicos, fue sobre la disminución de las precipitaciones en los últimos años, afirmando que ya “*no llueve bonito*”. Sobre los mismos ejes temáticos, desde una mirada histórica, asoció el uso humano del agua a circunstancias conflictivas, de lo cual compartió un breve relato que a su vez le había sido contado por “*los antiguos*” sobre uno de los manantiales hallado en el sitio, cuando aún se denominaba Hacienda el Coyote, en estos hechos el informante comentó sobre algunas injusticias percibidas por los antiguos trabajadores de esta hacienda, mismos que, a forma de protesta contra el hacendado, arrojaron materiales sobre el manantial para bloquear el flujo de agua.

Al solicitar a Reno información sobre los sitios carentes de suelo y superficie vegetal, comentó que siempre se habían encontrado de esa forma. Para complementar los relatos sobre la historia local, comentó algunos otros hechos relevantes en el sitio, uno de ellos el incendio del Pinal en los años 90 donde destacó la importancia de la brigada contra incendios y algunas prácticas en tal sentido, como las brechas guardarrayas; así mismo comentó que la comunidad goza con agua entubada desde hace 20 años. Por otra parte, realizó algunos comentarios sobre el traslado de la propiedad de algunas superficies privadas entre dos familias asociadas a antiguos gobiernos estatales, mismos que no habían sido mencionados con anterioridad por otros informantes, pero aseguró que las personas de cierta edad se oponían a la venta y traslado a particulares sobre parcelas en el ejido. Sobre su forma de vida y la forma en la que interactúa con el ambiente Reno expresó: “*me gusta andar libre en el campo*”.

Al presente, Reno explica algunas circunstancias concernientes al manejo en la zona. Él mismo goza de conocimiento sobre algunas formas de manejo para utilizar adecuadamente algunos potreros, sin embargo, menciona complicaciones por una situación relativa a la cantidad de cabezas de ganado que se encuentran en la zona, motivo por el cual, comenta que se dificulta reforestar o implementar mejores formas de uso de las superficies. A pesar de que la agricultura no goza de una producción extensa en la zona, Reno cultiva algunos productos como manzana, cereza, pera y también cultiva la milpa sin el uso de agroquímicos y con insumos que obtiene de manera local, como estiércol, recirculando algunos recursos. Sobre estas actividades, el informante sostiene que existen sitios adecuados para su cultivo dentro del ejido e incluso propone algunas ideas para el riego de estos, de igual forma explica que existen posibilidades de aprovechamiento de piñón, sin embargo, estas actividades no han podido gozar de soporte externo para su realización. Esta situación se debe a que existen discrepancias entre algunos habitantes, como es su caso, y la autoridad ejidal actual, tales diferencias no solo corresponden al acceso a recursos para estas actividades, también se mencionó la situación de la oferta de una UMA de venado propuesta por el gobierno estatal, donde la autoridad ejidal actual se opuso, en este sentido Reno comenta que la misma, prefiere administrar de manera interna la forma en que se realizan las actividades cinegéticas, en las cuales también se han llegado a incluir algunas especies de

cánidos y felinos de la región. Otro punto donde se presentan perspectivas opuestas es en el acceso al Pinal, de este punto, menciona que al presente se encuentra restringido el acceso, anteriormente concedían permiso para ingresar y se cobraba una cuota de 50 pesos, pero a consecuencia de la deposición de basura y práctica de actividades prohibidas por parte visitantes externos, siendo él mismo la persona que autoriza la entrada o salida del sitio, en conjunto con otros habitantes, deciden tomar esta medida, no obstante la autoridad ejidal, a pesar de reconocer la problemática, ha permitido el acceso con mayor flexibilidad.

Al respecto de los hechos mencionados, desde épocas antiguas, al menos en la escala local, el relato del bloqueo del manantial permite evidenciar el uso del agua como un elemento que no solo desempeña funciones ecosistémicas, sino que bajo una óptica antropizada; el acceso, restricción o control sobre la forma de uso cumple funciones en aspectos relativos a cambios y contrapesos en las jerarquías y formas de organización social. Por otra parte, sobre las coberturas desprovistas de vegetación, la referencia empírica de Reno, a pesar de construirse desde su longevidad, se encuentra desasociada temporalmente de sucesos de transformación ambiental de mayor antigüedad, de igual forma, otros habitantes de la microcuenca aseguraron que esas superficies siempre se encontraron de esa manera. Tal situación conduce a especular que la historia sobre la transformación de dichos espacios, posiblemente no formaría parte o se habría perdido como parte del conocimiento no escrito de la comunidad al respecto de sus procesos de transformación. En el sentido de la organización local, las discrepancias entre la autoridad ejidal y otros miembros de la comunidad, conducen a la pérdida de algunos recursos y sinergias externos e internos que pueden mejorar la calidad de vida y reducir las presiones ecosistémicas en la localidad.

La situación permite observar que para mejorar la integridad del sitio no solo es necesaria la gestión y vinculación con actores e instituciones externas, sino que inicialmente, se precisa una reconfiguración interna que permita definir objetivos comunes para el manejo y forma de aprovechamiento de los servicios ecosistémicos en la comunidad.

Los siguientes informantes, definidos como Jacobo y Maia conforman la autoridad ejidal en Los Trigos. Previamente a abordar el diálogo realizado, es necesario aclarar dos aspectos; la autoridad ejidal, al menos en esta comunidad, goza de mayor autoridad factual que otras formas de autoridad a escala comunitaria, al mencionar por ejemplo las subdelegaciones. Por otra parte, se menciona dos individuos al aludir a la autoridad ejidal del sitio, ya que, esta se conforma por un matrimonio donde se reparten las actividades asociadas, lo cual se debe a las actividades laborales de Jacobo, que derivan en su presencia intermitente en la comunidad, por lo tanto, cuando este último se ausenta; Maia funge como la autoridad y se encuentra facultada para intervenir u otorgar permisos sobre lo relativo al sitio. A pesar de que estas entrevistas se llevaron a cabo por separado, el análisis de los diálogos se desarrolla de forma vinculada, ya que las perspectivas

y datos proporcionados por ambos informantes carece de diferencias o contrastes que requieran un estudio separado, de lo contrario se generaría una situación reiterativa innecesaria para el análisis.

El primer acercamiento hacia estos informantes se realizó con Maia, precisamente por la ausencia de Jacobo en la comunidad. Al explicar los detalles del ejercicio en cuestión, la informante se mostró abierta al diálogo, siendo de los informantes de esta comunidad, que mostró mayor apertura, confianza y accesibilidad para realizar la actividad. Sobre las aproximaciones iniciales a la actividad, se realizaron algunas preguntas sobre la accesibilidad al Zamorano, en específico sobre el camino que Reno había restringido, Maia presentó una postura opuesta a la decisión y ofreció acceder a la vía desde el sitio donde se realizaba la entrevista, el cual conforma su parcela y es donde se ubica la vivienda de estos informantes, aunque, efectivamente, reconoció que, agentes externos realizan actividades destructivas en el sitio, mencionando el robo de árboles, así como extracción de tierra y leña afirmando que los individuos responsables *“no saben cuidar”*.

Por otra parte, confirmó la intención de actores externos para establecer la UMA, anteriormente mencionada, aclarando que desconocía el origen de esta propuesta. En términos de manejo y restauración del sitio, en específico sobre el componente suelo, Maia explicó que anteriormente se establecieron algunas terrazas con plantaciones de maguey, igualmente mencionó la pertinencia sobre el establecimiento de algunos huertos, el aprovechamiento del agua de lluvia, actividades de reforestación, o la adquisición de pastura para el manejo del ganado, sin embargo, explicó que el actual gobierno federal no con contaba con recursos para realizar estas actividades y aproximadamente desde hace 8 años no se contaban con recursos para realizar actividades relativas a lo planteado; así mismo mencionó que en años recientes hubo un proceso de adquisición de un predio cercano a su parcela por parte de un ex gobernante municipal.

En una visita posterior a la casa ejidal se logró establecer un primer contacto con Jacobo, quien se mostró ligeramente evasivo al ejercicio, comentando que tenía que atender otras actividades y refirió a los observadores con su tío para obtener información sobre el sitio, sin embargo, no se logró comunicación con este último. En una tercera visita, se insistió a Jacobo sobre la importancia de contar con su participación en el ejercicio y se le comunicaron más detalles sobre la actividad, así mostró mayor accesibilidad al diálogo y una actitud de apertura e interés. Además de las observaciones ya comentadas por Maia, la entrevista con Jacobo permitió distinguir algunas situaciones relevantes en un contexto de interacción entre la comunidad y las instituciones gubernamentales oficiales.

En un primer plano, se mencionó la intención oficial de decretar algunas áreas del Zamorano, como Área Natural Protegida, así como el tema de la UMA y otros proyectos relativos a la conservación del área promovidos por CONAFOR, en este sentido Jacobo explicó las circunstancias por las cuáles se oponía a estas

implementaciones. Inicialmente, su abuelo, fue uno de los responsables de la conformación del ejido, como parte de los principios familiares, Jacobo expresa que su abuelo le comentó *“no le den tanta entrada al gobierno”* lo anterior en un contexto de desconfianza hacia las instituciones, en relación con la posibilidad de la pérdida o despojo del ejido. Por otra parte, el tema del ANP se considera como otra posibilidad que expone a una circunstancia similar al ejido y dentro de la perspectiva de Jacobo también representaría una situación que restaría libertad a los habitantes del sitio, al restringir su acceso o actividades en ciertas áreas. De estas iniciativas gubernamentales, también se comentó que se precisaba la instalación de cámaras para monitoreo (posiblemente de la biodiversidad) actividad que el ejido no permitió. De las actividades e iniciativas mencionadas el informante expresó que su intención es evitar conflictos derivados de las mismas. Igualmente, Jacobo mostró inconformidad en la forma en la que técnicos de cierta dependencia estatal y una dependencia federal, desempeñaron algunas prácticas relativas al manejo del ganado, manejo forestal y de suelos en el sitio, explicando que las obras efectuadas quedaron inconclusas o no se les dio seguimiento y aseguró que *“lo que más quieren es el dinero”* al referirse a las ganancias obtenidas por los técnicos al gestionar estas labores. Al respecto de algunas prácticas de manejo implementadas en el sitio agregó que aproximadamente hace 12 años se establecieron zanjas bordo en distintas zonas de la microcuenca, sobre estas actividades, refirió que las zonas desprovistas de vegetación y suelo eran *“cárcavas naturales”*.

Sobre la incidencia de otros actores externos, confirmó el predio adquirido por un ex gobernante municipal y también refirió la adquisición de un predio y edificación de una obra de dimensiones considerables por parte de un miembro de otra familia relacionada a gobiernos estatales anteriores, no mencionada anteriormente por otro informante. Las características y proporciones de esta edificación le generan cierta incertidumbre al informante, al desconocer cuál es el propósito de su uso; también haciendo referencia que el propietario de la obra ofreció la construcción de un camino pavimentado en el sitio para mejorar el acceso a la zona a lo cual Jacobo se negó explicando que no buscaba generar compromisos con efectos perjudiciales al ejido, de lo cual también se pronunció en contra de la venta de parcelas. Todas las circunstancias anteriormente mencionadas son procesos que Jacobo observa como amenazas o circunstancias adversas a la forma de organización y apropiación del territorio por parte de la comunidad, que asocia a una situación donde *“se hace débil el ejido”*.

Sobre las actividades productivas en la zona, la que mayor presencia observada es la ganadería. Ante los impactos que esta labor representa para la microcuenca, se conversó sobre otras actividades alternativas, Jacobo refirió que esta actividad productiva representa una actividad familiar, de lo cual se discierne que esta se encuentra fuertemente vinculada a su cotidianidad y es parte de su idiosincrasia, sin embargo en conjunto con el informante se plantearon algunos escenarios hipotéticos para implementar mejores prácticas de manejo del ganado, con base en

las necesidades y experiencia de Jacobo. Se dialogó una posible solución mediante el aporte gubernamental de alimento equivalente, en términos monetarios a aproximadamente 1 millón de pesos anuales, para el beneficio de 80 familias dedicadas a la actividad, siendo que, ese aporte se podría adaptar a ciertos acuerdos de manejo en la zona para funcionar a forma de pago por servicios ecosistémicos. Otros temas expuestos con menor detalle fueron los relacionados a la disminución de la lluvia, misma que Jacobo asocia con una situación de sequía que supone conflictos potenciales en la comunidad. Refirió al incendio de años anteriores, asociando este fenómeno con la visita de peregrinos, de este hecho aseguró que en la comunidad se generaron sentimientos de tristeza y nostalgia. Finalmente, respecto a los habitantes de la comunidad, refirió que *“los jóvenes se quieren ir”* debido a varias circunstancias desfavorables, relativas a situaciones socioeconómicas en la zona. Con base a lo planteado, en tanto a la interacción de los habitantes y las instituciones gubernamentales, en el contexto ejidal particular de esta zona; es posible observar que las actividades de manejo y conservación del sitio, derivadas de los planes o proyectos oficiales, debido a ciertas particularidades, resultan incompatibles con la forma de apropiación del espacio por parte de algunos habitantes locales relevantes en la toma de decisiones de la localidad. Por ejemplo, la instalación de cámaras que generan una sensación de invasión de la privacidad o la restricción de acceso a ciertas áreas, situación que restringe la libertad de transitar o habitar los espacios.

Por otra parte, la ejecución de planes o proyectos, al involucrar ciertos compromisos o condiciones generan una sensación de vulnerabilidad al ejido, esta situación es posible explicarla desde una óptica histórica expresada en ciertas narrativas de desconfianza hacia las instituciones gubernamentales y otros agentes vinculados con situaciones relacionadas al despojo del territorio. Así mismo, otro factor relevante, es la propia experiencia de los habitantes en relación con implementaciones actuales, mismas que son asociadas con resultados parciales o sin continuidad. En este sentido, el decreto de una nueva ANP en la zona conlleva a cuestionar ciertos aspectos de su implementación, como la factibilidad en términos operativos o económicos, al observar otros casos similares como las situaciones conflictivas ya expuestas en el ANP actualmente decretada en la zona de la microcuenca.

8.3 Actores gubernamentales

A) Orden Municipal

Desde el sector municipal de Colón, el informante con el cuál se desarrolló el diálogo, comunicó que en el periodo que laboró como funcionario del gabinete municipal, al encabezar la Secretaría de Desarrollo Sustentable, no se coordinaron

programas en conjunto con la población de la microcuenca ni con otras dependencias gubernamentales de los tres órdenes de gobierno para generar soluciones o procesos de intervención para solventar las problemáticas relativas a las condiciones ecosistémicas de la microcuenca, a pesar de ello, se aportaron algunas observaciones sobre la situación socioambiental del área y se dialogó sobre algunos elementos prospectivos para su atención.

Al respecto de la invasión de la zona federal de los cauces y alteraciones de las zonas riparias, el informante concibió que es una consecuencia del desconocimiento por parte de los habitantes, pero también una omisión por parte de la autoridad, lo cual generaba una condición de impunidad. Al comentar la posibilidad de aportar indemnizaciones a la población local en un escenario de rehabilitación fluvial que precisara la reubicación de algunas viviendas o estructuras ubicadas en la zona federal, comentó que no existiría legitimidad en esta demanda al tratarse de un proceso de apropiación al margen de las disposiciones legales. Sobre esta situación, potencialmente conflictiva, durante el desarrollo del diálogo, se concluyó que esta, en caso de no ser gestionada de forma adecuada, además de implicar un costo económico y social, también observaría un costo y un impacto político negativo, en términos de aprobación poblacional hacia el gobierno que se encuentre en turno. Al comentar la situación de rechazo de algunos actores locales al respecto de la implementación de algunos programas y proyectos relativos al aprovechamiento y uso ambiental, el informante determinó que es necesario generar consensos con los habitantes para que no se perciban vulnerados, pero que esta situación no relegue la protección de los ecosistemas. En el sentido de proteger o mejorar la calidad ambiental del sitio, se comentó que estos convenios también precisarían de establecerse de forma interna en la microcuenca, por ejemplo, entre los propietarios privados y la administración del ANP. Así mismo, se dialogó sobre la posibilidad de implementar o considerar con mayor eficiencia algunos elementos normativos que posibilitaran a la autoridad municipal y otras autoridades del orden local, como el comisariado ejidal, subdelegaciones y otras, para establecer de manera coordinada mecanismos de coacción para salvaguardar los ecosistemas y los elementos de la cuenca ante actividades ilegales.

Al inducir la entrevista hacia un aspecto reflexivo sobre algunas condiciones previas para gestionar algunas actividades para el aprovechamiento adecuado de los componentes de la microcuenca el informante comentó que se precisa de mayor cercanía entre la ciudadanía y el ayuntamiento, ya que este es el primer contacto que existe de la población hacia la esfera gubernamental. El informante también considera que no se ha valorado la importancia de los ecosistemas en el sentido de los beneficios e incluso privilegios que estos aportan a la población, haciendo énfasis en que, desde su perspectiva no se ha experimentado una escasez aguda del agua. Por otra parte, comentó que los agentes involucrados en los procesos de intervención o implementación de procesos de cambio, especialmente los funcionarios públicos, deben gozar de conocimientos del tema, desempeñarse de

forma profesional y de igual forma, tener habilidades para dialogar o generar vínculos con los habitantes. Desde la vertiente institucional consideró la importancia de generar procesos de financiamiento intersectorial y considerar el enfoque de cuenca, de manera efectiva, en los programas de ordenamiento y otros instrumentos de política ambiental y territorial. Destacó la importancia de reestablecer el funcionamiento ecosistémico a través de acciones concretas, de lo cual comentó como ejemplo, en un contexto a escala municipal, que se debe exigir el tratamiento de agua en industrias que gocen de ciertas características relativas a sus procesos y dimensiones productivas. Finalmente, el informante comentó brevemente que dentro de la población joven se encontraba generando conciencia sobre el cuidado del ambiente, situación que se genera en las nuevas educaciones inicialmente en la transmisión de principios y conocimientos en el contexto familiar.

B) Orden Estatal

Al respecto del ámbito estatal, desde la Secretaría de Desarrollo Sustentable, se desarrolló el diálogo con un funcionario copartícipe del desarrollo de los instrumentos políticos en materia ambiental (POEL) a escala local y regional. El área a la que pertenece el informante no participa directamente en el manejo o implementación de programas o proyectos dentro del área de la microcuenca, sin embargo, los ordenamientos derivados de esta oficina, rigen los mecanismos oficiales para programar el manejo ecosistémico, generar estudios técnicos, definir usos de suelo y procedimientos de aprovechamiento sustentable, entre otras; mientras establece las facultades a escala municipal o estatal, para la realización y coordinación de las mismas. Sobre la eficiencia y posibilidades de aplicación del instrumento, el informante comenta que en ocasiones, el desarrollo de proyectos de distintos ámbitos sobre determinadas porciones del territorio, surgen por una cuestión de intereses que se encuentran desvinculados por las regulaciones determinadas con base a los atributos territoriales, comenta que en ocasiones, se contraponen en ciertos ámbitos el instrumento regional, que el informante denomina regulador y los instrumentos locales, denominados como inductivos. Al respecto de este estudio en particular, el informante comenta que el enfoque de cuenca dentro del instrumento, no se encuentra integrado como un elemento para la toma de decisiones y sobre la misma temática. Consideró que el análisis de integridad goza de potencial como una herramienta que permita definir con mayor precisión ciertos usos y estrategias para el manejo del territorio y la zonificación mediante criterios hidrográficos, como pueden ser unidades de escurrimiento y la delimitación de mayor particularidad sobre los ecosistemas terrestres anidados en cada una de ellas, lo cual permitiría definir con mayor especificidad las regulaciones para las UGAs previamente generadas en el POEL.

En términos reflexivos y prospectivos, el informante destaca la necesidad de fortalecer procesos de divulgación y gobernanza para un mejor aprovechamiento y

aproximación a los ecosistemas, aunque, considera que se requiere una labor intensiva, incluso a nivel del individuo, para generar mejores escenarios, así mismo comenta que estos procesos deben ser inclusivos y considerar a los distintos sectores de la población. Por otra parte, menciona algunos aspectos conflictivos y tensiones derivadas de la interacción de motivaciones incompatibles de diversos sectores sociales respecto al uso del territorio y los ecosistemas, ejemplificando el choque que existe entre los individuos, agrupaciones o instituciones que buscan la protección ambiental, frente a propietarios o usuarios que perciben vulnerados sus derechos. El informante también externaliza una situación de deuda desde el ámbito institucional oficial, hacia distintas demandas sociales y observa oportunidades en implementar mecanismos desde este ámbito, para dar continuidad a los planes y proyectos relativos a lograr objetivos referentes a un aprovechamiento adecuado, así como para implementar usos mixtos del territorio, sin embargo, enfatiza en la falta de responsabilidad compartida de los distintos actores involucrados en la dinámica socioambiental e identifica debilidad en el sentido de pertenencia de los habitantes así como discontinuidad generacional en diversos aspectos para dar continuidad a los procesos requeridos para lograr los objetivos mencionados.

C) Orden Federal

El informante relativo a la federación, integrante de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de Querétaro, vinculado al área de Consejos de Cuenca, aportó información relevante al respecto de las condiciones de la zona federal la cual permitió observar algunos procedimientos institucionales disfuncionales para la salvaguarda de estos sitios. Al respecto comentó que la Comisión se encuentra facultada legalmente para intervenir en sitios donde se ha invadido la zona federal o donde se han destinado usos no autorizados mediante denuncias ciudadanas o por parte de otras instituciones, pero la mayoría de las ocasiones únicamente se realizan procedimientos administrativos, como notificaciones en contra de los presuntos responsables de cometer estos actos, ya que procedimientos legales de mayor impacto relacionados a desalojos y demoliciones, son procesos lentos que retrasan la ejecución de estas actividades. Al igual que la información aportada desde el ámbito municipal, el informante expresa que, al tratarse de actividades ilícitas, las indemnizaciones para los habitantes que incurran en estas actividades no son viables, comentando que los responsables de los actos se encuentran legalmente obligados para asumir el costo económico de las mismas actividades de demolición, así como resarcir los daños causados. Igualmente, el informante aclara la importancia de consultar con las autoridades correspondientes en caso de que exista la necesidad de utilizar el espacio de la zona federal para realizar cualquier tipo de actividades, por lo cual es necesario presentar los proyectos planeados y sus respectivas MIAs. También observa que pueden existir otras vías para evitar conflictos y procedimientos legales como los ya mencionados, en este caso, existe la posibilidad de solicitar regularizaciones sobre actividades ya realizadas. De forma

complementaria al diálogo, al consultar algunos documentos jurídicos e instrumentos de política ambiental, la temática de las porciones de los corredores ribereños que se encuentran fuera de la zona federal, es posible observar que no se encuentran regulados legalmente de manera específica, aunque se observan ciertas disposiciones en diversas leyes federales relativas al manejo ecosistémico donde existen ambigüedades que no sustentan de forma adecuada la conservación, manejo o protección de estos ecosistemas. Así mismo existen vacíos relativos a la regulación de fuentes de contaminación difusa en términos hídricos, debido a las circunstancias planteadas, existen algunas complicaciones en términos operativos a escala institucional, que generan ciertos límites al establecer procesos eficientes de gobernanza ambiental en la microcuenca La Laborcilla y cualquier otro territorio bajo circunstancias similares.

8.4 Consideraciones finales sobre la gobernanza de cuencas

Con base en la información proporcionada por los informantes y al tomar en cuenta distintas características de los instrumentos de política ambiental y los marcos normativos que regulan algunos aspectos relativos a las actividades vinculadas a la gobernanza de las cuencas, es posible discernir que la modalidad de política ambiental establecida desde los distintos órdenes gubernamentales, se conduce generalmente bajo una apreciación genérica, fragmentaria y reduccionista sobre el paisaje, tanto en aspectos biofísicos (como el caso de los ecosistemas riparios) e hidrológicos, pero también socioambientales. Respecto a la situación, Hargrove (2021) identifica esta postura política como hidroesquizofrenia, misma que los responsables y tomadores de decisiones asumen al desvincular el manejo hídrico superficial y subterráneo, pero también al segmentar los límites jurisdiccionales, jerárquicos y también territoriales de la gobernanza hídrica o en este caso, de la gobernanza de cuenca. A estas dos disociaciones sería posible agregar una circunstancia adicional en términos de las omisiones de la política pública al desvincular los procesos hidrosociales, y al desconocer o considerar de manera secundaria la forma de apropiación y transformación histórica de un espacio y su impacto en funcionamiento ecosistémico de la cuenca.

Desde la esfera gubernamental, algunas aproximaciones a la realidad socioambiental se desarrollan mediante categorías sociales simplistas, como lo puede ser: campesino, ejidatario, población marginada, mujeres indígenas, ganaderos, etc. Si bien estas categorías pueden ofrecer una visión general sobre ciertos rasgos sociales en determinada localidad, no explican las realidades subjetivas, ni los procesos históricos que surgen en cada territorio, ni problemáticas ambientales particulares y, por lo tanto, excluyen las necesidades específicas de la población. Es así que, mecanismos como el pago por servicios ambientales o actividades de manejo forestal, entre otras, requieren un proceso de flexibilización y armonización con las demandas y capacidades sociales. Por lo que, estas

demandas requieren esquemas de integración mediante procesos dialógicos que permitan a la población local observar de manera objetiva las condiciones y oportunidades en su relación con el medio y de igual forma reconocer la disposición, compromiso y objetivos en común de diversos agentes y técnicos pertenecientes al aparato gubernamental, con la finalidad de apartar ciertos prejuicios e ideas sesgadas, como una noción oficialista de gobierno, conformado en ocasiones como un ente hegemónico abstracto y moralmente corrompido en su totalidad. Por lo tanto, dentro de un proceso efectivo de gobernanza ambiental, la participación de los miembros de la comunidad requiere robustecerse internamente para desarrollarse de manera informada y responsable, desde una perspectiva ciudadana y mediante actores capacitados en los procesos de comunicación e intervención y toma de decisiones, con disposición al diálogo, para gestionar objetivos comunes para el mejoramiento ecosistémico de la microcuenca, considerando la integración de perspectivas diversas que guarden validez y legitimidad.

Por otra parte, resulta una proposición ambigua la intención de fortalecer los vínculos de la relación gobierno-sociedad; en un primer aspecto porque estos grupos no se conforman de manera homogénea, en cuestiones de objetivos, incidencia factual, posturas políticas, etc. ya que existen múltiples instituciones conformadas de manera formal en el sentido oficial y también en el no formal, en distintas escalas y con distintos propósitos. Por otra parte, lo concebido como sociedad tampoco se conforma por un solo bloque, sino que se encuentra diversificado en múltiples organizaciones definidas por una gran cantidad de variables y configuraciones, que a su vez, pueden actualmente conformar en alguna escala de manera no oficial (como las instituciones no formales ya mencionadas) parte del complejo gubernamental, por lo tanto, robustecer estos vínculos en un sentido de gobernanza ambiental, precisa inicialmente una rearticulación endógena, en este caso en particular, en la comunidades estudiadas, donde es posible observar que la voluntad y objetivos de distintos habitantes no resulta homogénea en ciertos aspectos sobre el uso de los servicios ecosistémicos.

Finalmente la posibilidad de generar procesos de gobernanza eficientes, tomando en cuenta la información y situaciones anteriormente expuestas, no solo implica reconsiderar la complejidad que implica la rearticulación social en un sentido de cohesión al interior de las comunidades o entre diversos sectores para generar vínculos que permitan trazar objetivos y metas comunes para el bienestar socioambiental, también se observa la necesidad de incrementar la intensidad tanto en medidas coercitivas en términos legales, pero a la vez en términos persuasivos para reordenar las actividades antrópicas que atentan contra la integridad ecosistémica, situación que requiere de procesos de negociación y educación complejos en un contexto de desconfianza o descontento de diversos sectores poblacionales.

9. RECOMENDACIÓN ESTRATÉGICA DE GOBERNANZA AMBIENTAL

La idea de gobernanza ambiental, se puede expresar en forma de síntesis como la corresponsabilidad organizada, informada y fundamentada en principios donde participan distintos sectores de la sociedad para generar interacciones controladas entre la sociedad y el ambiente. Estas interacciones se vinculan a distintas actividades y objetivos sociales, por ejemplo, actividades de aprovechamiento, conservación, rehabilitación, pero también al diseño de leyes, instrumentos y políticas públicas, entre otras. Tales actividades también se desenvuelven en distintas escalas y lenguajes, por lo tanto, en distintas formas de comprensión, además de grados de legitimidad y participación, derechos y escalas de operación. (Díaz, 2005). Un escenario donde los actores se aproximan de forma dispersa para generar soluciones relativas a las condiciones de integridad de determinada cuenca, evidencia procesos deficientes de gobernanza ambiental, la situación se puede expresar, por ejemplo, en el diseño de instrumentos de política ambiental conformados desde el ámbito institucional limitados al respecto de la incorporación de estrategias fundamentadas en conocimientos teóricos y técnicos sobre la complejidad ecológica de la cuenca pero también, cuando se desarrollan al margen de las dinámicas de los sistemas socioambientales y necesidades poblacionales específicas. De forma paralela, otro obstáculo para desarrollar procesos de gobernanza ambiental eficientes, en el ámbito de las organizaciones y actores locales, consiste en relegar a términos secundarios la reflexión y conocimiento acerca de las consecuencias e impactos respecto al uso de las funciones ecosistémicas, por lo tanto, resulta improbable generar convenios de colaboración articulados mediante procesos de entendimiento y comunicación asertivos, con objetivos convenientes y metas cuantificables, pudiendo observar que otra circunstancia subyacente a lo mencionado, es resultado del debilitamiento de principios éticos desde la esfera individual a la política, en relación a la responsabilidad, confianza, comprensión, precaución y la sustentabilidad.

En el sentido de lo mencionado, existen múltiples áreas de oportunidad para mejorar o desarrollar procesos de gobernanza ambiental en diversas zonas de la Cuenca del Río Querétaro. Con base en el conocimiento generado sobre las condiciones socioambientales de la Microcuenca La Laborcilla, se generan recomendaciones estratégicas en tres ejes: 1) Incorporación práctica del concepto cuenca e integridad de cuenca para la optimización de instrumentos de política ambiental; 2) Buenas prácticas de manejo y rehabilitación de la cuenca y 3) Cohesión social y cultura de la sustentabilidad.

9.1 Marco jerárquico anidado en los instrumentos de ordenamiento territorial

Como menciona Aho *et al.* (2020) el paradigma de la sustentabilidad ampara los procesos y funciones de las cuencas hidrográficas, en este sentido, en términos de política ambiental resulta exíguo acudir al término de sustentabilidad, desarrollo sustentable, sostenibilidad o similares sin incorporar mecanismos que permitan evaluar el impacto antropogénico hacia las funciones e integridad de las cuencas, en este caso el IWI, permite evaluar tales impactos y proveer información, de forma individual por tipo de componente funcional, de forma simple o acumulada y en distintas escalas. Cabe recalcar que esta información es generada con el propósito de ser incorporada a distintos procesos de gestión y manejo de la cuenca. A través del desarrollo del IWI se establece una línea de base sobre los distintos componentes ecológicos de la cuenca, los cuales, al estar delimitados, como es el caso de las UdE, o los sectores funcionales del cauce, constituye un elemento importante para identificar sitios prioritarios en relación al funcionamiento de la cuenca, pero también estresores y agentes de degradación que requieran procesos de intervención específicos, por lo tanto esta información puede ser volcada a bases de datos que, en términos de ordenamiento territorial pueden coadyuvar a definir estrategias de manejo con mayor puntualidad espacial y con mejores criterios ecológicos. Así mismo, al contar con información específica de cada estresor y de cada complemento funcional de la cuenca, con base en los procesos de intervención y monitoreo previamente establecidos en los instrumentos de política ambiental, o incluso de manera local, mediante el ejercicio de iniciativas de ciencia ciudadana es posible definir indicadores para cada ámbito en específico y así mismo actualizar de manera constante los índices para observar el desempeño y eficiencia de tales implementaciones. El diseño y acceso de estas bases de datos, se puede desarrollar como un instrumento colaborativo que se nutra de información (previo a un proceso de validación) proveniente de distintas fuentes, ya sean institucionales o ciudadanas para conducir un monitoreo continuo y prolongar, mejorar o adecuar los procesos de planeación y manejo de la microcuenca.

Conocer el grado de integridad de cada UdE en una microcuenca, como ya se mencionó, permite a los tomadores de decisiones priorizar las unidades que requieren de una atención inmediata, lo cual resulta un elemento pertinente en áreas ecológicamente degradadas, pero también con buenas condiciones de integridad o con interacciones específicas con el resto del paisaje, por lo tanto, esta información es un elemento importante para afinar los aspectos técnicos de los instrumentos de política ambiental al respecto del manejo y gestión de cuencas. Sin embargo, ajustar los usos sugeridos por estos instrumentos únicamente a escala de UdE, aún puede resultar una propuesta escasa para un manejo apropiado. Al considerar el aspecto sistémico de las cuencas, se puede generar de forma complementaria, para estos instrumentos, un marco jerárquico anidado para organizar un manejo adecuado a su funcionamiento y las relaciones entre procesos de múltiples escalas

y condiciones que definen su condición de integridad (Kuhn, 2018), lo que posibilita el desarrollo de planes en escalas de menor extensión y mayor particularidad en su manejo. Si en una categoría de escalas, una microcuenca se encuentra en una categoría meso y las UdE anidadas en una categoría micro, es necesario definir instrumentos en una escala nano para conducir los procesos de manejo adecuados.

Al observar los resultados encontrados, desde los sectores funcionales analizados, resultando los objetos espaciales de menor escala evaluados, posteriormente los ecosistemas terrestres y finalmente las UdE, es posible observar que la microcuenca, a pesar de que en términos globales no observa condiciones adecuadas de integridad, sus complementos anidados observan distintos grados de presión antropogénica, por lo cual se requiere una clasificación aún más detallada que la propuesta por los instrumentos oficiales de política ambiental disponibles, en ese sentido se toma en cuenta la idea de objeto de conservación (OdC), los cuales se definen como un conjunto limitado de especies, comunidades naturales o ecosistemas, que se eligen para representar la biodiversidad de un paisaje de conservación o área protegida (Parrish *et al.*, 2003), sobre esta idea Macías Caballero *et al.* (2004) expresa que: “Este término es de uso común en procesos de priorización y planeación para la conservación”. Por otra parte, el concepto de objeto de conservación, implica objetivos mixtos, que trascienden actividades exclusivas de “conservación”, lo cual puede observarse en distintos instrumentos por ejemplo el Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen” en el cual se consideran los siguientes objetivos para su ejecución en los OdC seleccionados: protección, preservación, protección, restauración (CAR, 2013). Considerando las sugerencias de Granizo *et al.* (2006) (en Cueto-Espinosa, 2019) y las políticas ambientales que rigen las UGAs encontradas en los programas de ordenamiento relativos al territorio de la microcuenca, así como el decreto del ANP estatal presente en el sitio, se precisa una clasificación específica de los OdC en la microcuenca.

Cabe mencionar que la clasificación de OdC en un esquema de ordenamiento ecológico y en las escalas mencionadas, desde sectores funcionales hasta UdE, constituye un mecanismo adecuado para segmentar y optimizar usos, políticas, estrategias, etc. de UGAs que carezcan de criterios adecuados en términos de gestión y manejo con enfoque de cuenca. Al tomar en cuenta los instrumentos de política ambiental para el sitio, que consideran dos políticas aplicables para la totalidad del territorio de la microcuenca: 1) Protección y 2) Restauración, así como el decreto del ANP, el cual considera 3 criterios prevalecientes para su administración: I. Protección II. Restauración III. Aprovechamiento no extractivo, se requiere la clasificación y delimitación mencionada, bajo las siguientes consideraciones: 1) Todos los ecosistemas presentes en la microcuenca, por sus funciones, grado de conservación/perturbación y políticas de manejo respectivas, son propensas de ser considerados como objetos de conservación, por lo tanto, cada ecosistema terrestre de la microcuenca, representado por las comunidades

vegetales naturales presentes (Cervantes-Núñez, 2015) se pueden considerar como OdC en distintas categorías de manera individual. 2) El ecosistema fluvial de la microcuenca, en términos de su estructura física y vegetal carece de representación específica en los instrumentos de ordenamiento y manejo, por lo tanto, se propone su delimitación e integración como OdC considerando no solo la estructura de los cauces sino la vegetación ribereña y las llanuras de inundación asociadas al mismo. 3) Los sectores funcionales de los cauces principales de cada UdE muestran distintas condiciones de integridad, por lo tanto, es posible asignar distintos lineamientos de manejo a cada uno de ellos. 4) Algunas superficies desprovistas de vegetación suponen un factor potencial de alteración a las condiciones de integridad en la microcuenca, por lo tanto, es posible considerarlas como un OdC en una categoría de restauración.

9.2 Manejo y Restauración de Cuenca

9.2.1 Ecosistemas Y Superficies Terrestres

La implementación de prácticas de manejo puntuales sobre los ecosistemas y superficies terrestres de la microcuenca, además de estabilizar o mejorar las condiciones de integridad también permite mantener como referencias, UdE o sectores funcionales que gozan de condiciones ecosistémicas óptimas debido al buen estado de conservación que presentan. De la misma manera que la interacción entre las alteraciones antrópicas genera efectos acumulativos, la ejecución simultánea de prácticas de conservación, restauración, rehabilitación, etc. en el ecosistema fluvial y los ecosistemas terrestres, generan sinergias para contrarrestar las alteraciones presentes. La secuencia en la implementación de estas prácticas depende de las características y objetivos de manejo en la zonificación de cada UdE.

A) Restauración forestal (REF)

Para definir con mayor precisión los sitios prioritarios para la restauración del sitio, de forma específica en las áreas de bosque de encino y bosque de encino-pino es posible considerar criterios como la relación de Funcionalidad – Integridad de los ecosistemas terrestres, realizada en este ejercicio, sin embargo, es posible determinar estos sitios mediante ejercicios de mayor precisión como el estudio efectuado por García-Coll *et al.* (2004) en la cuenca del río Gavilanes, donde se integraron variables antrópicas como la Intensidad de Uso del Suelo (IUS), componentes del cálculo del balance hídrico como Infiltración o Evapotranspiración potencial y factores como Riesgo de Deforestación para determinar zonas prioritarias donde se desarrollan procesos importantes para el funcionamiento de la cuenca, en el caso de estudio mencionado, asociado al pago por servicios

ambientales hidrológicos, pero con aplicaciones altamente pertinentes para zonificación y priorización relativa al restablecimiento de funciones ecosistémicas de la cuenca.

Para realizar de forma adecuada el proceso, es necesario inspeccionar los inventarios forestales de la zonas seleccionadas para identificar las especies específicas, así como caracterizar y generar información sobre los espacios a intervenir, por lo tanto se requiere generar un esquema de muestreo mediante transectos o cuadrantes para identificar y evaluar la diversidad y valor de las especies particulares de los ecosistemas de la microcuenca, de lo anterior, es posible realizar estas estimaciones mediante procedimientos cuantitativos como el Índice de Valor de Importancia (IVI) que permite conocer “cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema” (Cottam y Curtis, 1956, en Campo y Duval, 2014) o la implementación de un Índice de Valor Ecológico (IVE) que también considera los aspectos funcionales del ecosistema (Casanova-Cuevas, 2017). En este caso, es posible considerar la asociación de ciertas especies o ecosistemas con las condiciones de los componentes funcionales de la cuenca. En este sentido, es posible diseñar algunos ensambles de especies nativas (principalmente de los géneros *Quercus* y *Pinus*) o de especies pioneras que permitan la recuperación de diversos procesos ecológicos, asociados a las características altitudinales y climáticas, así como las condiciones hidrogeomorfológicas específicas de cada UdE. El proceso requiere la participación de la población local, la cual puede colaborar en el diseño de los arreglos para incorporar algunas especies productivas en sitios adecuados, en una modalidad de sistemas agroforestales. De igual forma, es posible involucrar a la población en las actividades sugeridas, mediante esquemas de empleo temporal y otras formas de subsidio para actividades de siembra o plantación, de igual manera, en actividades de recolección de semillas y esquejes, germinación, elaboración de sustratos, abono y otros productos mediante la incorporación de viveros comunitarios en la zona, situación que a la vez permite subsanar la carencia de especies o volúmenes necesarios de otros viveros externos al sitio, así como la reducción de costos logísticos asociados a la importación de ejemplares y otros insumos.

B) Rehabilitación de suelos (RS)

Las superficies desvegetadas de la microcuenca, principalmente áreas de suelo desnudo o zonas de roca expuesta, constituyen elementos que disminuyen de forma visible la condición de integridad de la microcuenca, no solo en términos de regulación hidrológica, sino también al aportar mayor carga sedimentaria a los cauces e incidir en las cualidades químicas del agua, entre otras situaciones. En la microcuenca, existe presencia de algunas prácticas mecánicas para la protección y restauración de suelos, constituidas por varios conjuntos de terrazas con curvas de nivel, sin embargo, superficies con mayor pendiente, se encuentran desprovistas de

alguna forma de manejo. Al tomar en cuenta estos factores, se proponen las siguientes etapas para la intervención de estas áreas:

- 1) Evaluar la erosión hídrica de las superficies mediante la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) para determinar las superficies prioritarias a intervenir y a la vez observar enfáticamente los valores del Factor P para determinar con mayor precisión el funcionamiento de las prácticas implementadas, así mismo examinar los mecanismos de seguimiento y otras formas de monitoreo existentes de dichas prácticas.
- 2) Rehabilitar o corregir las prácticas establecidas en caso de ser necesario.
- 3) Considerando las características específicas del suelo y relieve de cada sitio en particular, se precisa implementar prácticas mecánicas en los sitios que aún se encuentran desatendidos. Al tomar en cuenta que los procesos erosivos presentes en la microcuenca se constituyen principalmente por procesos de erosión laminar se proponen prácticas como terrazas de formación sucesiva, terrazas individuales o barreras de piedra acomodada, en superficies con pendientes menores al 25% observando las recomendaciones de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2013). En superficies con mayor pendiente es posible considerar el uso de geocostales y geotextiles biodegradables con texturas adecuadas que permitan el crecimiento vegetal con barreras vivas intercaladas entre las curvas de nivel. Por otra parte, de manera puntual, para evitar el azolvamiento del cauce debido a superficies deterioradas que se distribuyen de forma longitudinal sobre las llanuras de inundación y otras zonas que contribuyen al aporte de sedimentos, se recomienda la instalación de barreras de gaviones.
- 4) En una segunda etapa, bajo una perspectiva biomecánica para la regeneración de suelos, es necesario acompañar las prácticas mencionadas en el punto anterior con un proceso de revegetalización, al igual que en el componente de restauración forestal se requiere la implementación de un Índice de Valor Ecológico (IVE) o un método selectivo que permita determinar las especies y ensambles adecuados para lograr el objetivo, en este caso es necesario observar cuáles especies del sitio son adecuadas, o si resulta preciso optar por plantaciones de especies pioneras como pastos, herbáceas o algunas especies temporales, que puedan aportar de manera acelerada materia orgánica o generar microclimas para la plantación de otros ejemplares definitivos acordes a las características originales del sitio.
- 5) Finalmente, en caso de ser aplicable, localizar bancos de materiales activos o abandonados, inspeccionar su legalidad mediante los mecanismos institucionales disponibles y tomar en cuenta los puntos expuestos para su restauración.

C) Manejo Sustentable del Ganado y Rehabilitación de Pastizales (GYP)

En la microcuenca, además de procesos de restauración forestal e intervención en superficies desvegetadas, mediante la información generada a través del IWI y los estudios complementarios elaborados o propuestos en las presentes recomendaciones, se precisa reconfigurar el espacio y modalidades relativas a la ganadería en la zona, ya que una modalidad de esta actividad sin suficiente control, resulta un estresor importante en la cuenca, al prolongar procesos de deforestación en la zona, los cuales no pueden ser atendidos sin implementar un reordenamiento de la actividad ganadera, la cual, también contribuye a la pérdida de suelos o eutrofización de los cauces, entre otras situaciones problemáticas. En este sentido, es posible adoptar un modelo de ganadería regenerativa intensiva no selectiva compuesto por los siguientes elementos:

- 1) Rotación de potreros y confinamiento sistematizado del ganado para evitar el acceso descontrolado a cuerpos de agua y cauces de la microcuenca, así como otros impactos relativos a zonas donde el pastoreo es inadecuado, como lo pueden ser ciertas áreas forestales.
- 2) Manejo sustentable de abrevaderos e incorporación de infraestructura adecuada para proveer de agua al ganado en las zonas de pastoreo.
- 3) En caso de que las características climáticas y del suelo sean propicias, es posible reconvertir los pastizales a sistemas silvopastoriles e implementar técnicas para el mejoramiento de los pastizales mediante resiembra para incrementar la cantidad de forraje, así como la plantación de especies arbóreas.
- 4) En una etapa inicial, a través de los mecanismos institucionales disponibles y otras fuentes de recursos, se precisa la gestión de forraje hasta que el periodo recuperación de potreros permita el abastecimiento apropiado.

9.2.2 Ecosistema Ripario y Cauces

Al tomar en cuenta la incidencia de la alteración de los corredores riparios en algunos sectores funcionales, como el único estresor relativo a la degradación de los seis componentes funcionales en la cuenca, así como los estresores correspondientes a diversas alteraciones a la estructura interna del cauce, de forma complementaria a las prácticas manejo para la conservación, restauración o rehabilitación en los ecosistemas y superficies terrestres, es altamente oportuno establecer un proceso que permita reestablecer las funciones de los ecosistemas fluviales, considerando no solo la reintroducción de especies vegetales de interés sino también corregir las alteraciones morfológicas en las llanuras de inundación, presentes al menos en el caso de la comunidad La Laborcilla.

Las recomendaciones expuestas en la *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial* Ollero (2015) expone varios de los siguientes procedimientos, los cuales fueron seleccionados para su aplicación en el caso particular de la microcuenca La Laborcilla.

A) Eliminación de vados (EV)

La eliminación de vados implica la recuperación de procesos longitudinales e hidromorfológicos del cauce relacionados a la regulación de sedimentos, compactación del lecho o la provisión de hábitat. Este tipo de alteraciones, también pueden circular longitudinalmente por el cauce. Como menciona Ollero (2015) “Es una buena práctica muy importante, porque en pequeñas ramblas y barrancos de zonas rurales, montañosas y despobladas puede ser el único impacto significativo.” Se propone un proceso de reordenación del territorio en términos viales que implica eliminar el mayor número de vados y la sustitución de vados por puentes, también es posible analizar la viabilidad del uso ordenado y restringido de los mismos, definiendo algunos como vía de paso, acceso turístico, o únicamente acceso en términos de emergencia o en relación a procesos logísticos de rehabilitación o conservación del sitio o similar.

B) Devolución de espacio al río, Desprotección de orillas y Desurbanización (DDD)

Permite liberar al cauce de formas de constreñimiento antrópico, que genera impactos en procesos de inundación, continuidad y erosión, estos procedimientos se convierten en un elemento necesario al desarrollar prácticas de restauración del corredor ripario. En el mismo documento, Ollero propone la delimitación del Territorio Fluvial como “una banda geomorfológica y ecológicamente activa, de máxima eficiencia y complejidad como sistema natural” que debe ser usada como una figura de ordenación del territorio, esta delimitación debe permitir al cauce desarrollar sus procesos hidrogeomorfológicos y biológicos en el espacio que de forma nativa le corresponde y definir de manera objetiva los usos permisibles dentro de la misma. En la microcuenca es posible observar algunas defensas longitudinales, urbanización y usos antrópicos (agricultura) en la llanura de inundación del cauce, así como algunos tramos de caminos que circulan de forma paralela al mismo. Implementar estas labores, implica un proceso de gestión y negociación de mayor complejidad, así como la participación de otros organismos gubernamentales distintos al ámbito hidrológico y ambiental, para generar una solución consensada que permita la remoción o reubicación de infraestructura (invernaderos, cultivos, corrales, viviendas, etc.) y la transición hacia parques lineales fluviales ya sean urbanos o rurales. Sin embargo, Ollero (2015) aclara que

este procedimiento supone dificultades complejas y puede conducir a intervenir ciertos espacios con obstáculos nocivos puntuales.

C) Recuperación de áreas afectadas por extracciones y Dragado selectivo (RED)

Las extracciones y dragados se pueden generar con finalidades vinculadas a prácticas de minería, en este caso en particular, el cauce principal de La Laborcilla, presenta excavaciones puntuales derivadas de formas adaptativas de la población para abastecimiento hídrico en tiempo de sequía, al propiciar la acumulación del caudal líquido del cauce en las pozas artificiales y obtener algunos aportes desde la zona hiporréica. Este tipo de actividades genera alteraciones en el transporte de sedimentos, en la geomorfología del cauce y provoca riesgos de contaminación al acuífero. En este sentido se precisa su restauración mediante el aporte planeado de sedimentos desde otros sectores o en caso de ser pertinente permitir una rehabilitación pasiva, sin embargo se requiere vigilar que las perforaciones sean suspendidas y complementar el procedimiento con otras prácticas en las superficies terrestres en zonas prioritarias o específicas en el sitio que permitan mejorar el funcionamiento hidrológico de la cuenca en un sentido superficial pero también subterráneo, que a su vez resulta propicio para mejorar el abastecimiento local.

Por otra parte, existen sectores funcionales en la microcuenca, que precisan dragado selectivo, donde se han acumulado sedimentos de forma excesiva debido al aporte externo desde las superficies desprovistas de vegetación en las vertientes del valle, situación que, en este caso, también incide en el funcionamiento hidrológico del cauce. En este sentido, se indica que este procedimiento debe ser ejecutado cuidadosamente y mantener o reproducir la morfología original del cauce, por otra parte, en caso de ser posible, el material dragado puede transportarse a zonas donde se presenten problemas de incisión o déficit sedimentario. Estos procedimientos deben ser acompañados simultáneamente de la implementación de prácticas de restauración en las superficies terrestres que generan el aporte excesivo de materiales sólidos.

D) Revegetación y Creación de Hábitats (REVHA)

Dentro de los impactos de mayor significancia en términos de la calidad de los sistemas fluviales de la microcuenca, la pérdida de vegetación y destrucción del hábitat en los corredores riparios constituyen una alteración constante, que precisa un conjunto de prácticas de rehabilitación que resulta complementario a las tres implementaciones anteriormente señaladas.

Para lograr un proceso adecuado, el manual propone un sistema de franjas riparias, donde la primera etapa requiere la naturalización morfológica y topográfica del corredor, posteriormente, la preparación del suelo y finalmente la plantación de especies propias del sitio, o con características que permitan recuperar diversas funciones ecológicas, también considerando la ubicación altitudinal de cada sector funcional del cauce (Tabla 41), esta etapa, según las características climáticas o hidrológicas del sitio pueden requerir de riego.

La modalidad de revegetación de los corredores riparios de La Laborcilla, se dirige principalmente a recuperar su funcionalidad ecosistémica. Al respecto de la estabilización o diseños orientados a generar beneficios exclusivamente antrópicos, Ollero (2015) indica que, pueden simplificar el cauce o propiciar la propagación de especies alóctonas. Considerando las recomendaciones, es necesario discurrir sobre las características de cada sector y determinar los espacios que requieren una revegetación densa o una naturalización que considere el comportamiento geomorfológico propio del sistema y permita un comportamiento más dinámico. Esta práctica además de devolver funcionalidad en distintos procesos hidrológicos, permite el aumento de la biodiversidad.

Tabla 41. Esquema de revegetación del corredor ripario de La Laborcilla

<i>Rango altitudinal</i>	<i>Géneros sugeridos</i>
>2900	<i>Pinus</i>
2900-2700	<i>Pinus-Quercus</i>
2700-2500	<i>Quercus-Pinus</i>
2500-2400	<i>Quercus-Cedrus-Arbutus</i>
2400-2300	<i>Cedrus-Juniperus-Quercus-Alnus-Arbutus</i>
<2300	<i>Salix- Dodonaea</i>

Fuente: Elaboración propia

E) Eliminación de fuentes de Contaminación difusa y puntual (ECO)

El desarrollo urbano y diversas actividades (principalmente agricultura y ganadería) presentes en la microcuenca generan descargas residuales y producen alteraciones en las características físico-químicas del agua, la situación precisa identificar los puntos de descarga e implementar soluciones ante la ausencia de drenaje sanitario en diversos puntos de las comunidades, de lo cual, es posible observar algunas soluciones basadas en la naturaleza como el desvío de las descargas hacia humedales artificiales pero también la implementación de infraestructura de tratamiento y uso de otras técnicas o tecnologías ya sean físicas, químicas o biológicas, entre otras.

Por otra parte, solucionar la problemática de contaminación difusa, en correlación con otras prácticas expuestas anteriormente implica el ordenamiento que determine usos compatibles con las cualidades naturales del sistema, en las llanuras de

inundación y corredores riparios (Blackwell *et al.*, 2006) y en este caso, también de vertientes y cauces tributarios de ordenes inferiores que se localicen en áreas de influencia donde se desarrollen actividades con potencial para generar alteraciones. A su vez, en caso de ser aplicable, es necesario reducir el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos y optar por otras alternativas agroecológicas.

Para generar implementar las prácticas sugeridas, se pueden considerar las siguientes etapas: 1) Con base a los resultados de los análisis, seleccionar los sectores funcionales del cauce principal de la microcuenca y de los cauces principales de cada UdE a ser intervenidos. 2) Realizar estudios complementarios que permitan identificar con mayor detalle características específicas de cada sector (análisis granulométrico, mediciones topográficas, perfiles longitudinales, caracterización vegetal). 3) Delimitar espacialmente bajo criterios hidrogeomorfológicos los sectores funcionales seleccionados considerando también la anchura real, potencial o definida bajo criterios objetivos de los corredores riparios, reservar la delimitación con *buffers* de anchura consistente para cauces de orden inferior o con dificultades para su determinación mediante otros criterios. 4) Generar un esquema de manejo y rehabilitación de cauces (Tabla 42), asignando las prácticas adecuadas de rehabilitación, considerando las alteraciones específicas de cada sector del cauce en cada UdE, también considerando prácticas sobre las superficies terrestres asociadas a impactos en los ecosistemas riparios

Tabla 42. Ejemplo de prácticas sugeridas por sector funcional.

UdE	Sector funcional	Componente Funcional Impactado	Práctica Sugerida	Prácticas procedimientos o asociados	Indicadores
UDE-S	SF1	RQA, PH, CH, RH, RT	DDD, REVHA, ECO	GYP	IWI _{i,w} IWI IHG
UDE-S	SF2	RQA, PH, CH, RH, RS, RT	DDD, REVHA, ECO	GYP	IWI _{i,w} IWI IHG
UDE-NE	SF12	RQA, PH, CH, RH, RS, RT	RED, REVHA	RS	IWI _{i,w} IWI IHG
UDE-N	SF4	PH, CH, RH, RS	EV, REVHA		IWI _{i,w} IWI IHG

Fuente: Elaboración propia

9.3 Desarrollo socioambiental para la sustentabilidad

La condición degradadas de La Laborcilla y de otras microcuencas se puede observar como la consecuencia de las interacciones negligentes entre el humano y los ecosistemas, mismas que surgen de perspectivas sesgadas o inadecuadas para el correcto funcionamiento ecosistémico, situación que hace evidente la falta o pérdida de conocimiento y principios éticos sobre el uso adecuado de los componentes ambientales, circunstancia que a su vez germina como secuela de la expansión de sistemas políticos y económicos de naturaleza antropocéntrica que se han configurado en distintas etapas de la historia humana. En términos de estos sistemas que surgen como producto de la modernidad y que, de forma convencional se pueden observar como dicotómicos, por ejemplo: capitalismo-socialismo, se ha demostrado que independientemente de sus contrastes en diversas configuraciones, su expansión ha resultado corrosiva en términos ambientales y también han resultado inductores de diversas disfunciones sociales que se presentan como el resultado de la implementación de formas de organización condicionadas hacia objetivos principalmente productivos y utilitarios para mantener la propia estructura de determinado sistema. Tal circunstancia es visible en el contexto regional, siendo que socialmente se han empobrecido las formas de organización propicias para generar vínculos que complementen diferencias, gocen de objetivos comunes y se rijan mediante configuraciones del comportamiento específicas para un aprovechamiento ecosistémico adecuado.

A) Cohesión y organización social

Además de la implementación factual de técnicas y métodos afines a la gestión y manejo integrado de cuencas en los instrumentos de ordenamiento y el diseño de prácticas de manejo apropiadas a las circunstancias biofísicas de la microcuenca, se precisa de una serie de elementos articuladores que permitan facilitar la implementación de los procedimientos anteriormente expuestos. La complejificación social, requiere formas de organización que conciban una diferenciación complementaria, capaz de generar o mejorar vínculos sociales, en este sentido, la sociedad se puede concebir como un conjunto de configuraciones que regula mediante distintos mecanismos, las interacciones entre los sujetos (De la Paz-Mellado, 2000), en el sentido más básico, para posibilitar o asegurar su supervivencia. Durkheim y Parsons (citados en Giddens, 2000) explican que, para que las sociedades tengan una existencia prolongada en el tiempo, sus sectores sociales especializados, por ejemplo: político, religioso, familiar, entre otros, deben trabajar armónicamente, lo cual depende de la cooperación que a su vez se fundamenta en un consenso general sobre una serie de principios básicos.

En la microcuenca La Laborcilla es posible identificar algunos sectores diferenciados, por ejemplo, el sector productivo inclinado principalmente a las actividades pecuarias, por otra parte, propietarios privados, que mantienen el

control de áreas importantes en el sitio, así mismo un conjunto de autoridades locales que, en términos del uso del territorio manifiestan posturas opuestas por una parte al tratar de mantener el control de forma local o por el contrario requerir la intervención de autoridades municipales o de otros órdenes de gobierno, los cuales también componen otro sector importante para el control del sitio y sin embargo su presencia resulta intermitente. Por lo tanto, es necesario armonizar ciertos intereses y trazar objetivos comunes de manera formal entre los sectores mencionados para lograr efectuar las implementaciones sugeridas en el instrumento de ordenamiento y las prácticas de manejo anteriormente mencionadas.

Debido a las características del sitio y las situaciones mencionadas, es posible la institucionalización de un Consejo de Microcuenca y la implementación de un modelo de desarrollo local, considerando las observaciones y sugerencias de los representantes de los distintos gremios de la comunidad. Además, la formulación de la propuesta requiere una delimitación apropiada en múltiples sentidos, por lo cual es posible tomar en cuenta elementos pertinentes de algunos modelos que abonan a los procesos de gobernanza ambiental, en este caso, los principios identificados por Ostrom (2005) (en Vélez, 2009), resultan adecuados: (1 Definición clara de los límites; (2 Diseño de reglas consistentes con las condiciones ecológicas; (3: Arreglos de decisión colectiva; (4 Monitoreo; (5 Sanciones graduales; (6 Mecanismos de resolución de conflictos; (7 Reconocimiento mínimo de los derechos para organizarse; (8 Presencia de múltiples niveles de gobierno e instituciones.

El Consejo de Microcuenca requiere la formación de grupos de trabajo especializados para realizar diferentes actividades, estos grupos derivados se pueden organizar de la siguiente manera: 1) Coordinación y concertación; 2) Gestión de recursos; 3) Vigilancia y salvaguarda; y 4) Organización de actividades de rehabilitación/conservación, sin embargo, una aproximación integral para atender las problemáticas de la microcuenca, también precisa la intervención en otras áreas que no se reducen al ámbito meramente ecosistémico, por lo tanto, se propone un grupo adicional: 5) Cultura y educación para la sustentabilidad, considerando este último concepto como un principio y un fundamento que además de generar interés en un tema ambiental también propicia el desarrollo de ideas y acciones dirigidas a fomentar la cohesión entre los habitantes locales del sitio. Con la finalidad de complementar la comprensión de un escenario de cohesión social, como condición necesaria para impulsar un proceso de estabilización o rehabilitación de La Laborcilla se acude a Chan (2006) (en De la Paz-Mellado, 2019) quien define esta idea como:

“Las interacciones verticales y horizontales entre los miembros de la sociedad, que se caracterizan por un conjunto de actitudes y normas que incluyen la responsabilidad, el sentido de pertenencia y la voluntad de participar y ayudar, así como por la expresión de estas conductas” (p.5)

La forma de organización propuesta permite generar mayor confianza, solidaridad y participación por parte de los habitantes y permea varias dinámicas de la vida social, que, a su vez, pueden estar relacionadas a la condición de integridad de la microcuenca.

B) Cultura de la sustentabilidad como fundamento cohesionador

Considerar la idea de sustentabilidad como un eje impulsor del desarrollo social, no solo exige un esfuerzo intelectual, relativo al conocimiento y la planeación, sino una postura ética y política acorde a los requerimientos del sitio, por lo tanto, los participantes de los grupos de trabajo del Consejo de Microcuenca propuesto, ya sean facilitadores, promotores, intermediarios, gestores, negociadores y técnicos en distintas áreas, al desarrollar actividades presenciales en el sitio requieren desenvolverse como integrantes de la comunidad, lo que, supone un proceso de admisión en la misma y precisa un ejercicio ético para desempeñarse como figuras confiables, sensibles y competentes para lograr una posición social que goce de cierto reconocimiento, atribuciones y aceptación, por lo tanto, los sujetos partícipes requieren capacidades y aptitudes para integrar y designar roles con actores locales para colaborar en los procesos de gestión, manejo y cambio, con disposición y compromiso con el bienestar local, como antiguamente se desenvolvía en las comunidades rurales la figura del médico, el clérigo o el maestro.

Para considerar la sustentabilidad como un eje cohesionador, es necesario observar que esta idea se vincula con distintos ámbitos de la vida social, relacionados a la organización, uso y apreciación del territorio, por ejemplo, en la realización de actividades productivas o resignificación de sus elementos, donde pueden surgir algunos referentes tradicionales sobre el manejo de los ecosistemas y cosmovisiones compatibles con una idea de equilibrio, relativa al orden y resiliencia de los sistemas socioambientales. Estas apreciaciones pueden encontrarse aún vivas en la población de la microcuenca, o, por el contrario, constituir elementos obsoletos o sustituidos por nuevas formas de pensamiento y construcciones de ideas y apropiación sobre los ecosistemas. Para conformar con mayor solidez a la propuesta, la idea de sustentabilidad aludida en la iniciativa mencionada no es la del desarrollo sustentable o la noción de sostenibilidad, relacionados a la inalterabilidad de un motor político-económico que concibe los elementos y funciones ecosistémicas como un recurso para el impulso endógeno del mismo sistema, es decir, la perpetuación y la estabilidad de una modalidad económica como sistema de orden político y socioambiental. Como se mencionó al inicio del documento la noción apropiada para este documento se orienta a una idea de sustentabilidad post-desarrollista, relativa al bienestar humano autocontenido y limitado, pero también orientado a la supervivencia en un contexto de crisis socioambiental, con la intención resguardar la integridad ecosistémica y sus

componentes, en otras palabras, a una forma de bienestar que evite de manera activa el transgredir las funciones ecosistémicas.

Los procesos de educación, reflexión y diálogo alrededor de la sustentabilidad permiten integrar o reintegrar al ideario individual y colectivo de los habitantes de La Laborcilla una serie de elementos pertenecientes a distintos ámbitos relativos a la conducta y el pensamiento, enfocados en mejorar la calidad de vida, mediante la colaboración, la justicia ambiental o la revitalización del sentido de pertenencia al territorio, pero también, es posible inculcar este paradigma no solo como una alternativa, sino como un fundamento y principio ético y político forzoso para la supervivencia ante la agudización de la crisis ambiental, en el contexto local importante, en tanto a las problemáticas de abastecimiento hídrico, como ejemplo. Esta forma de culturización o reculturización no solo implica la incorporación de ecotecnias o mejores prácticas de manejo, así mismo la reincorporación sincrética del saber o visiones tradicionales sobre la naturaleza dentro de contextos actuales pueden encontrar rebasados sus horizontes de comprensión del mundo, por diversas circunstancias socioambientales propias de la actualidad y su reincorporación acrítica no es apta para reconfigurar el uso del territorio.

Como se ha comentado, es necesario reconocer que la interacción sociedad-ambiente no es un fenómeno limitado a lo mecánico, a un mero intercambio irracional de materia y energía, sino que este obedece de forma directa o como consecuencia periférica a un objetivo de control y sistematización interna o también externa emanada desde configuraciones y lógicas colectivas o institucionales bajo premisas económicas y políticas, por lo tanto, acciones y planteamientos relativos a fomentar la cohesión social y adoptar una cultura de la sustentabilidad, requieren de un acompañamiento no solo en términos de capacitación en términos de mejores prácticas para el aprovechamiento del territorio, sino que impulsen su apropiación consciente por parte de la población, que permitan generar formas de interacción apropiada entre los mecanismos de control externo e interno y que mejoren la comprensión sobre las relación entre un manejo adecuado, la condición de la integridad de la cuenca el bienestar poblacional y la supervivencia en todos los involucrados.

Las actividades relativas a la idea de cultura y educación para sustentabilidad como elemento cohesionador implican no solo la realización de talleres o cursos de forma esporádica, o procesos ocasionales para la práctica de actividades de divulgación relacionadas a esta temática, las cuales resultan tareas complementarias a un proceso de intervención de mayor intensidad, presencia e involucramiento, necesarios para generar el grado de cohesión y conocimiento deseado para incidir en la transformación de las interacciones socioambientales del sitio. Estas actividades constituyen un proceso que requiere acudir a planteamientos pertenecientes a un amplio especto disciplinar, en dicho sentido se genera posibilidad de diseñar procesos educativos en una modalidad de “educación no formal” que permita a los habitantes del sitio, de distintos sectores y grupos etarios,

reflexionar, dialogar, generar y transmitir conocimientos en un ejercicio efectivamente transdisciplinar, mientras se realizan actividades en campo, donde se pueden considerar recorridos e incluso la implementación de algunas prácticas de manejo, en áreas al aire libre que a su vez se pueden concebir como espacios pedagógicos para el desarrollo simultáneo de actividades teórico-prácticas. En este proceso es posible tomar como referencia algunos casos y experiencias como el modelo de desarrollo implementado mediante el Centro Regional de Capacitación en Cuencas en la microcuenca La Joya, Querétaro.

La trascendencia de estos aspectos para la reconfiguración de la microcuenca como sistema socioambiental, conlleva a los habitantes de la microcuenca a repensar el significado de la interacción no solo con el ambiente y con los otros miembros de su grupo social, sino que el cambio de paradigma se relaciona a la propia reflexión de los propósitos y principios de comportamiento del sujeto de forma individual, lo cual, sin un conjunto de referentes apropiados y un diseño cuidadoso, constituye un proceso de desarrollo limitado y desarticulado del compromiso y responsabilidad requeridos con los objetivos propios de la sustentabilidad. Es así, que estas actividades requieren un esfuerzo colaborativo, donde los principios de la ciencia convergente nuevamente destacan su relevancia y observan su aplicabilidad, en el sentido de la incorporación de distintos aportes disciplinares y la reducción de omisiones al conducir de forma inexperta modelos genéricos de intervención, sin considerar elementos contextuales de la microcuenca y otras variables relevantes específicas del sitio.

Además de lo planteado, es necesario mencionar que las labores del Consejo de Microcuenca propuesto, podrían inicialmente requerir la subvención económica por parte del estado y otras asociaciones para impulsar el desarrollo endógeno de la comunidad en términos de participación, integración y cohesión y por consiguiente al fortalecimiento de procesos relativos a la autonomía, autorregulación, auto gobernanza y sustentabilidad de la microcuenca, pero también en términos de fortalecimiento económico local (donde también es posible considerar distintas propuestas para la diversificación productiva) descentralización y reducción de la dependencia institucional en actividades específicas relativas al manejo del sitio, lo cual resulta una situación adecuada debido a ciertas características en la de organización local en la microcuenca.

10. CONCLUSIÓN

El estudio realizado logró determinar la condición general de integridad de la microcuenca La Laborcilla en términos de sus componentes funcionales, mientras se manifestaron afectaciones particulares que permiten explicar algunas causas de los efectos que inciden en la condición de sus complementos anidados, ya sean unidades de escurrimiento, sectores funcionales o ecosistemas terrestres del sitio. En el sentido de lo planteado es posible determinar que uno o varios sectores funcionales del mismo cauce o múltiples unidades de escurrimiento pueden observar malas condiciones de integridad en determinada función, por ejemplo, regulación química del agua, sin embargo la contaminación o el deterioro de estos sitios, se puede deber a circunstancias completamente distintas, las cuales requieren de una valoración a detalle para lograr los procesos de gestión sectorial, coordinación de actores y manejo técnico específico para cada zona en particular, por lo tanto, el nivel de detalle y especificidad implementado en el análisis goza de importancia para las tareas mencionadas.

Debido a la escala de trabajo utilizada y la forma en que se diseñó el estudio, se esclarecieron a detalle causas primordiales de la problemática y se profundizó en aspectos técnicos sobre las condiciones funcionales de la microcuenca, de lo anterior se observó una situación ventajosa sobre otros estudios similares en escalas de trabajo de mayor dimensión espacial. Esta ventaja consistió en la posibilidad de ahondar en algunas de las causas subyacentes de las condiciones de integridad determinada, ya que, al acudir a indicadores de mayor fidelidad en relación a las condiciones hidrogeomorfológicas y físico-químicas del agua, fue posible observar afectaciones concretas. Así mismo, observar la interacción de estos estresores desde una perspectiva de impactos acumulativos, al considerar su acumulación espacial y sinergias entre los mismos; fue posible esclarecer que múltiples actividades nocivas al funcionamiento ecosistémico de la cuenca, al ser estudiados de manera individual, pueden ser consideradas como afectaciones leves. No obstante, al integrarse en un plano acumulativo, no resultan inocuos hacia las condiciones de integridad, por lo tanto, es de suma importancia atender estas interacciones respecto al estudio de condiciones ecosistémicas en la cuenca, en el plano académico y en los procesos relacionados a la conservación y rehabilitación y en otros aspectos relacionados al diseño de instrumentos de política ambiental.

En términos prospectivos es posible inducir la aplicación del análisis realizado a la totalidad de la Cuenca del Río Querétaro, como un ejercicio científico que permita afinar los aspectos técnicos y metodológicos del estudio en una mayor escala espacial con mayor cantidad de UdE y estresores específicos aún no previstos; y por otro lado, como un ejercicio enriquecedor dirigido a implementar un método útil para mejorar distintos procesos de gobernanza ambiental en otras cuencas de México.

Además de aplicaciones ya mencionadas sobre el estudio, es necesario insistir que la actividad humana no es mecánica y sus actos se derivan de estructuras o configuraciones que influyen en su comportamiento y decisiones sobre el uso de los servicios emanados de las funciones ecosistémicas, si bien, los estresores e indicadores elegidos para el análisis y el diseño del estudio consideran de forma detallada y puntual la influencia de las actividades humanas en cada uno de los complementos funcionales del sistema, se observaron puntos de análisis específicos que en conjunto con los actores locales y algunos tomadores de decisiones, permitieron profundizar en la historia y relación de estas actividades con las dinámicas sociales, económicas, políticas o culturales, es decir la «caja negra» del sistema. En un escenario donde se decida optimizar o integrar nuevos mecanismos de gobernanza ambiental para mejorar las condiciones de integridad de esta u otra cuenca, además de integrar actividades de manejo concretas y considerar una perspectiva de impactos acumulativos, resulta imprescindible profundizar sobre las condiciones socioambientales del territorio.

Observar factores externos al ámbito biofísico de los ecosistemas, no únicamente se vincula al comportamiento de los habitantes de las localidades, sino que se relaciona con la perspectiva e intereses políticos de los tomadores de decisiones. Como fue posible observar, en distintos ámbitos y escalas del espectro gubernativo relativos a la temática ambiental, el conocimiento sobre el funcionamiento ecosistémico resulta limitado o se encuentra enfocado principalmente a satisfacer demandas del mercado inducidas por un mecanismo de control económico externo, en muchas ocasiones ajeno a una visión de bienestar poblacional o integridad ecosistémica. Esta situación resulta evidente cuando políticamente aún se dista de incorporar leyes e instrumentos que protejan de manera efectiva los ecosistemas, aún más al tratarse de ecosistemas riparios o al observar la forma de manejo hídrico dentro del contexto estatal o nacional, situación que también resulta evidente cuando estas políticas se enfocan a lograr condiciones de salud ambiental predefinidas antrópicamente, orientadas a la provisión de servicios ecosistémicos y valoraciones monetizadas, diferenciada de la noción de integridad, complementos funcionales y la valoración intrínseca de los ecosistemas.

Un proceso de cambio dirigido a implementar procesos de gobernanza ambiental eficiente para estabilizar o mejorar las condiciones de integridad de las cuencas en un contexto de crisis socioambiental global requiere soluciones incisivas ante las deficiencias de los sistemas de control que pretenden someter el funcionamiento ecosistémico, por lo tanto es necesario promover no solo el estudio y monitoreo de integridad en las cuencas, sino la implementación de soluciones políticas eficientes y un ejercicio ciudadano de mayor alcance, autonomía y determinación ante la ineficiencia de los mecanismos ya mencionados.

11. LITERATURA CITADA

- Ahn, S. R., & Kim, S. J. (2017). Assessment of integrated watershed health based on the natural environment, hydrology, water quality, and aquatic ecology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(11), 5583–5602. <https://doi.org/10.5194/hess-21-5583-2017>
- Aho, K. B., Flotemersch, J. E., Leibowitz, S. G., Johnson, Z. C., Weber, M. H., & Hill, R. A. (2020). Adapting the index of watershed integrity for watershed managers in the western balkans region. *Environmental Management*, 65(5), 602–617. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01280-x>
- Aho, K. B., Flotemersch, J. E., Leibowitz, S. G., LaCroix, M. A., & Weber, M. H. (2020). Applying the index of watershed integrity to the Matanuska–Susitna basin. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 52(1), 435–449.
- Aho, K., Flotemersch, J., Leibowitz S., LaCroix M.A. y Weber M.H. (2020) Applying the index of watershed integrity to the Matanuska–Susitna basin. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 52:1, 435–449
- Alder, P. A. y Adler, P. (1994). Observational techniques. N. K. Denzin, Y.S. Lincoln: Handbook of qualitative research. (pp. 377–392). Thousand Oaks. CA: Sage.
- Alpert, H. (1986) *Durkheim*. México.
- Ampère, A. M., Sainte-Beuve, C. A., & Littré, É. (1856). *Essai sur la philosophie des sciences: ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*. Mallet-Bachelier.
- Angermeier PL, Karr JR. (1994). Biological integrity versus biological diversity as policy directives: protecting biotic resources. *BioScience* 44: 690–697.
- Arellano Monterrosas, J. L. L. (2005). *Apropiación territorial, deterioro ambiental y gestión de recursos hídricos en la cuenca superior del Río Custepec*, Chiapas. Tesis de maestría. UACH
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta. Fidia G. Arias Odón.
- Aristizábal-Hoyos, P.J. (2016). El mundo de la vida y la intersubjetividad en perspectiva social. Análisis desde el pensamiento de E. Husserl y A. Schutz. Universidad Tecnológica de Pereira. *Acta fenomenológica latinoamericana. Volumen V (Actas del VI Coloquio Latinoamericano de Fenomenología)*, 203–220. Círculo Latinoamericano de Fenomenología. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ashby, W. R. (1956): *An introduction to cybernetics*. London: Chapman and Hall.
- Bachelard, G. (1993). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI.

- Barbour, M.T., J. Gerritsen; B.D. Zinder y J.B. Stribling. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. Segunda edición. EPA 841-B41-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C.
- Barton, D.R., W.D. Taylor y R.M. Biette. (1985). Dimensions of riparian buffer strips required to maintain trout habitat in southern Ontario streams. *North American Journal of Fisheries Management* 5:364-378.
- Belvedere, C. D. (2013) Antes de la ciencia: El sentido común en la obra de Alfred Schutz. Centro de Investigaciones y Estudios sobre Cultura y Sociedad (CIECS). *Astrolabio. Nueva Época*. 10. 6-2013. 30-44.
- Beuchot, M. (2015). Elementos esenciales de una hermenéutica analógica. *Diánoia*, 60(74), 127-145.
- Blann, K., & Kendy, E. (2012). Developing ecological criteria for sustainable water management in Minnesota. Great Lakes Basin Project. *The Nature Conservancy*.
- Boulding, K.E. (1956): General systems theory-the skeleton of science. *Management Science*. 2, 197-208
- Bovero, M. (1998). Los verbos de la democracia. *Este País*, 85, 1-13.
- Brenner, L. y Vargas del Río, D. (2010). Gobernabilidad y gobernanza ambiental en México: La experiencia de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. *Polis*, 6(2), 115-154.
- Bressers, H. y O'Toole L.J.Jr. (2005) Instrument selection and implementation in a networked context. Elidas, P., Hill M.M., Howlett, M. *Designing government. From instruments to governance*. McGill-Queen's University. Montreal. 53, 132.
- Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M., y DeBano, L.F. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds*. (No. Ed. 3). Iowa State University Press.
- Bruner, J. (2006). *Actos de significado: mas alla de la revolución cognitiva*. Alianza, Madrid.
- Brüssow H. (2013). What is health?.health? *Microbial biotechnology*; 6(4): 341–348. National Center for Biotechnology.
- Bulkeley, H. (2005) Reconfiguring environmental governance: towards a politics of scale and networks. *Political Geography*.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., y Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localization, indication and quantification. *Landscape online*, 34, 1-32.
- Calles, J., & López, V. (2012). Guía para implementación de corredores. *Quito: EcoCiencia*. Ecuador.

- Callicott, J.B., Crowder, L.B. y Mumford, K. (1999). Current normative concepts in conservation. *Conservation biology*, 13(1), 22-35.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2007). *Estudio Regional Forestal Región Centro "Semidesierto"*
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2007). *Estudio Regional Forestal Región Sur "Lerma-Otomí"*
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). Gerencia de Calidad del Agua. Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua. Indicadores de la calidad del agua superficial y subterránea 2021
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2018). Listado de Áreas Importantes para las Aves AICA. México. Consultado en <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicaslista.html>
- Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas (CEIEG). (2013). Mapas Temáticos Regionales. Región III – Mezcalapa
- Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ). (2013). *El Sistema de Agua en la Región Querétaro de la Cuenca Lerma – Chapala*.
- Costanza, R. y Mageau, M. (1999). What is a healthy ecosystem?. *Aquatic ecology*, 33(1), 105-115.
- Cotler H. (2020). La sustentabilidad del agua: entre la integridad y la gobernanza de las cuencas. *Argumentos, Estudios Críticos De La Sociedad*, 2(93), 41-55. <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/202093-0>
- Cotler H. (Coord.) (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT - Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., México D.F
- Cueto-Espinosa E. (2019). *Análisis de la integridad ecohidrológica en un municipio de la región Istmo-Costa de Chiapas: caso subcuenca del río Zanatenco*. Tesis. México.
- De la Paz-Mellado, V. (2019). *Definición del concepto de integración social*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Doiron, T. (2007). 20 C—A Short History of the Standard Reference Temperature for Industrial Dimensional Measurements. *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, 112(1), 1.

- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Rios, A. F., Simó, R. & Valladares, F. (2006). *Cambio Global: Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*. Colección Divulgación, CSIC.
- Easton, D. (1957). An approach to the analysis of political systems. *World politics*, 9(3), 383-400.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *Water: Monitoring & Assessment. 5.9 conductivity*.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2013). *California integrated assessment of watershed health*.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2015). *Tennessee integrated assessment of watershed health*.
- Equihua Zamora, M., G. Benítez, Pérez Maqueo, O., Hernández Huerta, A., García Alaníz, N., Equihua Benítez, J., Maeda, P., Kolb, M. y Schmidt, M. (2015). Integridad ecológica para la gestión de la sustentabilidad ambiental frente al cambio climático. En: Yáñez-Arancibia, A. (ed). 2015. *Cambio Climático, Mitigación y Adaptación hacia Agendas Siglo XXI*. AGT Editor S.A. de C.V. INECOL. México.
- Espinal-Gamarra J. Y. (2017) *Relaciones Industriales y Ciencias de la Comunicación*. Tesis Facultad de Psicología. Universidad Nacional de San Agustín.
- Etymonline.com. (2020). Online Etymology Dictionary. http://etymonline.com/index.php?allowed_in_frame=0&search=integrity. (8/18/20).
- Fischer-Kowalski, M. (1998). Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I, 1860 - 1970. *Journal of Industrial Ecology* 2(1): 61-78.
- Flanagan, K., Uyarra, E., Laranja, M. (2011) Reconceptualising the 'policy mix' for innovation. *Res Policy* 40(5):702–713
- Flotemersch, J., Leibowitz, S., Hill, R., Stoddard, J., Thoms M. y Tharme R.. (2015). A Watershed Integrity Definition and Assessment Approach to Support Strategic Management of Watersheds. *River Research and Applications*. John Wiley & Sons Incorporated.
- Fuller S. (2003). *Interdisciplinarity: the loss of the heroic vision in the marketplace of ideas. Prepared for Rethinking Interdisciplinarity*. Interdisciplines, Paris
- Gaspari, F.J., Rodríguez, V.A.M., Senisterra, G.E., Delgado, M.I., & Besteiro, S.I. (2013). *Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Grupo de manejo de cuencas hidrográficas*. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Universidad Nacional de La Plata. La Plata. Argentina.

- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I., Rodríguez, V.A.M. y Besteiro, S.I. (2010). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Grupo de manejo de cuencas. Segunda edición. La Plata. Argentina.
- Giddens, A. (2000). *Manual de sociología*. Madrid. Alianza Editorial.
- Glasstone, S. (1979). *Tratado de Química Física (7a ed.)*. Madrid. España. Aguilar Ediciones.
- Gómez Sánchez, M. (1997). *Flora vascular del cerro El Zamorano*. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L002. México, D.F.
- González-Cadena, J.L. (2020). *Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Regional del camino Pocitos – La Laborcilla, tramo del km 0+000 al km 10+657.76, en el Municipio de El Marqués*. Querétaro.
- González de Molina, M., Toledo V M., (2011). *Metabolismos, naturaleza e historia: hacia una teoría socio-ecológica de las transformaciones*. Barcelona. Icaria editorial.
- Graff, H.J. (2016). *Undisciplining knowledge: Interdisciplinarity in the twentieth century*. JHU Press
- Gregoire, J. (2018). Overcoming obstacles to creativity in science. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 35, 229-236.
- Habermas, J. (1994). Teoría de la acción comunicativa: complementos y estudios previos. Madrid. Cátedra. *Teorema: International Journal of Philosophy*.
- Hamilton, L.S., Dudley, N., Greminger, G., Hassan, N., Lamb, D., Stolton, S., y Tognetti, S. (2009). Estudio temático elaborado en el ámbito de la evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. *Los bosques y el agua. FAO: Montes N° 155*.
- Hansen, B., Reich, P., Lake, P. S., & Cavagnaro, T. (2010). Minimum width requirements for riparian zones to protect flowing waters and to conserve biodiversity: a review and recommendations. *Monash University, Melbourne*.
- Hansen, R., Howel, W., y Gunter, S. (2005). *Ex Lux Terminus: orígenes, dinámicas y el colapso del apogeo preclásico en la Cuenca Mirador-Calakmul*. III Congreso Internacional de la Cultura Maya. Mérida.
- Hargrove, W. L., Sheng, Z., Granados, A., Heyman, J. M., & Mubako, S. T. (2021). Impacts of Urbanization and Intensification of Agriculture on Transboundary Aquifers: A Case Study. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 57(1), 170-185.
- Heathcote, I.W., 2009. *Integrated Watershed Management: principles and practice 2nd ed.*, John Wiley & Sons.

- Henao, S.J.E. (2006). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Santo Tomás. Bogotá.
- Homer, C., Dewitz, J., Yang, L., Jin, S., Danielson, P., Xian, G., ... y Megown, K., (2011). Completion of the 2006 National Land Cover Database for the conterminous United States. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 77, 9, 858-863.
- Husserl, E. (1985). *Investigaciones lógicas*. Alianza Editorial.
- ICF International. (2010). *Greater Oregon City Watershed Assessment*. (ICF Project 00223.09.) Portland, OR. Prepared for the Greater Oregon City Watershed Council, Oregon City, OR.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1 000 000. Serie I (Sistema topoformas) (México).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). *Guía para la interpretación de cartografía: climatológica*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Querétaro.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Continuo De Elevación Mexicano CEM 3.0.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Características de las localidades y del entorno urbano.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Guía para la interpretación de la cartografía Edafología. escala 1:250 000: serie III*. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica Escala 1:20000, Serie III.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por localidad (ITER)
- INTECISA, AIC, CNR. (1993) Plan Director Global Binacional de Protección P. D. G. B. *Prevención de inundaciones y aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Rio Desaguader, Lago Poopo Y Lago Salar De Coipasa (Sistema TDPS)*.
- Johnson, Z. C., Leibowitz, S. G., & Hill, R. A. (2019). Revising the index of watershed integrity national maps. *Science of The Total Environment*, 651, 2615–2630. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.112>

- Kandziora, M., Burkhard, B., & Müller, F. (2013). Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological Indicators*, 28, 54–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.006>
- Karr JR, Chu EW. (1999). *Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring*. Island Press: Washington, DC.
- Karr, J. R., (1996). Ecological integrity and ecological health are not the same. Pp. 97-109, In: Schulz, P. (ed.) *Engineering Within Ecological Constraint*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Kaufmann-Hayoz, R., Bättig, C., Bruppacher, S., Defila, R., Giulio, A. D., Flury-Kleubler, P., ... & Wichtermann, J. (2001). A typology of tools for building sustainability strategies. *Changing things—Moving people* (pp. 33-107). Birkhäuser, Basel.
- Kay, J.J. (1991). A nonequilibrium thermodynamic framework for discussing ecosystem integrity. *Environmental Management*.
- Kleiss, B., Lin, J.P., y Smith, R. (2008). *Using a Multi-Scale Assessment of Watershed Integrity (MAWI) Approach for Establishing Baseline Conditions in Watersheds*. Environmental Laboratory. U.S. Army Engineer Research and Development Center
- Krejcie, R. V. y Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607–610.
- Kuhn, A., Leibowitz, S. G., Johnson, Z. C., Lin, J., Massie, J. A., Hollister, J. W., Ebersole, J. L., Lake, J. L., Serbst, J. R., James, J., Bennett, M. G., Brooks, J. R., Nietch, C. T., Smucker, N. J., Flotemersch, J. E., Alexander, L. C., & Compton, J. E. (2018). Performance of national maps of watershed integrity at watershed scales. *Water*, 10(5), 604. <https://doi.org/10.3390/w10050604>
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions* (p.24). Chicago: University of Chicago Press.
- Kutschker, A., Brand, C., & Miserendino, M. L. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología austral*, 19(1), 19-34.
- Laigle, I., Moretti, M., Rousseau, L., Gravel, D., Venier, L., Handa, I. T., ... y Aubin, I. (2021). Direct and indirect effects of forest anthropogenic disturbance on above and below ground communities and litter decomposition. *Ecosystems*. 24(7), 1716-1737.
- Lathrop, R. G., Tulloch, D. L., y Hatfield, C. (2007). Consequences of land use change in the New York–New Jersey Highlands, USA: Landscape indicators of forest and watershed integrity. *Landscape and Urban Planning*, 79(2), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.008>

- Leopold, A. (1968). *A Sand County Almanac, and Sketches Here and There Sketches Here and There*. Oxford University Press.
- Levin, S. A. (2005). Self-organization and the Emergence of Complexity in Ecological Systems. *BioScience*. 55(12), 1075-1079.
- Lira, Andrés. (1990). "Los bosques en el virreinato (apuntes sobre la visión política de un problema)". *Relaciones*. 11, 41: 117-127.
- López Montiel, Á. G. (2008). Las teorías de sistemas en el estudio de la cultura política. *Política y cultura*, (29), 171-190.
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C., y Cecon, E. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88 97-112. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>
- Lorenzón, Emilio. (2020). *Sistemas y Organizaciones: Parte I: Teoría General de Sistemas Aplicada. Parte II: Las organizaciones. Su funcionamiento como sistema*. 10.35537/10915/99629.
- Lotka, A. J. (1925). *Elements of Physical Biology*. Williams and Wilkins. Baltimore.
- Mageau MT, Costanza R, Ulanowicz RE. (1995). The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health. *Ecosystem Health* 1: 201–213.
- Margalef, R. (1978). *El ecosistema como sistema cibernético*. Blume
- Martínez-Alier, J. (2003). Ecología industrial y metabolismo socioeconómico. *Economía industrial*, 351(3), 15-26.
- Maruyama, M. (1963). The second cybernetics: Deviation-amplifying mutual causal processes. *American scientist*, 51(2), 164-179.
- Masís-Campos, R. y Vargas Picado, H. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Revista Reflexiones*, 93(1), 33-46.
- Matthews, K., Eddy, M., Jones, P., Southerland, M., Morgan, B., y Rogers, G. (2015). *Tennessee Integrated Assessment of Watershed Health: A Report on the Status and Vulnerability of Watershed Health in Tennessee*. EPA-841-R-15-002. RTI International, Research Triangle Park, NC, and Versar for US Environmental Protection Agency, Healthy Watersheds Program. Washington.
- Meli, P., Ruiz, L., Aguilar, R., Rabasa, A., Rey-Benayas, J. M., y Carabias, J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera y bosques*, 23(1), 181-193.
- Mel'nikov, V. P. (2001). *Permafrost response on economic development, environmental security and natural resources*. Springer Science & Business Media.

- Mijangos-Carro, M., Bravo-Inclán, L., Sánchez-Chávez, J., Aguilar-Garduño, E., Gallardo-Almanza, P., González-Villela, R. y Morales-Pérez, R. (2017). *Análisis de la integridad hidroecológica de una cuenca con presión hídrica*. IMTA
- Moreno, G.F.A. y Esquivel, J.J.R. (2015). *Estudio morfométrico de la cuenca del río Azul, afluente del río Calima, Departamento del Valle del Cauca*. Tesis. Facultad Tecnológica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia
- Moscoso, C. (2007). *Cambios en los Usos y Coberturas de Suelo y sus Efectos sobre la Escorrentía Urbana. Valparaíso y Viña del Mar, periodo 1980-2005*. Tesis. Santiago.
- Murdock, G. P. (1989). *Guía para la clasificación de los datos culturales*. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa.
- Musalem, K., Jiménez, F., McDonald, M.A. (2013). A rapid assessment tool for integrated watershed management: a case study from La Plata river basin in South America. *Aqua-LAC*. 5. 31.
- National Research Council. (2014). *Convergence: Facilitating transdisciplinary integration of life sciences, physical sciences, engineering, and beyond*.
- Navarro, José. (2001). *Las Organizaciones como Sistemas Abiertos Alejados del Equilibrio*. 10.13140/2.1.3858.5927.
- Neary, D. G. (2000). Changing perceptions of watershed management from a retrospective viewpoint. *Land stewardship in the 21st century: the contributions of watershed management*. 167-176.
- Noss, R. F. (1990). Monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4(4): 355-364.
- Ojeda, A. O., Ferrer, D. B., Bea, E. D., Mur, D. M., Fabre, M. S., Naverac, V. A., ... y Gil, N. S. (2007). Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *geographicalia*, (52), 113-142.
- Ollero, A, y Ballarín D. y Mora, D. (2009). *Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2007). *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. Roma
- Paloniemi, R y Vainio, A. (2014). Understanding environmental heuristics: Trust and dialogue. *Transdisciplinary Sustainability Studies* (pp. 174-190). Routledge.
- Pardo A. (1997). ¿Qué es la salud? *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*. 1997;41(2):4-9. Departamento de Bioética. Universidad de Navarra.

- Pereira, R. (2011). *Gobernanza del sistema tierra: viejas respuestas y nuevos interrogantes*. Amazonia Colombia, imaginario y realidades. Cátedra Abierta Jorge Eliécer Gaitán.
- Perevochtchikova, M. (2008). Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(3), 313-325.
- Pérez-Munguía, R. M., Pineda-López, R. y Medina-Nava, M. (2007). Integridad Biótica de Ambientes Acuáticos. En Sánchez, O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. *Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México*. SEMARNAT, INE, USFWLS, Unidos para la Conservación A.C. y UMSNH: 71- 111.
- Poder Ejecutivo Del Estado De Querétaro. (2018). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local de El Municipio de Colón*. Qro.
- Poder Ejecutivo Del Estado De Querétaro. (2018). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local de El Municipio de El Marqués*. Qro.
- Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro. (7 de febrero de 2003). *Periódico Oficial de Gobierno del Estado "La Sombra de Arteaga"*.
- Pourbaix, M. (1974). Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solution. *NACE*
- Pruitt, B. A., Killgore, K. J., Slack, W. T., & Matuliauskaite, R. (2020). *Formulation of a multi-scale watershed ecological model using a statistical approach*. Environmental Laboratory (U.S.). <https://doi.org/10.21079/11681/38862>
- Qi, H., Altinakar, M. (2013). Integrated watershed management with multi-objective land-use optimizations under uncertainty. *Journal of irrigation and drainage engineering* 139(3):239–243
- Queralt, R. (1982). La calidad de las aguas en los ríos. *Tecnología del agua*, 4, 49-5
- Rapport, D. J., Costanza, R. y McMichael, A. J. (1998). Assessing ecosystem health. *Trends in ecology & evolution*, 13(10), 397-402.
- Real Academia Española (2020). Diccionario de la lengua española, 23.^a ed <https://dle.rae.es/salud?m=form> s (8/18/20).
- Registro Agrario Nacional (RAN). (2020). Consultado en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado--formato-shape>
- Reichardt K, Rogge K (2015) How the policy mix and its consistency impact innovation: findings from company case studies on offshore wind in Germany. *Working Paper Sustainability and Innovation* (7):1–37
- REPDA-CONAGUA. Base de datos del Registro Público de Derechos de Agua. (2021). Querétaro. México: Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <https://cartocritica.org.mx/2015/industrias-extractivas/>

- Riechmann, J. (2014). *Un buen encaje en los ecosistemas. Segunda edición (revisada) de Biomímesis*. Madrid. Los Libros de la Catarata.
- Rivas-Solórzano, H. (2018). *Manual para la implementación de programas de monitoreo comunitario de la calidad del agua*. UNAM. CIGA
- Rodrigues, J. M. G. (2015). Cultural services in aquatic ecosystems. *Ecosystem Services and River Basin Ecohydrology* (p. 35-56). Springer.
- Romero, H. y Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *Eure* . 31(94) 97-117.
- Romero, L. (2009). *Estimación de la evolución temporal de la escorrentía superficial en distintas condiciones de uso del suelo en la Cuenca del Arroyo Itacaruaré. Provincia de Misiones, Argentina*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Ross N., Eyles J., Cole D., Iannantuono A. (1997). The ecosystem health metaphor in science and policy. *The Canadian Geographer* 41: 114–127. DOI:10.1111/j.1541-0064.1997.tb01152.x.
- Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Quintana Martínez, R. M., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., Y Rey Burciaga, N. I. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 139-150.
- Russell, G. M., y Kelly, N. H. (2002, September). Research as interacting dialogic processes: Implications for reflexivity. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research* (Vol. 3, No. 3).
- Russo, Josefina & Russo, Ricardo. (2009). In dubio pro natura: un principio de precaución y prevención a favor de los recursos naturales. *Tropical Science*. 5. 23-32.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa, México.
- Sawyer, C.H. (1960). *Chemistry for Sanitary Engineers*. McGraw-Hill.
- Schatzman, L. y Strauss, A. (1973). *Field research. Strategies for a natural sociology*, Prentice-Hall.
- Schutz, A. (1962). *Common-sense and scientific interpretation of human action*. Collected papers I. Springer.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). (1989). CE-CCA-001/89 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación 13 de diciembre de 1989.
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT). (2020). Inventario de Fauna Área Natural Protegida Pinal del Zamorano V.2.04.20. Guanajuato.

- Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (SMN-CNA). (2021). Normales Climatológicas. Estaciones climatológicas: 22049, 22026, 22068, 22046, 11167, 11066, 11144. México
- Sigler, A., y Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS, 20, 2012-11.
- Sistema Nacional de Información del Agua de la Comisión Nacional del Agua (SINA-CONAGUA). (2020). Regiones Hidrológicas. Consultado en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=regionesHidrologicas>
- Stein U., Özerol G., Tröltzsch J., Landgrebe R., Szendrenyi A., Vidaurre R. (2016) European Drought and Water Scarcity Policies. In: Bressers H., Bressers N., Larrue C. (eds) *Governance for Drought Resilience*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29671-5_2
- Strahler, A. N. (1957). *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. *Transactions of the American Geophysical Union*. 38:913-920.
- Taylor, S. y Bogdan, R. (1987) *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: la búsqueda de significados*. Barcelona. Paidós.
- Thornbrugh, D., Leibowitz, S.G., Hill, R., Weber, M., Johnson, Z.C., Olsen, A., Flotemersch, J., Stoddard, J., y Peck, D.V. (2018). Mapping watershed integrity for the conterminous United States. *Ecological indicators*, 85, 1133-1148.
- Toledo, U. (1998). La epistemología según Feyerabend. *Cinta moebio*. 4: 102-127
- Torres-Olvera, M. J. (2018). *Integridad ecológica como una herramienta de evaluación en cuencas hidrográficas. Caso de estudio Microcuenca del Río Jalpan*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Unnasch, R., Braun. D., Comer. P., y Eckert. G. (2018). The Ecological Integrity Assessment Framework: A Framework for Assessing the Ecological Integrity of Biological and Ecological Resources of the National Park System (Version 1.1). *Report to the National Park Service*.
- Valdez, D. (2017). Denuncian alta contaminación en Río Querétaro. El Universal. <https://www.eluniversalqueretaro.mx/metropoli/25-05-2017/denuncian-alta-contaminacion-en-rio-queretaro>
- Valles, M. S. (2003). *Técnicas cualitativas de investigación social*. Madrid: Síntesis Editorial.
- Verma, S. y Carrasco-Núñez, G. (2003). Reappraisal of the Geology and Geochemistry of Volcán Zamorano, Central Mexico: Implications for Discriminating the Sierra Madre Occidental and Mexican Volcanic Belt Provinces. *International Geology Review*, 45(8), 724-752.

- Virginia Department of Conservation. (2017) Virginia Conservation Vision: Watershed Model. 2017 Edition. Natural Heritage Technical Report 18-16.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., & Innes, J. L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, 27(5), 967-994.
- Whittembury, G., y Whittembury, J. (1957). Ecuaciones Empíricas (Ejemplos Biológicos). *Anales de la Facultad de Medicina*. 40(2), 315. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Williams, Thomas D. y Jan Olof Bengtsson, "Personalism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/personalism/>
- Williamson, J. E. y Carter, J. M. (2001). *Water-quality characteristics in the Black Hills area, South Dakota (No. 1)*. US Department of the Interior. US Geological Survey.
- Zedler, J. B. (2003). Wetlands at your service: reducing impacts of agriculture at the watershed scale. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 1(2), 65-72.
- Zimdahl, R. L. (2012). *Agriculture's Ethical Horizon*. Academic Press. Elsevier. Londres.

12. ANEXOS

12.1 Descriptivo de parámetros físico-químicos del agua IQA(m)

Parámetro	Descriptivo	Rango de medición
Acidez	La acidez se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de disociación generan el ión hidronio (H_3O^+), como son los ácidos fuertes, ácidos débiles y de fuerza media (NMX-AA-036-SCFI-2001)	0 a 100 mg/l (ppm)
Dureza	La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. (NMX-AA-072-SCFI-2001)	0.0 a 30.0 mg/l (ppm)
pH	Indica la concentración de iones de hidrógeno. La actividad, tanto química como biológica, es distinta en diferentes valores de este parámetro siendo la diferencia más notoria cuando se oscila entre valores muy altos y muy bajos	0.00 a 14.00 pH
Oxígeno Disuelto	Cantidad de oxígeno disuelto en el agua, se requiere por formas superiores de vida acuática para sobrevivir. (Williamson y Carter, 2001)	0 a 10 mg/l (ppm)
Nitratos	El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas. El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos. (NMX-AA-079-SCFI-2001)	0 a 50 mg/l (ppm)
Fosfatos	El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas. (NMX-AA-029-SCFI-2001)	0 a 5 mg/l (ppm)
Sólidos Disueltos Totales	Es la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua (tamaño inferior a 2 micrones). Es clasificado como un contaminante secundario por la Agencia de Protección Ambiental de los EU (USEPA). (Sigler y Bauder, 2017)	0 a 2000 ppm
Conductividad eléctrica	La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia, y concentraciones relativas, así como de la temperatura. (NMX-AA-093-SCFI-2000)	0 a 3999 $\mu S/cm$
Dióxido de carbono	Importante en reacciones que controlan el pH de las aguas naturales. (Williamson y Carter, 2001)	0 a 10 mg/l (ppm)
Temperatura del agua	La temperatura no solo impacta en la actividad biológica, sino también en la actividad química del agua, pues la temperatura es un factor determinante en el suministro de energía al sistema. (Glasstone, 1979)	0.0 a 60.0 °C

12.2 Descriptivo de parámetros del IHG

<i>Parámetro</i>	<i>Descriptivo</i>	<i>Rango de valoración</i>
<i>Disponibilidad y movilidad de sedimentos</i>	Volumen y capacidad de transporte de materiales sólidos de manera natural.	1 al 10 según las alteraciones de origen antrópico sobre la cantidad y distribución del caudal.
<i>Naturalidad del régimen de caudal</i>	Comportamiento del caudal que corresponde a las entradas de agua en la cuenca y su distribución en la red de drenaje, considerando los rasgos del medio natural de la cuenca.	1 al 10 según el porcentaje de la cuenca con retención y grado de alteración que afecte el transporte de sedimentos.
<i>Funcionalidad de la llanura de inundación</i>	Regulación de los caudales de crecida, reduciendo su energía y favorece las conexiones ecológicas entre cauce y riberas.	1 al 10 según el porcentaje de defensas longitudinales, obstáculos o impermeabilización presentes en la llanura de inundación del sector funcional.
<i>Naturalidad del trazado y de la morfología en planta</i>	Forma natural del cauce resultante de los procesos geomorfológicos en la cuenca (pendiente, caudal, tipo de roca, etc.) que constituye un indicador básico de naturalidad del sistema fluvial.	1 al 10 según el porcentaje y tipo de modificaciones sobre la morfología natural del cauce del sector funcional.
<i>Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales</i>	Referente a la continuidad del cauce como forma del relieve y la naturalidad del lecho.	1 al 10 según el porcentaje, tipo de infraestructura y modificaciones presentes en el sector funcional.
<i>Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral</i>	Condición natural de las orillas del cauce que permiten la interconexión entre los ecotopos y biocenosis.	1 al 10 según el porcentaje del sector funcional que ha sufrido canalizaciones o presenta infraestructura adosada a las márgenes.
<i>Continuidad longitudinal (Ribera)</i>	Continuidad del corredor ribereño a lo largo del fondo del valle fluvial.	1 al 10 según el porcentaje de la anchura del corredor ribereño en comparación con su anchura potencial.
<i>Anchura del corredor ribereño</i>	Indica si su extensión garantiza las funciones hidrogeomorfológicas, su función como ecotono y las interconexiones entre el cauce, la llanura de inundación, el freático y el valle.	1 al 10 según la longitud y tipo de las discontinuidades relativas al porcentaje de la longitud de las márgenes.
<i>Estructura, naturalidad e Interconectividad transversal del corredor ribereño</i>	Referente a la estructura de las riberas, naturalidad en las especies y conexiones naturales entre el cauce y los hábitats.	1 al 10 según el porcentaje de discontinuidades y alteraciones relativas al porcentaje de la longitud del corredor ribereño.

12.3 Preguntas base para entrevistas a profundidad

1. ¿Por qué la naturaleza tiene valor para usted?
2. ¿Qué sensación experimenta al encontrarse en el (tipo de ecosistema)?
3. ¿Qué sensación experimenta al observar la destrucción del (tipo de ecosistema)?
4. ¿Es parte de sus actividades ir al (tipo de ecosistema) a descansar o realizar alguna actividad recreativa?
5. ¿Qué cambios ha realizado la comunidad en sus actividades al observar el deterioro del (tipo de ecosistema)?
6. ¿De qué forma contribuye usted a realizar estas actividades?
7. ¿De qué forma orienta a los demás miembros de la comunidad a realizar estas actividades?
8. ¿Conoce la relación que existe entre la disponibilidad del agua, su uso apropiado y la conservación de los ecosistemas terrestres?
9. ¿Conoce las leyes que regulan el uso de estos ecosistemas?
10. ¿La comunidad dispone de reglas internas para el uso de los recursos de los ecosistemas?
11. ¿Puede compartir su conocimiento sobre la historia, tradiciones, sucesos relevantes de la comunidad/ejido?
12. ¿Existe algún sitio del bosque considerado un espacio sagrado, con atribuciones religiosas o místicas?
13. ¿De qué forma el atributo sagrado del espacio se vincula con su protección?
14. ¿Tomando en cuenta las tradiciones de la comunidad, ha observado cambios en la forma de relación entre sus miembros, la forma en la que realizan sus actividades o la forma en la que se valoran los ecosistemas?
15. ¿Cuáles son las actividades productivas realizadas en la comunidad?
16. ¿De qué forma (técnicas, herramientas, insumos, mecanismos de planeación) se realizan estas actividades?
17. ¿Conoce el origen del agua que se utiliza para estas actividades?
18. ¿Existen actividades productivas emergentes (turismo, comercialización de nuevos productos, etc.) en la comunidad?
19. ¿Qué tipos de propiedad se manifiestan en la comunidad/ejido?
20. ¿Existen agentes externos a la comunidad que desarrollen actividades productivas?
21. ¿Existen conflictos dentro de los miembros de la misma comunidad o con agentes externos por la propiedad y la forma de uso de los recursos?
22. ¿Además de las autoridades comunales/ejidales, que otras instituciones, organizaciones o individuos inciden en las formas de organización, comunicación y uso de los recursos?
23. ¿De qué forma se organizan y colaboran las autoridades locales con estas entidades?
24. ¿Existen actividades organizadas para la protección de los ecosistemas?
25. ¿Qué actividades conjuntas se realiza en términos del aprovechamiento de recursos o protección de los ecosistemas?
26. ¿De qué forma se da seguimiento a estas actividades (monitoreo, control, vigilancia)?
27. ¿Las autoridades ejidales y otros actores relevantes en las comunidades han sido invitados a foros o han sido consultados para la implementación de instrumentos de política ambiental?
28. ¿De qué manera estos instrumentos integraron su colaboración?
29. ¿De qué manera participa la comunidad en la aplicación de estos instrumentos?
30. ¿Actualmente existen actividades formales o informales de educación ambiental en la comunidad?

12.4 Ficha para observación directa

FECHA	UBICACION			
CATEGORIAS	A) El sujeto en relación al medio social y al medio biofísico	B) Historia socioambiental y características culturales	C) Economía local, aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, regímenes de propiedad y formas de apropiación del espacio.	D) Organización social y participación gubernamental
Notas Observacionales				
Notas Teóricas				
Notas Técnicas				

12.5 Consentimiento Informado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES COMITÉ
DE BIOÉTICA



CONSENTIMIENTO INFORMADO

INTRODUCCIÓN:

La presente se hace llegar a los participantes voluntarios, actores sociales y autoridades relativas a la microcuenca La Laborcilla, con la finalidad de obtener y utilizar algunos datos e información provista, de temática sociocultural y de uso de los servicios ecosistémicos, en función de elaborar el estudio denominado "Evaluación de Integridad de Cuenca como Mecanismo Auxiliar de Diagnóstico y Manejo de la Microcuenca La Laborcilla" el cual forma parte del proyecto de tesis del alumno Miguel Sarmiento Martínez en la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Dicho estudio se encuentra enfocado en analizar distintos componentes de la microcuenca ya mencionada bajo un enfoque de integridad para generar información complementaria que auxilie a fortalecer los planes y programas de conservación y manejo sustentable referentes a la misma.

PROPÓSITO

El propósito del estudio, en su apartado de investigación social, se inclina a conocer los distintos procesos de apropiación, uso y perspectivas sobre el territorio y el uso de los componentes naturales de la microcuenca La Laborcilla, así como de la participación de autoridades en materia socioambiental, formas de organización, convenios intersectoriales y percepciones en general relacionadas con el medio biofísico, con la finalidad de conocer tendencias sociales, culturales y económicas, relativas a las condiciones de integridad del sitio ya mencionado. Así mismo, tomar en cuenta las necesidades de la población local, para ser consideradas dentro de posibles propuestas orientadas al manejo del sitio y generar procesos participativos que devengan en potenciales beneficios comunitarios.

PROCEDIMIENTOS

El procedimiento para obtener la información mencionada será mediante observación directa y entrevistas a profundidad, mediante las cuales se elaborará un registro etnográfico basado en la Guía para la clasificación de los datos culturales de Murdock para una posterior revisión y estudio de la experiencia y observaciones llevadas a cabo.

Las temáticas a abordar, con base en la guía, serán las siguientes:

- A) El sujeto en relación al medio social y al medio biofísico.
- B) Historia socioambiental y características culturales.
- C) Economía local, aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, regímenes de propiedad y formas de apropiación del espacio.
- D) Organización social y participación gubernamental.

EVENTOS ADVERSOS Y MOLESTIAS

No Aplica

Aprobado en la sesión del Comité de Bioética del mes de Noviembre del 2014

BENEFICIOS DE SU PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO

Al participar en el estudio, usted contribuye a integrar información que permita averiguar las especificidades socioambientales de la microcuenca y elaborar propuestas potenciales en función de mantener la calidad ambiental de este territorio. El objetivo ya mencionado, busca fortalecer la política ambiental y estrategias ambientales locales, también fomentando el acceso a la calidad de vida y bienestar de los habitantes en relación con los servicios ambientales de la microcuenca, por ejemplo, calidad hídrica y calidad del suelo. También se busca aportar a los participantes información técnica sobre la microcuenca y así mismo generar potenciales participaciones y colaboraciones en proyectos intersectoriales orientados a la conservación y manejo sustentable del sitio.

CONFIDENCIALIDAD

Con fundamento en párrafo segundo del artículo 16 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en correlación con la Ley de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares, Artículo 14, el C. Miguel Sarmiento Martínez, estudiante de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro con domicilio en Cerro de las Campanas s/n Col. Las Campanas C.P. 76010 Querétaro, Querétaro, es responsable de recabar sus datos personales, del uso que se le dé a los mismos y de su protección.

Los datos e información que voluntariamente proporciona a los fines del estudio serán almacenados, protegidos y tratados haciendo énfasis en su privacidad, así mismo se informa que para la elaboración de este estudio NO se incluyen los siguientes datos personales: domicilio particular, teléfono, firma, RFC, CURP, Información Bancaria e Información Fiscal, sin embargo algunos de los siguientes datos personales pueden ser recabados con la finalidad anteriormente expuesta: edad, condiciones de salud relacionadas al uso de los recursos naturales, creencias religiosas, pertenencia a grupos étnicos, afiliaciones ideológicas, afiliación otro tipo de asociaciones y organizaciones civiles, hábitos y perspectiva de vida, tendencias socio-económicas, tendencias culturales, prácticas laborales y uso de los servicios ecosistémicos. El titular de los datos podrá ejercer sus derechos de Acceso, Rectificación, Cancelación u Oposición de uso de sus Datos Personales

INFORMACION DE CONTACTO:

Director de tesis: Dr. Victor Hugo Cambrón Sandoval
email:victor.cambron@uaq.mx Teléfono:442
258 3072

Miembro del comité de bioética: Dr. Oscar Ricardo García Rubio
email:oscar.ricardo.garcia@uaq.mx
Teléfono: 442 192 1200 ext.65440

EL CONSENTIMIENTO A PARTICIPAR

Autorizo al C. Miguel Sarmiento Martínez, el uso de la información provista bajo el acuerdo de confidencialidad expuesto anteriormente, el uso de la información proporcionada con la única finalidad de investigación académica, resultando exento de cualquier tipo de obligación y/o compromiso al final del estudio.

FIRMA DEL PARTICIPANTE, DOS TESTIGOS E INVESTIGADOR

Aprobado en la sesión del Comité de Bioética del mes de Noviembre del 2014