



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto de las actividades humanas y políticas públicas en el
socio-ecosistema de la micro-cuenca del río Magdalena, Ciudad
de México, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Karla Isabel Rivera Ramírez

DIRECTORA DE TESIS: Dra. Angela Piedad Caro
Borrero

Ciudad Universitaria

Abril, 2017

México, Ciudad de México.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno
Rivera
Ramírez
Karla Isabel
5548104412
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
310120951
2. Datos del asesor
Dra.
Angela
Piedad
Caro Borrero
3. Datos del sinodal 1
Dr.
Javier
Carmona
Jiménez
4. Datos del sinodal 2
Dra.
Marisa
Mazari
Hiriart
5. Datos del sinodal 3
Dra.
María Fernanda
Figueroa
Díaz-Escobar
6. Datos del sinodal 4
M. en C.
Verónica
Aguilar
Zamora
7. Datos del trabajo escrito
Efecto de las actividades humanas y políticas públicas
en el socio-ecosistema de la micro-cuenca del río Magdalena,
Ciudad de México, México.
81 p
2017

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de formarme y con ello ser una mejor persona para el país.

A mi asesora, Angela Piedad Caro Borrero, por creer en mí e impulsar mi crecimiento académico y personal.

Al Dr. Javier Carmona Jiménez, por el gran apoyo en cada una de las fases del trabajo, por sus valiosos consejos y enseñanzas.

A la Dra. María Fernanda Díaz Escobar, por toda su ayuda y orientación, fue una guía muy importante para mí.

A la Dra. Marisa Mazari Hiriart y al Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, por todo el apoyo brindado para los análisis bacteriológicos. Para mis profesores de taller, Antonio Tapia, Gustavo Pérez y Rosa Solano, gracias por escuchar cada una de mis propuestas.

A Verónica Aguilar, por revisar el trabajo y ayudarme con mis mapas, tus comentarios me resultaron de mucha ayuda.

A mis compañeros, Raquel, por ayudarme en la realización de mis mapas y Víctor, por cada uno de tus consejos. A mi amigo, Edgar Caro, por el apoyo en la toma de fotografías. A Mauricio Carmona, por mostrarme el hermoso camino hacia los macroinvertebrados.

A la comunidad de Surco de Encinos y a todas las personas que me brindaron una entrevista, que me permitieron adentrarme a su vida y conocer sus preocupaciones. Este trabajo es para ustedes y espero que pueda contribuir de algún modo para cambiar y mejorar en todos los sentidos.

Al proyecto PAPIIT-UNAM IN220115, por brindar los recursos para generar el trabajo.

Agradecimientos personales

A mis padres, por ser el mejor ejemplo de que podemos alcanzar todas nuestras metas manteniendo siempre humildad y respeto hacia las demás personas.

A mi madre, por cada día que me preparaste para ir a la escuela, que caminaste conmigo y luchaste para que yo tuviera lo mejor, el logro es tuyo.

A mi padre, mi mayor impulso en la vida. Todo lo que soy es gracias a ti, me siento muy orgullosa de ser tu hija y prometo esforzarme siempre para poder ser una excelente persona, como tú.

A mis hermanos: Lili, por ser mi ejemplo de fortaleza y dedicación. Paco, por motivarme a ser mejor cada día y superar las adversidades.

A Daniel, por amarme tal y como soy, por siempre alentarme y en los malos momentos recordarme que puedo lograr todo lo que me propongo.

A mis abuelitos, Alfa, Beto y Esther, por siempre estar conmigo y amarme tanto.

A mi tía Caro, por cada uno de sus consejos. Para Ale, Beto y César, porque siempre han estado en el camino.

A Vale, Zoe y Matías, por ser mi motivación para ser la mejor en lo que hago, espero ser un buen ejemplo para ustedes.

A mi Hawk y Yester, por estar en cada noche de desvelo junto a mí y enseñarme que lo más valioso en la vida es tener un ser que te ama.

Lista de acrónimos

AHI- Asentamientos Humanos Irregulares

CDMX- Ciudad de México

GF- Grupos Funcionales

GFA- Grupos Funcionales Alimenticios

IndVal- Valor Indicador

SC- Suelo de Conservación

SE- Servicios Ecosistémicos

ÍNDICE

Agradecimientos

Lista de acrónimos

RESUMEN

1

1.INTRODUCCIÓN

2

1.1 Salud del ecosistema acuático: calidad de agua y calidad ecológica

4

1.2 La modificación del ecosistema urbano y el desarrollo de socio-ecosistemas en la Ciudad de México

6

2. JUSTIFICACIÓN

7

3. HIPÓTESIS

7

4. OBJETIVOS

8

4.1 Objetivo general

8

4.2 Objetivos particulares

8

5. ÁREA DE ESTUDIO

8

6. MÉTODO

10

6.1 Calidad ecológica del río Magdalena

10

a) Análisis de Calidad de Hábitat

12

b) Análisis de parámetros físico-químicos

13

c) Análisis bacteriológico

14

d) Macroinvertebrados bentónicos

15

e) Algas macroscópicas

16

6.2 Análisis histórico del uso y distribución del agua del río Magdalena: evolución socio-ecológica en la micro-cuenca

17

6.3 Análisis socio-ecológico: entrevistas a actores sociales clave en la gestión y conservación de la micro-cuenca del río Magdalena

17

| | |
|--|----|
| 7. RESULTADOS | 18 |
| 7.1 Calidad ecológica en el río Magdalena | 18 |
| a) Calidad de Hábitat | 18 |
| b) Análisis de parámetros físico-químicos | 19 |
| c) Análisis bacteriológico | 21 |
| d) Macroinvertebrados bentónicos | 22 |
| e) Algas macroscópicas | 32 |
| 7.2 Síntesis histórica de la gestión del agua del río Magdalena: evolución socio-ecológica en la micro-cuenca | 37 |
| 7.3 Análisis socio-ecológico: Caracterización del efecto potencial y la relación de los asentamientos irregulares con la conservación y el manejo de la micro-cuenca | 46 |
| 8. DISCUSIÓN | 54 |
| 8.1 Calidad ecológica: impacto de las actividades humanas en el área natural del río Magdalena | 54 |
| 8.2 Impacto de las normas regulatorias, historia del uso y distribución del río Magdalena | 58 |
| 8.3 Análisis socio-ecológico: Efecto potencial y la relación de los asentamientos irregulares con la conservación y manejo de la micro-cuenca del río Magdalena | 59 |
| 9. CONCLUSIONES | 62 |
| Referencias | 63 |
| Anexos | 72 |

Resumen

Los ríos urbanos son una fuente importante de servicios ecosistémicos, en particular para las ciudades; sin embargo, el uso sostenible y el manejo integrado de los recursos suelen estar comprometidos porque se antepone demandas de orden social y político. La Ciudad de México cuenta con áreas naturales que conservan escurrimientos perenes, como el río Magdalena, y que son buen ejemplo de esta problemática socio-ecológica. El área natural del río ha sido sujeta de la inadecuada planeación e implementación de políticas públicas, lo que constituye una de las principales causas de la degradación ecológica progresiva de la zona. Con el objetivo de obtener una visión integral de la problemática socio-ecológica en esta microcuenca, se evaluó el impacto de las actividades humanas desarrolladas en el área de conservación del río Magdalena sobre la calidad del ecosistema acuático, determinada a través del análisis de parámetros físicos, químicos, hidromorfológicos y bacteriológicos, validados a través de bioindicadores, como los ensambles de macroinvertebrados y comunidades de algas macroscópicas. El contexto histórico, social y político que ha incidido en la salud del ecosistema, se caracterizó a través de la relación histórica de los acontecimientos sociales, económicos y políticos clave, que han influido en la actual gestión de la zona y su estado de conservación. Esta caracterización se llevó a cabo mediante la documentación histórica del manejo de la micro-cuenca, principalmente el uso y distribución del agua del río Magdalena. Además, se analizó la percepción de los pobladores locales, principalmente aquellos en situación de irregularidad dentro del bosque, puesto que dichos actores son clave en la dinámica del ecosistema y, por lo tanto, deberían ser incluidos en el desarrollo de planes de manejo y conservación. En cuanto a la calidad ecológica, se encontró una degradación de las condiciones del ecosistema, conforme se incrementan las actividades humanas. Por otro lado, se observó un incremento en la concentración de nutrientes, bacterias coliformes fecales, enterococos fecales y presuntiva *Salmonella* en los sitios evaluados, respecto al sitio de referencia; estas concentraciones aumentan conforme se incrementa la actividad antrópica (turismo y actividades agropecuarias). Del mismo modo, la hidromorfología y el análisis de bioindicadores fueron consistentes con el grado de perturbación humana en los sitios. El análisis histórico permitió detectar que las afectaciones a la calidad y cantidad de agua existen desde la época colonial, debido a las concesiones otorgadas para el desarrollo económico en la micro-cuenca y se acrecentó debido a una falta de integración del conocimiento ecológico en la planeación y un desarrollo urbano sostenible en la Ciudad de México. Por su parte, el análisis de las entrevistas reveló que la necesidad de vivienda y políticas contradictorias permiten que los asentamientos irregulares prosperen aún sin contar con infraestructura para el abastecimiento de servicios básicos, propiciando la búsqueda de fuentes alternas ilegales, como la extracción de agua de manantiales que alimentan el río, poniendo en riesgo el funcionamiento hídrico de la micro-cuenca. Esta integración socio-ecológica brinda información fundamental para el diseño de mejores estrategias de intervención que considere soluciones concretas a los procesos de deterioro, que incluyen la regulación de las actividades productivas, realizar acciones para mejorar la calidad de vida de la población local y la participación social de todos los actores involucrados, incluyendo particularmente a los habitantes irregulares dentro del suelo de conservación.

1. Introducción

En la actualidad, las ciudades constituyen el hábitat más importante para las poblaciones humanas; éstas, al igual que otros hábitats, forman parte de un ecosistema: el ecosistema urbano (Amaya, 2005; Rees, 1997). Este concepto es una aproximación al entendimiento de las interacciones entre los procesos socio-económicos y los biofísicos en medios urbanos (Alberti, 1999), el cual ha cobrado importancia tras reconocerse a la urbanización como una de las tendencias demográficas más importantes a nivel global (Pickett *et al.*, 2011), y la importancia de los impactos de la urbanización sobre los procesos ecológicos, ya que el desarrollo urbano suele implicar fragmentación, aislamiento y la degradación de los hábitats naturales, simplificación y homogeneización en la composición de especies biológicas, la interrupción en los sistemas hidrológicos y la modificación en el flujo de energía y ciclaje de nutrientes (Alberti *et al.*, 2003).

Dependiendo de las características espaciales y geográficas de la ciudad, ésta puede albergar una amplia variedad de otros sistemas ecológicos, como los forestales y acuáticos (Amaya, 2005; Bolund y Hunhammar, 1999). Estos ecosistemas no necesariamente están completamente transformados, existen muchos ecosistemas en buen estado de conservación que se encuentran inmersos en la dinámica urbana, lo que es posible, en parte, gracias a una integración del conocimiento ecológico en la planeación y el desarrollo urbano sostenible (Niemelä, 1999; Rees, 1997).

Un importante componente de numerosas ciudades, es su común asociación con cuerpos de agua que, en un principio, impulsaron el desarrollo y crecimiento económico para las primeras civilizaciones y prospectos de ciudades. Por ejemplo, a través de la provisión de agua para llevar a cabo actividades de supervivencia, como la crianza de animales y la agricultura, y por supuesto, de proporcionar agua para consumo humano y para las actividades domésticas (Grimm *et al.*, 2008). En este sentido, los ríos urbanos juegan un papel ecológico y social esencial para las urbes (Francis, 2012).

En la mayor parte de las ciudades, el crecimiento urbano se distinguió por una inadecuada planificación, lo que propició la degradación de muchos ríos que pasaron a concebirse como fuentes de contaminación, por su uso como drenajes y su consecuente entubamiento. Esta transformación ecológica se vio reflejada principalmente en el revestimiento de los ríos en calles asfaltadas y avenidas de concreto, convirtiéndose en una tendencia global de degradación morfológica y ecológica, conocida como el síndrome del río urbano (Walsh *et al.*, 2005). Entonces, ha sido el cambio de uso de suelo debido principalmente al crecimiento demográfico, la fuerza que ha transformado más drásticamente los ecosistemas acuáticos urbanos y sus cuencas de drenaje (Gurnell *et al.*, 2007). Estos cambios se ven reflejados en alteraciones a la estructura del río que van desde modificaciones al cauce, cambios en la cantidad de los afluentes (derivado de retenciones y/o extracciones), así como en cambios en los parámetros físicos, químicos, biológicos e hidromorfológicos. Estos parámetros son modelados por los procesos sociales, económicos, políticos y culturales desarrollados al interior de las cuencas hidrográficas (Gurnell *et al.*, 2007).

Desde el punto de vista ecológico, la pérdida de zonas boscosas y de ecosistemas acuáticos constituye una importante carencia para la sostenibilidad de las ciudades y poblaciones dependientes de estos sistemas. Aunado a los problemas ya mencionados, el inadecuado diseño e implementación de políticas

públicas que aseguren su adecuado uso, pone en riesgo no sólo la sostenibilidad de la ciudad, sino la capacidad de los ecosistemas para ser resilientes a cambios drásticos en cortos periodos de tiempo, los cuales no sólo modifican la estructura sino la función de los mismos y, por lo tanto, limitan su capacidad de proveer servicios ecosistémicos (SE) a las poblaciones humanas (Alberti y Marzluff, 2004). Éstos son definidos como todos aquellos beneficios que se obtienen derivados del funcionamiento óptimo de los ecosistemas (Costanza y Folke., 1997) y que se encuentran comprometidos debido a una continua perturbación antropogénica.

Los ecosistemas urbanos requieren que su gestión se promueva con la integración de fuentes de información socio-ambiental y su registro histórico, pues se requiere comprender la evolución de las relaciones entre la población local y su entorno, las cuales explican los procesos de conservación o deterioro de los ecosistemas (Caro-Borrero, 2016). En este sentido, es importante también integrar las condiciones socio-económicas y las perspectivas locales sobre el ambiente, de forma que la construcción de estrategias tome en consideración la situación local y las necesidades y perspectivas de la población vinculada directamente con los ecosistemas de la zona.

La interacción entre la sociedad, el desarrollo económico y el funcionamiento de los ecosistemas puede ser evaluada bajo el marco de los socio-ecosistemas. Este concepto integra al ser humano como parte de la naturaleza, el lugar donde se desarrolla la vida, los procesos sociales, ecológicos, tecnológicos, culturales, religiosos y políticos (Berkes y Folke, 1998; Ortiz, 1999). Bajo esta perspectiva del “ser humano en la naturaleza”, la gestión ambiental requiere incorporar en los procesos de planificación a las poblaciones como actores, los cuales, como constructores de su entorno, desarrollan procesos de acceso, manejo, control y recreación (Ortiz, 1999).

La integración de los procesos socio-económicos, políticos y los ecológicos requiere del conocimiento básico de los ecosistemas, que comúnmente parte de la generación de una línea base de información, la cual permite caracterizar su estado actual de conservación. De esta manera, resulta indispensable evaluar la calidad o salud de los ecosistemas acuáticos. Este término hace referencia al estado del funcionamiento de los ecosistemas mediante la evaluación de diversos parámetros físicos, morfológicos y químicos, que pueden ser validados a través de las comunidades biológicas y su papel como bioindicadores (Sánchez-Montayo *et al.*, 2009), es decir, organismos cuya presencia y abundancia brindan información sobre el estado del sistema acuático en el cual habitan (Pinilla, 1998).

Marco Conceptual

En su estado natural, los ríos y sus cuencas de drenaje se componen de un mosaico complejo y dinámico de zonas con diferentes características hidrológicas, geomorfológicas y ecológicas (Frissell *et al.*, 1986). Los cambios en tiempo y espacio de dicho mosaico son impulsados por las perturbaciones sobre el flujo de agua y los movimientos de los sedimentos que actúan a lo largo de gradientes climáticos, hidrológicos y biogeoquímicos (Ward *et al.*, 2002). La forma y la biodiversidad de los sistemas fluviales dependen del grado de perturbación y recuperación a lo largo de los gradientes ambientales que abarcan (Gurnell *et al.*, 2007).

Por lo anterior, algunos de los elementos considerados para evaluar el estado de conservación de los ríos son elementos locales, como las características físicas y químicas del agua, la cobertura y uso del suelo, modificaciones en la vegetación de ribera, el análisis de fuentes de contaminación y la validación

de toda esta información a través de las comunidades biológicas del sistema acuático (Pardo *et al.*, 2012). El desarrollo de los organismos biológicos se ve limitada por la viabilidad del hábitat físico (Southwood, 1977), por lo que resulta necesaria la valoración de la calidad de hábitat en los sistemas acuáticos como un elemento determinante del estado ecológico de los ríos. Esta evaluación consiste en la valoración de la estructura del hábitat físico circundante que influye en la calidad del recurso hídrico y la condición de la comunidad acuática residente (Barbour y Gerristen, 1996), la cual se integra por la evaluación de elementos del hábitat a micro-escala, macro-escala, así como de las características de la estructura ribereña y del banco del río (Barbour *et al.*, 1999).

La caracterización de los atributos biológicos y ambientales de los sistemas acuáticos permite generar una línea base para definir las condiciones de referencia: aquellas características físico-químicas e hidromorfológicas que reflejen el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y en el que las intervenciones humanas sean mínimas (Pardo *et al.*, 2012), lo cual permite realizar comparaciones válidas sobre el grado de alteración en el sistema acuático (Caro-Borrero *et al.*, 2015).

1.1 Salud del ecosistema acuático: calidad de agua y calidad ecológica

Dada la necesidad de evaluar el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas y la calidad de los SE que éstos proveen a la sociedad, resulta necesario el monitoreo de la provisión de servicios en espacio y tiempo, con la finalidad de dar seguimiento a cambios en la estructura y función del ecosistema y, por lo tanto, la capacidad de mantener el bienestar humano (Paruelo *et al.*, 2011; Bolund y Hunhammar, 1999).

En México, una de las formas clásicas de evaluar el servicio de provisión de agua, es a través de parámetros físico-químicos, como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, los sólidos disueltos totales, la velocidad de corriente, la descarga del río, además de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (DOF, 1997; DOF, 2000). Por su parte, la calidad de agua se evalúa en función al uso que se le planea dar al recurso (Angelier, 2003). Es decir, cada actividad requiere de una calidad específica que permita su aprovechamiento adecuado (Pérez- Ortiz, 2005).

Aunado a la información brindada por los parámetros físicos y químicos del agua, el estudio de las comunidades biológicas acuáticas provee información complementaria. En este sentido, uno de los elementos más relevantes en el estudio de calidad del agua recae en la detección de indicadores biológicos que dan indicios de la presencia de patógenos para el ser humano. Los patógenos que encontramos en los sistemas acuáticos provienen de materia fecal y se transmiten por ingestión de agua contaminada (Espinosa *et al.*, 2010).

Los indicadores de contaminación fecal son una herramienta útil para definir la calidad del agua de uso y consumo humano, y representan una fuente de información accesible frente a la dificultad que representa identificar y cuantificar los patógenos causantes de enfermedades al ser humano (Campos-Pinilla *et al.*, 2008). Las bacterias, son uno de los grupos de microorganismos acuáticos más utilizados como indicadores de patógenos que transmiten enfermedades infecciosas (Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

Entre los grupos bacterianos indicadores más utilizados se encuentran los coliformes fecales (CF) y los enterococos fecales (EF). Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, considerados

indicadores de contaminación fecal por su origen en el tracto intestinal de animales homeotermos (Gerba, 2000). El número de bacterias encontradas en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal en el sistema. La presencia de este grupo es señal de que el agua puede estar potencialmente contaminada con aguas residuales o desechos en descomposición (APHA, 2005). Por otra parte, los enterococos fecales, cuyo origen de igual manera se presenta en el intestino de animales de sangre caliente, se caracterizan por ser muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables, altas o bajas temperaturas, concentraciones altas de sales y ácidos, deshidratación, salinidad y radiación (Gerba, 2000).

Los indicadores, ya sean de origen físico-químico o biológico, son complementarios y revelan información que no sólo está relacionada con la calidad del agua. El conjunto de parámetros indicadores de las condiciones dentro de los ecosistemas acuáticos está inmerso en un concepto más amplio: la *calidad ecológica*. Se define como una expresión de la estructura y función de los sistemas acuáticos, puede determinar el estado de los elementos biológicos que son resultado de las condiciones físicas, químicas e hidromorfológicas (Sánchez-Montoya *et al.*, 2009).

Una de las comunidades biológicas más utilizadas en el análisis de calidad ecológica en los sistemas acuáticos son los macroinvertebrados bentónicos (Duan *et al.*, 2011). Estos organismos son útiles para evaluar las condiciones ambientales preponderantes en un periodo de tiempo relativo a sus ciclos de vida, que, aunque son relativamente cortos, proveen suficiente información para reconocer con mayor rapidez las alteraciones en el ambiente. Además, responden a una amplia gama de factores ecológicos estresantes, son muy sensibles a contaminantes de origen orgánico, tienen una distribución cosmopolita y su muestreo e identificación son relativamente económicos y sencillos (Merlo, 2014; Duan *et al.*, 2011).

Existen aproximaciones que no son taxonómicas para usar los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad ecológica. Una de ellas es la ecología funcional, que se basa en la premisa de que todos los organismos, independientemente de su grupo taxonómico, cumplen un rol en los sistemas acuáticos (Cummins *et al.*, 2005). Por ejemplo, la aproximación de grupos funcionales alimenticios (GFA) de macroinvertebrados, categoriza a los consumidores basados en su mecanismo para obtener alimento, el desarrollo de estructuras especializadas para ello y el tamaño de partícula de dicho alimento (Cummins *et al.*, 2005; Hershey y Lamberti, 1998). La aproximación de GFA es sensible a los impactos del uso de suelo adyacente al sistema, principalmente la calidad y cantidad de vegetación ribereña, así como características físico-químicas del agua, como la concentración de nutrientes, la velocidad de corriente, la temperatura y el oxígeno disuelto (Pardo *et al.*, 2012; Cummins *et al.*, 2005). De este modo, los GFA de macroinvertebrados proveen información útil sobre el funcionamiento de los ríos y el impacto de los disturbios antropogénicos sobre éstos (Palmer *et al.*, 1996).

Otro grupo biológico considerado para el análisis de la calidad ecológica son las algas macroscópicas bentónicas (Allan, 1995), ya que tienen una gran capacidad para responder rápidamente a cambios ambientales, gracias a sus historias de vida cortas, estrategias reproductivas y estructuras especializadas (Bojorge y Cantoral, 2016). Sin embargo, a diferencia de los macroinvertebrados bentónicos, su muestreo e identificación taxonómica requieren de la identificación taxonómica a nivel de especie (Carmona *et al.*, 2016). Las algas bentónicas exhiben rangos específicos de tolerancia para las diferentes variables ambientales (Omori e Ikedo, 1984), por lo que un hábitat específico presentará

el establecimiento y dominancia de aquellas comunidades cuyas condiciones ambientales sean propicias para su desarrollo (Peña *et al.*, 2005). Aunado a lo anterior, algunas características fisiológicas de las especies dan indicios de las características ecológicas del sistema; por ejemplo, los rasgos morfológicos de las especies algales pueden ser reflejo de las condiciones ambientales que son limitantes para el establecimiento de las comunidades en el hábitat (Steneck y Dethier, 1994).

1.2 La modificación de los ecosistemas urbanos y el desarrollo de los socio-ecosistemas en la Ciudad de México

La Cuenca de México ha sido modificada de manera radical en su funcionamiento hidrológico, con el fin de establecer y satisfacer las demandas de provisión de agua en la creciente Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Izazola, 2001). Entre los cambios más importantes se encuentra la desecación, desviación y entubamiento de muchos ríos, como resultado de un conjunto de procesos socio-históricos (González *et al.*, 2010).

En particular, la demanda de agua para la población en la Ciudad de México ha llevado a la estructuración de planes para el manejo de los ríos, que responden principalmente a problemas de inundaciones, reconocidas desde épocas prehispánicas y de preocupaciones por salud pública, derivadas de la contaminación hídrica en los cauces (González *et al.*, 2010). Desde la década de 1920, la ciudad fue creciendo hacia la periferia de tal manera que los ríos que corrían en dichas zonas fueron alcanzados por el avance de la mancha urbana, convirtiéndose en la mayoría de los casos, en receptáculos entubados de aguas residuales. Los ríos que en la actualidad corren a cielo abierto han sido sometidos a una intensa intervención antrópica, sobrellevando una historia de expansión urbana, entubamientos, expulsión hacia otras cuencas y contaminación (González *et al.*, 2010).

En años recientes, la sociedad ha incrementado su preocupación por rescatar los ríos de la Ciudad de México, uno de los casos más destacados es el estudio desarrollado en la micro-cuenca del río Magdalena, ubicado al suroeste de la cuenca de México (PUEC-UNAM, 2008).

Los ecosistemas forestales y acuáticos inmersos en la micro-cuenca del río Magdalena, históricamente han permitido la provisión de SE, principalmente para los pobladores locales. Sin embargo, ha sufrido una fuerte presión antrópica, de manera más intensa en el tramo del río inmerso en la dinámica urbana de la CDMX, lo que ha tenido como resultado modificaciones en la estructura hidrológica, incluyendo afluentes menores, así como cambios en los parámetros físicos, químicos, biológicos e hidromorfológicos, derivados de los procesos sociales, económicos, políticos y culturales (González *et al.*, 2010).

Bajo el marco conceptual del Manejo Integral de Cuencas se requiere la comprensión de las interacciones entre el medio biofísico y los modos de apropiación del territorio, tomando en cuenta los aspectos económicos, tecnológicos, así como los sociales e institucionales, lo cual permite el diseño de políticas públicas para el uso sostenible y el manejo integrado de los recursos (Ávalos y López, 2008). Por lo anterior, resulta adecuado considerar a la micro-cuenca del río Magdalena como un sistema de estudio socio-ecológico en el que sea posible evaluar las intervenciones que, a lo largo del tiempo, han propiciado una compleja relación con el crecimiento de la urbe y evidenciado cambios puntuales en el ecosistema.

2. Justificación

El área natural del río Magdalena, perteneciente al Suelo de Conservación de la Ciudad de México, constituye un elemento indispensable para la sostenibilidad de las poblaciones humanas a escala local y regional. Su buen estado de conservación ha permitido el mantenimiento de los procesos ecológicos involucrados en la generación de SE. Sin embargo, dicho estado de conservación se encuentra en constante presión debido a las diversas actividades humanas desarrolladas al interior de la micro-cuenca, las cuales pueden repercutir en el funcionamiento de los ecosistemas. Por ello, resulta necesaria la evaluación de la calidad ecológica del sistema acuático, para contar con información sobre el estado del ecosistema y su capacidad de proveer SE.

En particular, los ecosistemas acuáticos vinculados a las ciudades requieren de la integración de fuentes de información socio-ambiental y su registro histórico para generar planes de manejo del agua, pues el bienestar de la sociedad, depende fundamentalmente del mantenimiento y provisión de SE. Ésta información permite entender los diversos modos de vida de los grupos sociales involucrados, así como su percepción en torno a los recursos naturales del área, lo cual, permita estructurar planes de manejo que sean integrales y concuerden con un desarrollo sostenible.

Dadas las características anteriores, la micro-cuenca del río Magdalena resulta ser un buen laboratorio para el estudio del impacto de los diferentes procesos sociales, económicos, políticos y culturales sobre el estado ecológico de sistema acuático, lo cual, puede constituir una importante herramienta para determinar el potencial efecto de estas actividades humanas sobre los SE que el área provee.

3. Hipótesis

1. La salud del ecosistema acuático

Debido a la relación que existe entre las actividades económicas que se desarrollan a lo largo del río Magdalena y la calidad ecológica del mismo (características hidromorfológicas, físicas, químicas, y biológicas del ecosistema acuático), se espera que esta última disminuya conforme aumentan dichas actividades y que su efecto varíe en función del tipo de actividad e intensidad.

2. Condiciones socio-económicas y las percepciones locales sobre el entorno

Las condiciones socio-económicas y el contexto histórico en el que se han desarrollado los asentamientos humanos irregulares en la microcuenca influyen en las percepciones sociales de éstos sobre los ecosistemas y su gestión.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general.

Evaluar el impacto de las actividades humanas desarrolladas en el socio-ecosistema de la micro-cuenca del río Magdalena sobre la calidad ecológica del sistema acuático, así como caracterizar los eventos históricos clave en torno al uso y distribución del agua del río, y la actual gestión de la micro-cuenca, así como las percepciones sociales de la población local sobre los ecosistemas y su gestión.

4.2 Objetivos particulares

- Realizar un análisis de la situación actual del uso del agua *in situ* y su relación con la calidad ecológica a través de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, para caracterizar el efecto de las principales actividades antrópicas: granjas piscícolas, restaurantes y asentamientos humanos irregulares.
- Validar el efecto de las actividades antrópicas a través de atributos biológicos de los ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos y las comunidades de algas macroscópicas, así como la calidad hidromorfológica.
- Describir la relación histórica entre los principales acontecimientos socio-políticos relacionados al uso y distribución del agua del río Magdalena y la actual gestión de la micro-cuenca.
- Caracterizar el efecto potencial y la relación de los asentamientos irregulares con la conservación y el manejo de la micro-cuenca.

5. Área de estudio

El socio-ecosistema del río Magdalena

La micro-cuenca del río Magdalena es uno de los principales efluentes periurbanos de la Ciudad de México y, geográficamente, se localiza entre los 19°14' longitud norte y los 99°17'30'' longitud oeste (Legorreta, 2009). Su origen se encuentra en la Sierra de las Cruces, en la delegación Cuajimalpa, al Suroeste de la Ciudad de México a 3,600 m.s.n.m siendo la delegación La Magdalena Contreras la que abarca mayor extensión de la micro-cuenca (SMA, 2012). Constituye una de las principales áreas de captación hídrica en la ciudad, contribuyendo con el abastecimiento del 50% del agua superficial de la Ciudad de México (Mazari-Hiriart, 2014). La vegetación predominante en el área son los bosques de *Pinus Hartwegii*, *Abies regiliosa* y *Quercus spp.* (Nava, 2003), que son importantes en la provisión de una amplia gama de servicios ecosistémicos, como el agua, control de erosión y de inundaciones, así como los servicios culturales, como la recreación, ecoturismo y belleza escénica (Jujnovsky, 2006).

Con una extensión de 28.2 Km, el río Magdalena escurre por dos diferentes zonas administrativas: el área natural (52.5% de la longitud del río) que corresponde a una porción del Suelo de Conservación (SC) de la Ciudad de México y el área urbana (47.5%) (SEDEMA, 2012). Los afluentes que alimentan al río en ambas áreas son diferentes, en el área natural, el río se alimenta de manantiales y escurrimientos superficiales, mientras que, el área urbana, es alimentado por el escurrimiento de aguas residuales, convirtiéndose en un drenaje a cielo abierto (González *et al.*, 2010).

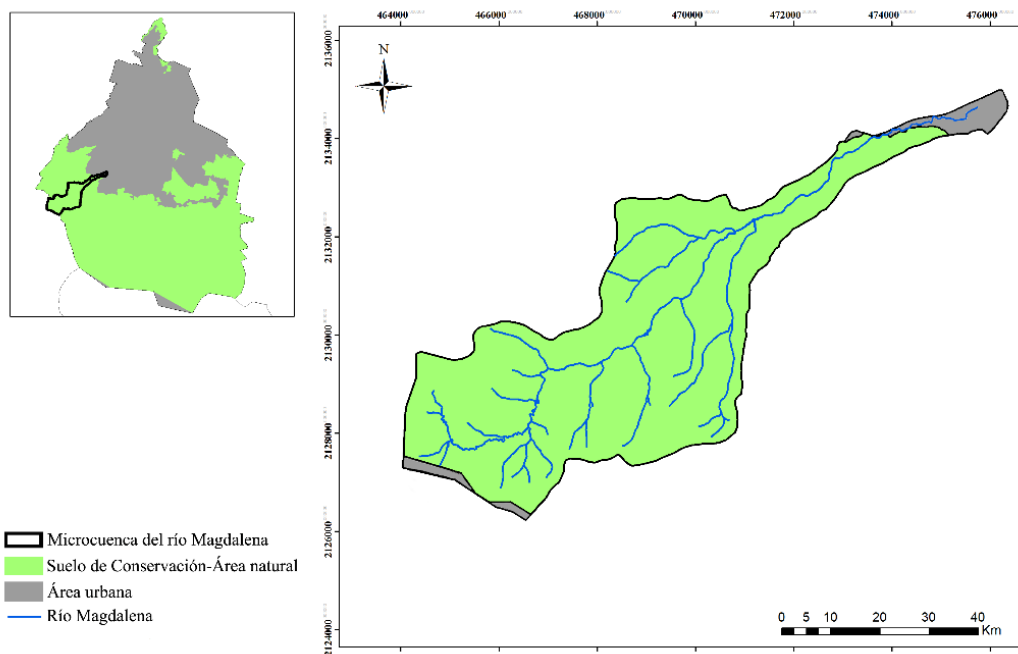


Figura 1. Localización geográfica de la micro-cuenca del río Magdalena, Ciudad de México, México. Fuente: Realizado con ayuda de Raquel Ortiz.

Los bosques de la micro-cuenca son de propiedad social, tanto comunal como ejidal (Fernández-Galicia, 1997). Se reconocen cuatro núcleos agrarios, de los cuales, la comunidad Magdalena Atlitlic y el Ejido de San Nicolás Totolapan, son los que tienen mayor injerencia en las decisiones a tomar en la micro-cuenca del río Magdalena, debido a la extensión de tierras que poseen.

La influencia humana sobre la zona y el avance continuo de la expansión urbana de la ciudad han dejado como consecuencia cambios estructurales que se ven reflejados en el funcionamiento del ecosistema. En la parte alta de la micro-cuenca, la degradación se deriva principalmente de la erosión del suelo, el represamiento del cauce, la pérdida de cobertura forestal, tala clandestina y actividades agropecuarias. La parte media ha sido afectada por la presencia de asentamientos humanos irregulares (AHI), el turismo no regulado y la descarga de aguas residuales al río, como producto de las actividades comerciales en restaurantes y trucheros; finalmente, en la parte baja, la contaminación es causada por las descargas de aguas residuales y residuos sólidos de origen urbano (Monges, 2009).

En los últimos años, las estrategias del gobierno local y federal, ha impulsado la construcción de presas de gavión y tinas ciegas, así como la instalación de un drenaje perimetral y central en el cauce, ocasionando una de las transformaciones hidrológicas más agresivas en la micro-cuenca. Esta transformación se aprecia en los múltiples fraccionamientos del cauce, el represamiento de todos los arroyos tributarios del cauce principal, la remoción de sustrato y, por ende, un cambio en la dinámica hidrológica y en la provisión de hábitat para los organismos acuáticos, entre otros cambios que alteran la dinámica del ecosistema y su relación con la provisión de SE. Muchas de estas acciones responden a los Programas federales de Empleo Temporal (PET) y actividades dentro del Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) que no poseen un sustento ecológico local para su operación.

Si bien algunas de estas acciones sectoriales contribuyen a la mejora de ciertas condiciones ambientales y sociales, no detienen la degradación ecológica de la zona ni contribuyen a la mejor en la calidad de vida de las personas que dependen de los recursos que el bosque y el río proveen (González *et al.*, 2010). Dicha situación refleja la poca integración de los aspectos ecológicos y sociales en los planes de manejo de los recursos de la micro-cuenca, lo cual resulta en la generación de problemas socio-ecológicos. Se reconoce que la gestión carece de instrumentos de planeación y ordenamiento territorial que integren a los distintos actores sociales con influencia en el área y los diversos procesos ecológicos, urbanos, económicos, agrarios y turísticos, de manera que no existe una estrategia de manejo integral, con visión a largo plazo (González *et al.*, 2010).

En el año 2006, el Dr. Manuel Perló Cohen, entonces director del Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC, de la UNAM), realizó la iniciativa del rescate integral de la cuenca del río Magdalena, que fue adoptada por el entonces Jefe de Gobierno del Distrito Federal en curso, Marcelo Ebrard, como parte de su agenda ambiental mediante la gestión de la Secretaría del Medio Ambiente (SMA). El proyecto constituyó una iniciativa prometedora, como producto de la inclusión de diversos sectores académicos y sociales a lo largo del proceso de generación de la política pública planteada “Plan Maestro del río Magdalena”, sin embargo, se reconoce que careció de un seguimiento y delimitación de las actividades desarrolladas por los diversos grupos de trabajo, principalmente de los integrantes de la comunidad Magdalena Atlitica, lo cual trajo consigo desacuerdos entre los grupos de trabajo, sin dejar de lado los retrasos ocasionados por los problemas presupuestales (Zamora, 2013).

6. Método

6.1 Calidad ecológica en el río Magdalena

Se realizó una evaluación de calidad ecológica a lo largo del cauce principal del río Magdalena. Los sitios de muestreo, ubicados dentro de la zona de conservación, fueron seleccionados a partir del grado de influencia antropogénica visible (Tabla 1), tales como: actividades turísticas (restaurantes, trucheros), actividades agropecuarias y el establecimiento de construcciones cuyos desechos domésticos eran vertidos al cauce principal (Figura 2). Con la finalidad de tener una línea base para realizar comparaciones válidas sobre el grado de alteración de los puntos evaluados, se seleccionó un sitio de referencia basado en estudios previos dentro de la micro-cuenca (Caro-Borrero *et al.*, 2015). El sitio elegido presenta condiciones físico-químicas e hidromorfológicas adecuadas, que lo colocan como un sitio de referencia potencial, es decir, la estructura y función del ecosistema está bien conservado y no se observa una alteración hidráulica significativa (Caro-Borrero *et al.*, 2015).

Tabla 1. Ubicación y descripción de los sitios estudiados dentro de la micro-cuenca del río Magdalena

| Número del sitio. | Nombre del sitio | Georeferencia | Descripción general. |
|-------------------|------------------|---|---|
| 1 | SR | N 19°15'50.6" W 099°17'41.5" 3048 msnm | Sitio de Referencia Cuarto dinamo, intervenciones humanas moderadas. |
| 2 | TD | N 19°16'52.4" W 99°16'42.5" 2831 msnm | Tercer Dinamo Zona de actividades turísticas de baja intensidad. |
| 3 | SD-TC | 19°17'02.5" W 99°16'28.7" 2775 msnm | Segundo Dinamo- Truchero Cascada Desembocadura de residuos de trucheros al cauce principal. |
| 4 | SD-AU | N 19° 17' 02.9" W 99° 16' 27.6" 2564 msnm | Segundo Dinamo- Agua residuales Urbanas Desechos de origen doméstico vertidos al río. |
| 5 | SD-PR | N 19°16'0.3" W 99°16'27.6" 2693 msnm | Segundo Dinamo- Puente de Restaurantes Sitio de desembocadura posterior a todas las actividades turísticas (Zona de restaurantes, trucheros y sanitarios). |
| 6 | T | N 19° 17'1.7" W 99° 16' 28.9" 2767 msnm | Segundo Dinamo- Truchero Muestreo directo en el sistema de trucheros. |

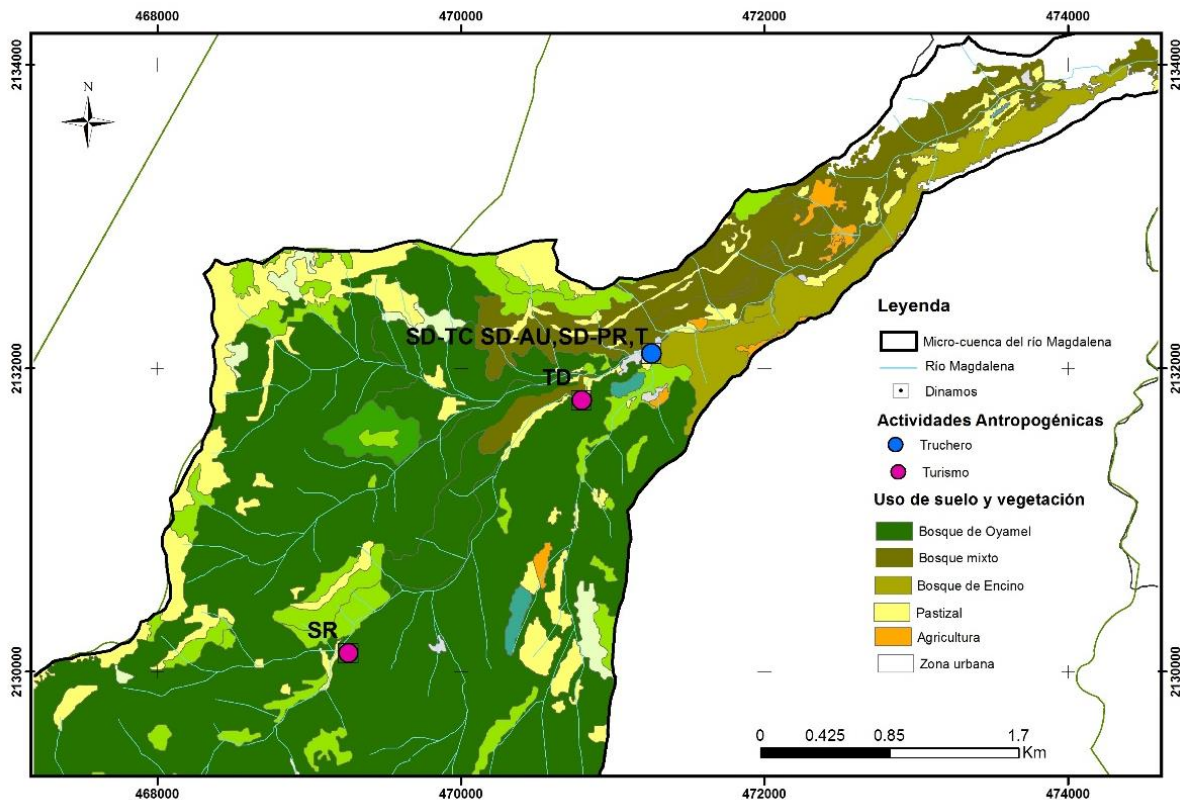


Figura 2. Ubicación de los sitios muestreados, donde la ubicación y los nombres corresponden a lo descrito en la Tabla 1. Elaboración: Verónica Aguilar

Se realizaron dos muestreos a lo largo del año 2016, en dos temporadas contrastantes, temporada de secas en enero y temporada de lluvias en agosto (García, 2004). El análisis temporal permite el reconocimiento de los parámetros hidrológicos observados ante diferentes condiciones climáticas, para separar las variaciones en el ecosistema de origen natural de las inducidas por cambios exógenos (Caro-Borrero *et al.*, 2015).

En cada uno de los sitios se realizó un análisis de calidad de hábitat, así como de parámetros físico-químicos, bacteriológicos y de diversidad de los ensamblajes de macroinvertebrados y comunidades de algas macroscópicas, excepto en el punto T (Truchero) donde únicamente se realizaron los análisis físico-químicos y bacteriológicos, debido a la naturaleza de los estanques, ya que, aunque son abastecidos por agua del río, no están dentro del cauce natural.

A continuación, se describe cada uno de los métodos aplicados para llevar a cabo dicha evaluación:

a) Análisis de Calidad de Hábitat

En cada uno de los puntos seleccionados se realizó una evaluación de Calidad de Hábitat mediante el Protocolo Rápido de Bioevaluación en arroyos y ríos, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Barbour *et al.*, 1999). Esta evaluación se efectuó por medio del análisis cualitativo de las características físicas del sitio con puntuaciones cuantitativas de las mismas.

La evaluación cuali-cuantitativa se basa en un intervalo dirigido en categorías: estado óptimo, sub-óptimo, marginal y pobre. Cada parámetro a evaluar cuenta con una descripción y diversas referencias que facilitan y guían al investigador para la detección de la categoría en el que se encuentra el sitio y poder así reducir la subjetividad en la evaluación. Los parámetros evaluados (Barbour *et al.*, 1999) fueron los siguientes (ver protocolo completo de evaluación en el Anexo I):

Sustrato epifaunal. Incluye la variedad en las estructuras naturales en el río, las curvaturas a lo largo del tramo, grandes rocas, árboles caídos, entre otros, que puedan servir como sitios de refugio, para proveer alimentación o sitios favorables para realizar funciones como desove y crianza de la macrofauna acuática.

Sustrato embebido. Es una medida del grado en el que las estructuras rocosas en el fondo están cubiertas por sustrato fino como arenas y limos. Se evalúa para conocer si el sitio cuenta con las condiciones para que se desarrollen organismos como peces, anfibios e insectos. En los espacios que están embebidos y tienen gran cantidad de sustrato fino, no se permite dicho desarrollo óptimo.

Velocidad y variación de profundidad. Evalúa los patrones de velocidad y profundidad, los cuales resultan muy importantes para la diversidad de los hábitats. Toma en cuenta cuatro patrones: rápido/profundo, lento/profundo, rápido/somero y lento/somero. En un rango óptimo, los cuatro patrones pueden ser observados, mientras que en uno pobre se presenta solo un patrón.

Deposición de sedimento- Hace referencia a la cantidad de sedimento acumulado en el sitio y los cambios producidos en la corriente como resultado de la deposición de sedimento.

Estado de los flujos en el canal. Mide el grado en el que el cauce cuenta con flujos de agua. El estado de los flujos puede generar cambios en el ancho del río, una disminución en los flujos puede ser resultado de presas, desviaciones para irrigación o sequías, por ejemplo.

Alteración del canal. Es el resultado de modificaciones a gran escala en las corrientes del canal, muestra el grado de presión antropogénica sobre los sitios.

Frecuencia de curvas en el canal. La frecuencia de las curvas en el cauce puede marcar la diversidad de hábitats y por tal, influir en la diversidad de las comunidades biológicas.

Estabilidad del banco. Se refiere al grado de evidencias de erosión y el estado en la zona de ribera. En un intervalo óptimo, la ribera es estable y las evidencias de erosión son mínimas o nulas.

Protección vegetativa de los márgenes del río. Estima la proporción de las riberas que se encuentran protegidas por vegetación autóctona, incluye todos los estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo).

Ancho de la zona de vegetación riparia. Estima el ancho de la zona de amortiguamiento proporcionada por la vegetación nativa en la zona riparia para ambas riberas.

Los puntajes asignados se suman y así es posible determinar la categoría final en la que se encuentra el hábitat del sitio.

Tabla 2. Categorías de Calidad de Hábitat, adaptado de Barbour et al., (1999).

| Categoría | Intervalo | Calificación |
|-----------|-----------|--------------|
| Óptima | 16-20 | 200-165 |
| Subóptima | 11-15 | 164-143 |
| Marginal | 6-10 | 142-109 |
| Pobre | 0-5 | 0-108 |

Con el objetivo de realizar una comparación sobre la calidad de hábitat en los sitios evaluados, se obtuvo el grado de comparabilidad de los sitios respecto al sitio de referencia, expresado en porcentajes. De tal manera que pudiera analizarse el cambio en las condiciones físicas observadas a lo largo de la micro-cuenca.

b) Análisis de parámetros físico-químicos.

Los parámetros físico-químicos fueron medidos *in situ*, con ayuda de una sonda multiparamétrica YSI 6600. En cada uno de los puntos de muestreo se registraron los siguientes parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, así como el caudal. Para los análisis de laboratorio, se colectó agua por triplicado en cada sitio, en botes de polipropileno de 1 L de capacidad, previamente lavados y esterilizados, siguiendo el protocolo de la APHA (2005). Los análisis fueron realizados dentro de las 24 horas posteriores a la colecta. Las muestras fueron almacenadas y refrigeradas a 4°C. Los nutrientes fueron evaluados a través del nitrógeno en forma de nitritos, nitratos, amonio y el fósforo en forma ortofosfatos, los cuales fueron analizados en el laboratorio por triplicado, con ayuda de un espectrofotómetro modelo Hach DR/3900 (Hach, 2003; APHA, 2005).

c) Análisis bacteriológico

Se realizó un monitoreo de calidad de agua por medio de un análisis bacteriológico con microorganismos indicadores de contaminación fecal, como el grupo de los coliformes fecales, enterococos fecales y colonias presuntivas de *Salmonella spp.* Los análisis se realizaron por triplicado el mismo día de la colecta en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM.

Se utilizaron los medios de cultivo Agar m-FC de la marca Difco™ para el grupo de coliformes fecales, enterococcus Agar marca Difco™ para los enterococos fecales y SS Agar marca Difco™ para *Salmonella spp.* Para enterococos fecales y coliformes fecales se realizó una filtración de 100 mL de la muestra, además de diluciones de 10 mL y 1 mL en los sitios SR, TD, SD-TC, SD-AU Y SD-PR, para el sitio T, se realizó una dilución de 0.1 ml, lo anterior por la posible alta carga microbiana que pudiesen tener las muestras derivado del manejo de los sistemas piscícolas. Las diluciones de las muestras se realizaron con solución A+B que permite obtener colonias diferenciadas en los medios de cultivo.

Para *Salmonella spp.*, se realizó una filtración de 100 mL, así como una dilución de 10 mL, en dicho caso, no se realizaron más diluciones tomando en cuenta que en un área natural conservada se espera un bajo conteo de estos organismos (Mazari-Hiriart *et al.*, 2014). Además, las colonias con crecimientos en el medio para el género fueron consideradas como presuntivas, debido a que para su confirmación se requiere la efectuación de métodos de identificación microbiana, como los moleculares o los basados en la proteómica (Bou *et al.*, 2011).

Para el análisis de las muestras se utilizó la técnica de filtración con membrana cuyo procedimiento se describe a continuación (APHA, 2005):

Previo a la técnica se homogeneizó la muestra de agua obtenida en los frascos de polipropileno.

- a) Se preparó el tren de filtrado, utilizando unidades estériles al principio de cada serie, es decir, para cada sitio se utilizó una unidad de filtración diferente.
- b) Posteriormente, se separó el embudo de la base del filtro y con ayuda de pinzas de punta plana estériles, se colocó la membrana filtrante acetato de celulosa (Millipore MF tipo HA) de 0,45 μm de tamaño de poro sobre la base del filtro, se volvió a colocar el embudo sobre la base, situando la membrana de filtración entre el embudo y la base del filtro.
- c) Se puso en marcha el sistema de vacío para filtrar 100 mL, 10 mL y las diluciones de cada muestra de agua a través del filtro.
- d) Una vez filtrada la muestra, se paró el sistema de vacío, se separó el embudo de la base del filtro y, con ayuda de pinzas estériles, se retiró la membrana de filtración, colocándola sobre la caja de Petri, con cada uno de los tres medios de cultivo.
- e) Finalmente, las cajas con medio de cultivo y membranas de filtración se sometieron a incubación a la temperatura y tiempo indicados para cada grupo bacteriano (Tabla 3).

Tabla 3. Tiempo y temperatura de incubación para cada grupo de bacterias evaluado

| Grupos bacterianos | °C | Periodo de incubación (horas) |
|-----------------------------------|------------|-------------------------------|
| <i>Enterococcus faecalis</i> | 35 ± 0.5 | 48 |
| Presuntiva <i>Salmonella spp.</i> | 35 ± 0.5 | 24 |
| Coliformes fecales | 44.5 ± 0.5 | 24 |

f) Posterior al tiempo de incubación, se realizó un conteo de las colonias observadas y fueron reportadas como Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mL (UFC/100 mL) (APHA, 2005).

d) Macroinvertebrados acuáticos

A lo largo de un transecto de 10 metros de longitud, se realizó un muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Se utilizó una red acuática en forma D, con un tamaño de malla de 150 micrómetros y ancho de 30 cm para su captura, la cual se llevó a cabo mediante la remoción mecánica del sustrato durante 3 minutos. El material obtenido en la red se colocó en una charola para la óptima separación de los organismos del sustrato y fueron depositados en botes de plástico con alcohol etílico al 70% para su preservación. La colecta se realizó bajo el criterio multihábitat, con el fin de obtener muestras representativas y cubrir la mayor cantidad de hábitats donde los macroinvertebrados pudiesen desarrollarse (Merritt *et al.*, 2008). Por ende, además de obtener individuos del sedimento, se extrajeron de la superficie de rocas sumergidas y trozos de madera muerta a lo largo del transecto, así como en diversas zonas de ribera. Aplicando el mismo esfuerzo de colecta en todos los sitios, se buscó la captura de un número mínimo de 100 individuos por sitio con el fin de obtener muestras representativas.

La identificación taxonómica se realizó con ayuda de un microscopio estereoscópico y bibliografía especializada (Merritt *et al.*, 2008; Bueno-Soria, 2010), con lo que se generó un registro fotográfico de los organismos encontrados en las diferentes temporadas climáticas. La resolución taxonómica utilizada fue la de género; sin embargo, cuando esto no fue posible, los organismos se clasificaron a nivel de familia, subfamilia o clase. Así mismo, se determinó el grupo funcional alimenticio de cada organismo colectado (Cummins *et al.*, 2005; Merritt *et al.*, 2008; Bueno-Soria, 2010; Reynaga, 2009).

Se asignó el valor indicador de los taxa obtenidos con ayuda de estudios previos en el sitio (Caro-Borrero, *et al.*, 2015) lo cual permite validar la evaluación de la calidad de hábitat y calidad de agua.

El método de IndVal se basa en el grado de especificidad del hábitat del taxa, así como su fidelidad dentro del mismo. Cuanto mayor sea la especificidad y fidelidad de un taxa, su presencia en las muestras procedentes de un hábitat particular se incrementará. Aquellos taxa con un IndVal mayor o

igual a 50, son considerados como indicadores para un sitio dado, mientras que aquellas con un IndVal menor que 50, pero mayor a 25 pueden ser tomadas como un taxa detector (Tornés *et al.*, 2007).

e) Muestreo de algas macroscópicas bentónicas.

Con el fin de utilizar las especies de algas macroscópicas como indicadores de la calidad del ecosistema acuático, se colectaron los crecimientos algales en los principales microhábitats detectados en el río, divididos en cinco unidades de muestreo. El transecto de colecta coincidió con el de la colecta de los macroinvertebrados bentónicos. La abundancia relativa de las algas se evaluó de manera aleatoria con una unidad de muestreo circular de 10 cm de radio (área= 157 cm²) de acuerdo con Bojorge *et al.* (2010) y Necchi *et al.* (1995). La identificación consideró los caracteres que se plantean de importancia taxonómica a nivel genérico y específico Anagnostidis y Komárek (2005), Wher y Sheath (2003) y, Ettl y Gartner (1988), apoyados en estudios previos en el sitio con las comunidades de algas macroscópicas (Carmona *et al.*, 2016).

Se utilizó el criterio de grupos funcionales (GF) para el grupo, que se basa en los rasgos morfológicos desarrollados por los diversos grupos algales (Steneck *et al.*, 1994). La asignación de GF se determinó con base en Rodríguez (2014) así como Sheath y Cole (1992). Además, se asignó el valor indicador de las especies con base en lo realizado por Carmona *et al.*, (2016).

❖ Análisis estadísticos para macroinvertebrados bentónicos y algas macroscópicas.

Todas las pruebas estadísticas se realizaron en el programa estadístico PRIMER V1.4 (Clarke y Gorley, 2006). Para los macroinvertebrados acuáticos se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Margalef, partiendo de la premisa de que la diversidad biológica es un indicador cuantificable de las comunidades ecológicas que se relaciona con la estabilidad del ecosistema acuático, debido a que son dependientes de la calidad ambiental (Metcalf, 1989).

Para ambos bioindicadores, se realizaron escalamientos multidimensionales (MDS) para la cobertura de algas macroscópicas y la abundancia de macroinvertebrados bentónicos; lo anterior por medio del coeficiente de Bray-Curtis para comparar la similitud entre los sitios y las dos temporadas analizadas.

Posteriormente, se realizaron pruebas ANOSIM de una vía para evaluar la significancia de los grupos evaluados en el MDS. Una vez caracterizados los grupos, se realizaron pruebas SIMPER, con la finalidad de identificar los taxa de macroinvertebrados bentónicos y especies de algas macroscópicas y su relación con los sitios de colecta y las dos estaciones del año, contribuyendo con un porcentaje acumulado mayor o igual al 70%.

Finalmente, se buscó a través del análisis BEST, usando el algoritmo Bio-Env, el vínculo entre las variables ambientales que mejor pudieran explicar el patrón de diversidad y composición de los grupos biológicos. Los datos biológicos fueron transformados usando la raíz cuadrada y las matrices de datos ambientales fueron normalizadas; únicamente se transformaron aquellos parámetros que presentaron una distribución sesgada en los gráficos de Drafman.

6.2 Análisis histórico del uso y distribución del agua del río Magdalena: evolución socio-ecológica en la micro-cuenca

Con el objeto de obtener un panorama integral de la situación ambiental y social en la micro-cuenca, se realizó una síntesis histórica de la gestión de la zona, principalmente en torno al uso y distribución del agua del río Magdalena, con el propósito de identificar los acontecimientos y actividades antrópicas clave que han influido en las características sociales, políticas y ecológicas actuales de la micro-cuenca. Dicha síntesis se generó por medio de la revisión bibliográfica de estudios previos (Quevedo, 1943; Aboites-Aguilar, 1998; CONAGUA, 2009; Acosta, 2001; Barbosa, 2005; Ramos, 2008; Becerril, 2009; Ávila-Akerberg, 2010; Vitz, 2012; Galindo, 2012; Zamora, 2013 y Caro-Borrero, 2016).

Aunado a dicha síntesis, se desarrolló una breve reseña de la legislación de la micro-cuenca, lo cual permite obtener una visión integral de los aspectos sociales y políticos, así como sus implicaciones sobre el estado actual de conservación, haciendo énfasis en las transformaciones sobre el SC, principalmente por la proliferación de AHI.

6.3 Análisis socio-ecológico: entrevistas a actores sociales clave en la gestión y conservación de la micro-cuenca del río Magdalena

Se efectuaron entrevistas y encuestas a pobladores de la micro-cuenca del río Magdalena, principalmente en situación irregular, por ser actores con un alto impacto en las características ecológicas de la micro-cuenca (Fernández *et al.*, 2002).

Las encuestas planteadas se estructuraron con base en lo desarrollado por Neitzel (2003) (ver protocolo de entrevista en Anexo II). Por medio de las entrevistas y encuestas planteadas, se pretendió reconocer los principales problemas que los habitantes detectan en su vida cotidiana y en la gestión de la zona. Las encuestas se analizaron a través de estadísticas descriptivas, mientras que las entrevistas se transcribieron para ser analizadas con el software MAXQDA, que permite categorizar y separar en códigos de interés los discursos analizados de los entrevistados (Kuckartz, 2007). El sistema de códigos planteado (Anexo III) se centró en conocer la relación que los actores tienen con el río y el bosque, las implicaciones que éstos tienen en su vida y la percepción de cambios detectados de manera visual por las personas a lo largo del tiempo en el que han vivido en la zona, además de la identificación de los principales beneficios y perjuicios que los entrevistados detectan como resultado de vivir dentro del área de conservación de la micro-cuenca.

Así mismo, se realizaron dos grupos focales, el primero, con una comunidad en situación de irregularidad y la segunda, con comuneros de la Magdalena Atlitica e involucrados en la gestión de la micro-cuenca del río Magdalena, lo anterior con la finalidad de conocer la diversidad de percepciones alrededor de la gestión y conservación de la micro-cuenca. Los temas planteados en los grupos se centraron en conocer los principales problemas tanto institucionales, como sociales y económicos que los actores detectan, que han contribuido al incremento de AHI en el SC.

Este análisis socio-ecológico constituye una primera aproximación a las percepciones sociales de los AHI.

7. Resultados

7.1 Calidad ecológica en el río Magdalena

a) Evaluación de Calidad del Hábitat

La evaluación de Calidad de Hábitat (CH) no mostró cambios hidromorfológicos durante los dos periodos estacionales evaluados. La valoración visual permitió establecer una degradación progresiva en la CH desde el sitio de referencia, ubicado en la parte alta de la micro-cuenca, hasta el último sitio de análisis, correspondiente a la parte media de la micro-cuenca. Esta degradación fue consecuente con el incremento en actividades antrópicas que impactan las características físicas e hidromorfológicas del río. El sitio de referencia fue evaluado y categorizado como hábitat subóptimo, debido a modificaciones estructurales como producto del establecimiento de las antiguas fábricas en la zona, como la canalización, y algunas recientes, como veredas para el paso de turistas que afectan la continuidad de la vegetación de ribera.

Los resultados que miden el porcentaje de similitud entre los sitios evaluados y el sitio de referencia, mostraron que el TD presentó el mayor porcentaje de similitud. El resto de sitios evaluados, ubicados en el Segundo Dinamo: SD-TC, SD-AU y SD-PR, presentaron la categoría de CH pobre (Tabla 4). Lo anterior, sugiere la existencia de diferencias marcadas en la CH en un trayecto corto dentro de la cuenca. El punto SD-AU fue el que presentó la mayor alteración antrópica de acuerdo a los elementos evaluados, por ejemplo, una notable disminución de vegetación nativa, con menos del 10% de cobertura de la vegetación de ribera, así como la disminución de velocidad de corriente y del ancho de la zona ribereña, la cual está reducida por la construcción de restaurantes, caminos, baños y trucheros.

Tabla 4. Evaluación de Calidad de Hábitat en el río Magdalena

| Sitio | Puntaje total | Categoría | Interpretación | Similitud respecto al sitio de referencia (%) |
|-------|---------------|-----------|---|---|
| SR | 162 | Subóptimo | Poca presencia de actividad humana. Las alteraciones en el régimen natural son moderadas. | |
| TD | 126 | Marginal | Las alteraciones antropogénicas son evidentes, pero se mantienen ciertos componentes del régimen hidrológico. | 77.7 |
| SD-TC | 65 | Pobre | Alta presencia de infraestructura. Régimen completamente alterado. | 40.12 |
| SD-AU | 34 | Pobre | | 20.98 |
| SD-PR | 94 | Pobre | | 58.02 |

SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes.

b) Parámetros físico-químicos.

Los parámetros físicos con mayor variación espacial y estacional fueron la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura, la conductividad eléctrica y el caudal. El Sitio de Referencia (SR) registró los valores más bajos de temperatura, sólidos disueltos y conductividad en las dos temporadas evaluadas, así como los mayores valores de caudal en temporada de lluvias. El Tercer Dinamo (TD) mostró los valores próximos a los del SR para los parámetros mencionados y los valores más elevados de oxígeno disuelto en temporada de secas. Los sitios ubicados en el segundo dinamo (SD-TC, SD-AU, SD-PR y T) mostraron diferencias respecto a las condiciones del sitio de referencia, el SD-AU reveló valores bajos de caudal, así como de oxígeno disuelto. SD-PR mostró los valores más altos de temperatura y conductividad eléctrica en las dos temporadas y valores elevados de sólidos disueltos. En cuanto al sistema de truchero, en temporada de secas presentó los valores más bajos de oxígeno disuelto y los valores más altos de sólidos disueltos totales en las dos temporadas (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros físicos evaluados en área de conservación del río Magdalena.

| <i>Sitio- Estación</i> | <i>pH</i> | <i>T (°C)</i> | <i>TDS (mg/L)</i> | <i>K₂₅ (μS/cm)</i> | <i>OD (mg/L)</i> | <i>Sat. OD (%)</i> | <i>Q³ (m³ s⁻¹)</i> |
|----------------------------|-----------|---------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|---|
| SR-S | 6.65 | 5.3 | 38.0 | 77.0 | 9.4 | 96 | 0.368 |
| SR-LL | 7.88 | 10.7 | 35.6 | 61.8 | 7.46 | 96.8 | 0.732 |
| TD-S | 6.75 | 5.6 | 40 | 81.0 | 9.9 | 94 | 0.228 |
| TD-LL | 7.83 | 11.8 | 38.32 | 77.18 | 7.55 | 87.2 | 0.449 |
| SD-TC-S | 6.41 | 7.2 | 42.0 | 85.0 | 7.4 | 60 | 0.051 |
| SD-TC-LL | 7.89 | 12.7 | 39.93 | 80.76 | 7.37 | 96.3 | 0.043 |
| SD-AU-S | 6.66 | 6.2 | 41.0 | 82.0 | 8 | 84 | 0.026 |
| SD-AU-LL | 7.7 | 12.2 | 39.37 | 70.35 | 7.34 | 97.2 | 0.053 |
| SD-PR-S | 6.67 | 8.2 | 42.0 | 85.0 | 9.4 | 96 | 0.026 |
| SD-PR-LL | 7.8 | 14.3 | 41.16 | 82.33 | 7.55 | 87.22 | 0.0371 |
| T-S | 7.0 | 7.1 | 46.0 | 91.0 | 5.5 | 47.6 | NE |
| T-LL | 7.88 | 12.8 | 40.14 | 80.89 | 7.4 | 96.9 | NE |

pH= Potencial de Hidrógeno, T= temperatura, TDS= Sólidos Disueltos Totales, K₂₅= conductividad eléctrica, OD= Oxígeno disuelto, Sat.Od= Saturación de oxígeno, Q=Caudal NE=No evaluados. SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes, T=Truchero. S= secas LL= llluvias.

Durante la temporada de secas se observó un incremento en la concentración de nutrientes respecto a la temporada de lluvias (Figura 3). Los nitritos registraron la mayor concentración en el sitio asociado con la descarga de aguas residuales urbanas (SD-AU, P=0.01333 mg/L). Los nitratos tuvieron los valores más altos en el sitio TD (P=1.15 mg/L) y el amonio en el sitio SD-TC (P=0.135 mg/L), que corresponde a la convergencia de agua del río y agua proveniente de los trucheros. En su conjunto, los valores de compuestos nitrogenados variaron en mayor medida que los ortofosfatos y estos incrementos no pudieron ser relacionados con una sola actividad antrópica, sino con el conjunto de las mismas.

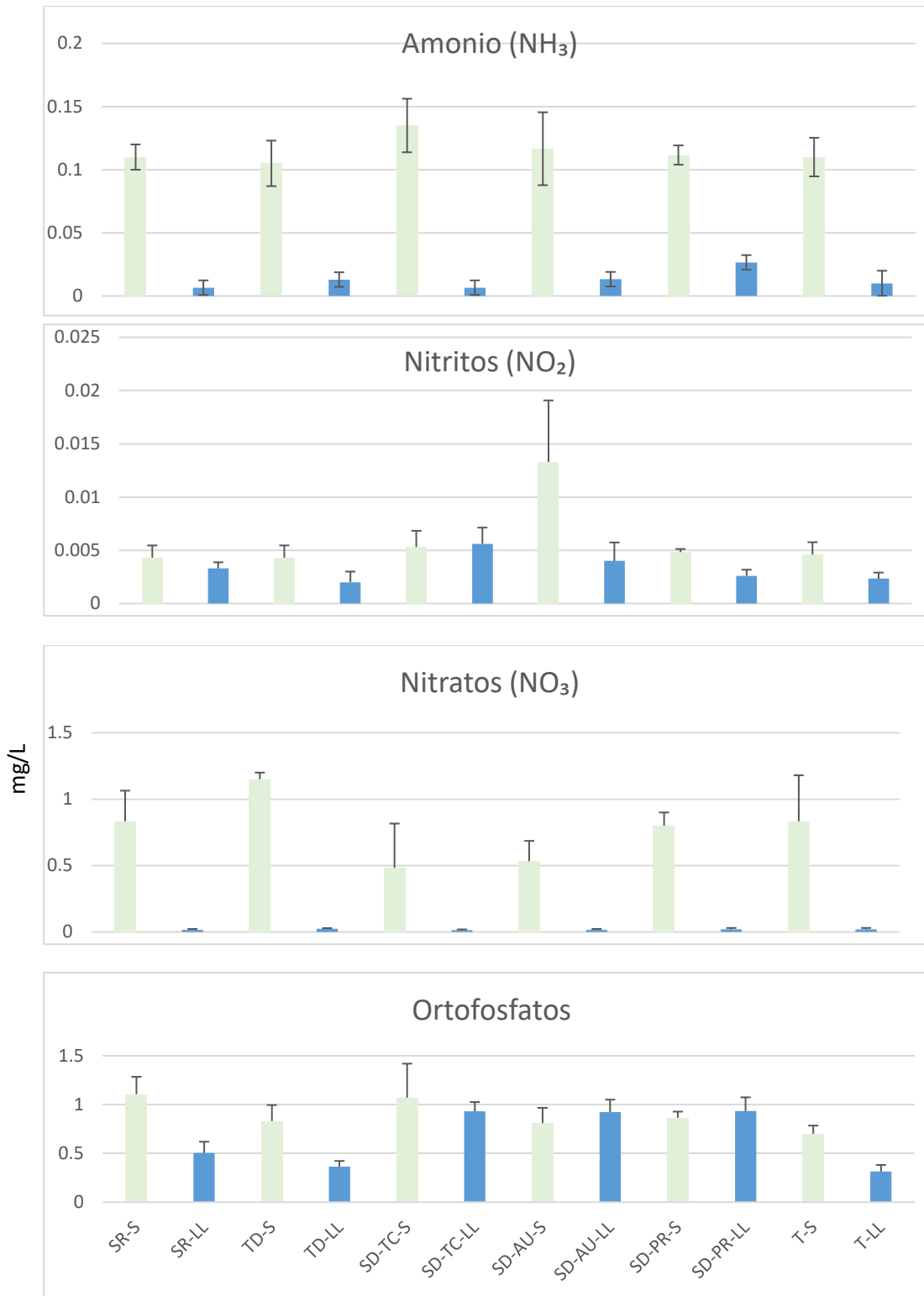
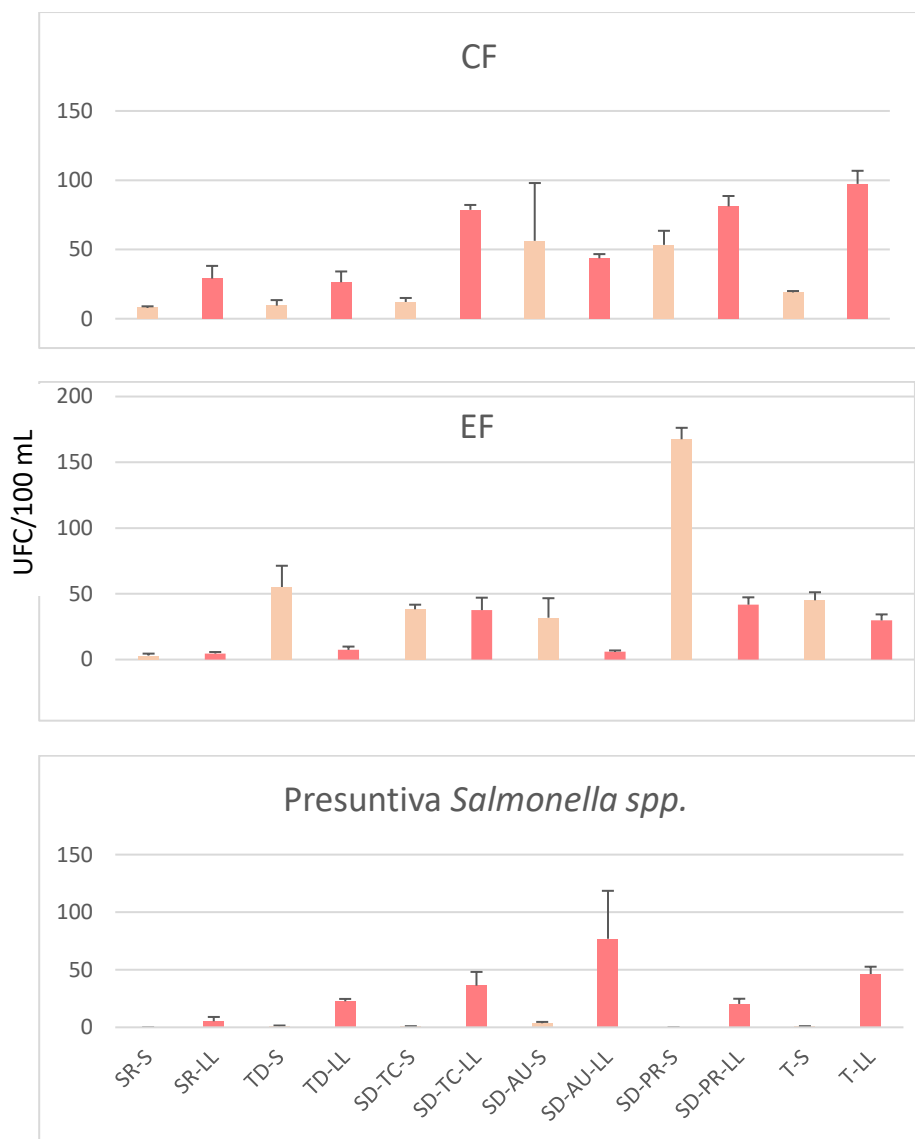


Figura 3. Variación de nutrientes en temporada de secas y lluvias en los puntos evaluados (n=12). Datos correspondientes al valor promedio expresados en mg/L. Barras de error indican desviación estándar. SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes, T=Truchero. S= secas LL= Lluvias.

c) Parámetros bacteriológicos

Al igual que los demás parámetros evaluados, los resultados del análisis bacteriológico revelaron una degradación progresiva, desde el Sitio de Referencia (SR) hasta la zona de mayor influencia humana en la parte media de la micro-cuenca (SD-TC, SD-AU, SD-PR y T) (Figura 4). En estos sitios se identificaron visualmente fuentes potenciales de microorganismos de origen fecal, relacionados con sanitarios instalados para la actividad turística y los sistemas piscícolas.



Crecimientos bacterianos del grupo de los coliformes fecales se identificaron en todas las muestras de los sitios evaluados, tanto en secas como en lluvias. Se observó un incremento durante lluvias, siendo el sistema de Truchero el punto con valores más altos (97 UFC/100 mL).

El grupo de los enterococos fecales también se observó en todos los sitios evaluados, pero a diferencia del anterior, la mayor magnitud se presentó en temporada de secas. Este grupo presentó el mayor número de colonias en los cultivos con respecto a los demás grupos evaluados. El sitio con mayor presencia del grupo fue el Segundo Dinamo- Puente de Restaurantes (SD-PR) (168 UFC/100 mL).





Los conteos de colonias presuntivas del género *Salmonella* spp, se evidenciaron en temporada de secas, en todos los sitios con excepción de SR y SR-PR. Por el contrario, en temporada de lluvias se observaron crecimientos en los cultivos de todos los sitios; siendo el Segundo Dinamo-Aguas residuales Urbanas (SD-AU) el que presentó los mayores conteos (77 UFC/100 mL).








Figura 4. Presencia de coliformes fecales, enterococos fecales y presuntiva *Salmonella* spp. en los sitios analizados en el área natural del río Magdalena. Los datos se expresan como Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mL (UFC/100 mL). CF= coliformes fecales; EF= enterococos fecales; S= Presuntiva *Salmonella* spp. SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes, T=Truchero. S= secas, LL= lluvias.







d) Macroinvertebrados acuáticos bentónicos







Se colectaron e identificaron un total de 1,457 individuos, pertenecientes a 18 géneros, 16 familias, cuatro subfamilias, una subclase y una clase durante las dos temporadas de colecta (Lámina 1). Con la finalidad de validar la evaluación de calidad de hábitat y del agua realizadas a través de los parámetros hidromórfológicos y físico-químicos se tomó en cuenta el grupo funcional alimenticio de los taxa (Lámina 1) y el valor indicador (IndVal) de éstos, desarrollado previamente para la zona (Tabla 6) (Caro-Borrero *et al.*, 2015).




Lámina 1. Clasificación taxonómica y asignación de grupos funcionales alimenticios de los macroinvertebrados bentónicos en la micro-cuenca del río Magdalena.

| Orden | Familia | Género | | Grupo funcional alimenticio |
|---------------|---------------|--------------------|--|--|
| Ephemeroptera | Baetidae | <i>Baetis</i> |  | Recolector, raspadores facultativos. |
| | Heptageniidae | <i>Epeorus</i> |  | Raspadores, recolectores facultativos. |
| | | <i>Rhithrogena</i> |  | Raspadores, recolectores facultativos. |
| Trichoptera | Hydrobiosidae | <i>Atopsyche</i> |  | Depredador. |

| | | | | |
|--|-------------------|----------------------|--|--|
| | Leptoceridae | <i>Nectopsyche</i> |  | Triturador-herbívoro,, recolector, depredador. |
| | Policentropodidae | <i>Polycentropus</i> |  | Depredador, filtrador, triturador-herbívoro. |
| | | <i>Cyrnellus</i> |  | Filtrador. |
| | Hydroptilidae | <i>Metrichia</i> |  | Triturador. |
| | | <i>Alisotrichia</i> |  | NR |
| | Sericostomatidae | <i>Gumaga Tsuda</i> |  | Triturador. |
| | Helicopsychidae | <i>Helycopsyche</i> |  | Raspadores obligados. |

| | | | | |
|------------|------------------|---------------------|--|---|
| | Xiphocentronidae | <i>Xiphocentron</i> |  | Recolector. |
| | Limnephilidae | <i>Limnephilus</i> |  | Triturador-detrítico y herbívoro, recolector facultativo. |
| | Glossosomatidae | <i>Glossosoma</i> |  | Raspadores obligados. |
| Plecoptera | Nemouridae | <i>Malenka</i> |  | Triturador-detrítico, recolector facultativo |
| Diptera | Dixidae | |  | Recolector |
| | Tipulidae | | | |
| | | <i>Hexatoma</i> |  | Depredador |

| | | | | |
|--|----------------|--------------------|--|--|
| | | <i>Antocha</i> |  | Recolector |
| | | <i>Tipula</i> |  | Trituradores- detritívoros obligados; trituradores- herbívoros facultativos; recolectores. |
| | Simuliidae | <i>Simulium</i> |  | Filtrador. |
| | Familia | Sub-familia | | Grupo funcional |
| | Chironomidae | | | |
| | | Tanypodinae |  | Depredador. |
| | | Orthoclaadiinae |  | Raspador, recolector. |
| | | Chironomini | | Recolector. |
| | | Tanytarsini |  | Filtrador y colector. |

| | | | | |
|--------------|------------------|--|---|-------------------------|
| | Dugesiidae | |  | Depredador. |
| Clase | Sub-clase | | | Grupo funcional |
| Acarina | | |  | Depredador. |
| | Oligochaeta | |  | Detritívoros, predador. |

Fuente: Fotografías propias, clasificación realizada con base en Cummins *et al.*, (2005); Merritt *et al.*, (2008), Bueno-Soria, (2010) y Reynaga, (2009). NR=No Registrado.

Para la asignación del IndVal de los taxa se dividieron los sitios en clases: la clase I, que indica una buena calidad ecológica, sólo incluyó el sitio de referencia (SR). El resto de los sitios fueron clasificados en la clase II o sitios en transición, es decir, aquellos que presentan una alteración en la calidad de agua y modificaciones en la naturalidad del caudal derivado de actividades humanas (Caro-Borrero *et al.*, 2015).

Aquellos taxa con un IndVal mayor o igual a 50, son considerados como indicadores para un sitio dado, mientras que aquellas con un IndVal menor que 50, pero mayor a 25 pueden ser tomadas como un taxa detector (Tornés *et al.*, 2007).

Tabla 6. Valor indicador de los taxa de macroinvertebrados (IndVal) en el río Magdalena.

| Organismos | Clase I. Sitio de Referencia en el río Magdalena (SR) | Clase II. (TD, SD-TC,SD-AU, SD-PR) |
|----------------------|---|------------------------------------|
| | Ind Val (%) | IndVal (%) |
| Tanypodinae | 18 | 6 |
| Orthocladiinae | 1 | 0 |
| Acarina | 69 | 4 |
| <i>Baetis</i> | 56 | 10 |
| <i>Polycentropus</i> | 26 | 10 |
| Tipula | 26 | 0 |
| Antocha | 41 | 0 |
| Oligochaeta | 12 | 10 |
| <i>Atopsyche</i> | 44 | 0 |
| <i>Simulium</i> | 14 | 23 |
| <i>Limnephilus</i> | 26 | 0 |
| <i>Epeorus</i> | 33 | 6 |
| Nemouridae | 42 | 0 |

IndVal= Valor indicador SR= Sitio de Referencia TD= Tercer dinamo SD-TC=Segundo Dinamo- Desembocadura de Truchero SD-AU= Segundo Dinamo- Agua residual Urbana SD-PR= Segundo Dinamo- Puente de Restaurantes. Valores asignados con base en Caro-Borrero *et al.*, (2015).

Con respecto a la variación de los ensamblajes presentes en cada sitio, por estación del año (Figura 5), se pudieron reconocer ciertos patrones. Por ejemplo, el género *Baetis* fue dominante en la mayor parte de los sitios muestreados y, su presencia fue consistente durante las dos estaciones, representando el 50% del total de la muestra, seguido de la sub-familia de quironómidos Tanytarsini, con casi el 15%. Desde el punto de vista estacional, durante secas, *Baetis* fue predominante en cuatro sitios excepto en SD-TC en donde fue de mayor abundancia Tanytarsini, en lluvias. *Baetis* predominó en tres sitios: SR, TD, SD-TC, mientras que Tanytarsini fue predominante en el resto: SD-AU y SD-PR.

Los taxa con presencia consistente en todos los sitios durante las dos temporadas evaluadas fueron *Baetis*, *Polycentropus* y *Atopsyche*. Los taxa con presencia en todos los sitios, pero con variación en temporadas del año fueron: Tanypodinae y Chironomini, seguidos de *Simulium* con presencia en 4 sitios con variaciones durante secas y lluvias, así como Tanytarsini y Acarina presentes en tres y cuatro sitios respectivamente.

Por el contrario, los taxa que mostraron una presencia restringida a un sitio y a una estación climática, fueron *Cyrnellus*, para temporada de secas, y *Alisotrichia* en lluvias para el sitio de referencia, *Hexatoma* para el sitio TD y *Xiphocentron* para el sitio SD-AU, ambos en temporada de secas.

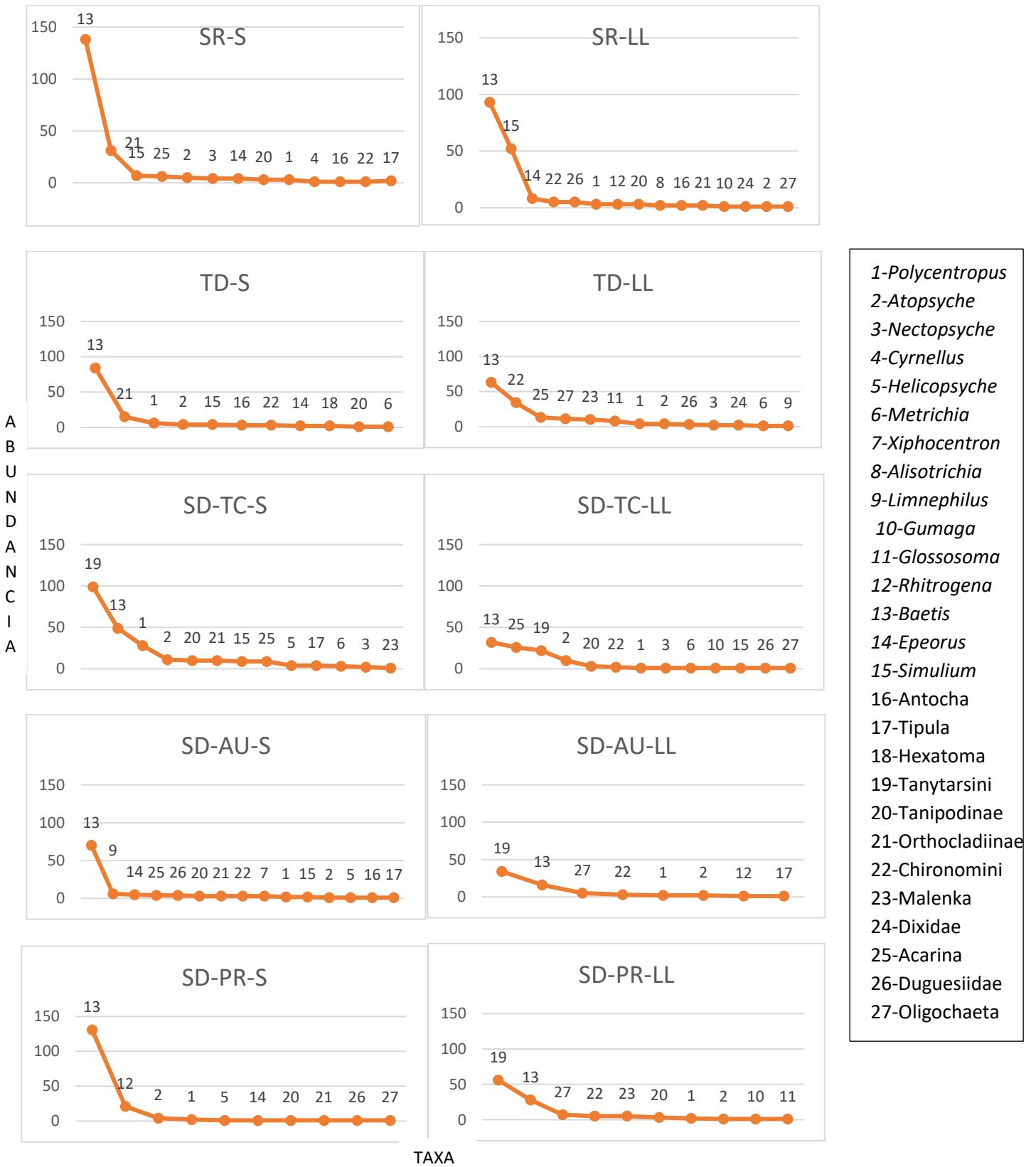


Figura 5. Abundancia de los macroinvertebrados bentónicos por sitio de muestreo y estación climática en la micro-cuenca del río Magdalena. SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes. S= secas LL= llluvias.

Análisis estadísticos de la estructura y composición de los ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos

El índice de riqueza de especies de Margalef reveló una diversidad biológica de media a alta, con un incremento en la riqueza de especies en el sitio SD-AU en temporada de secas. Mientras que el índice de Shannon mostró valores similares en todos los sitios, con excepción de SD-PR en temporada de secas (Figura 6).

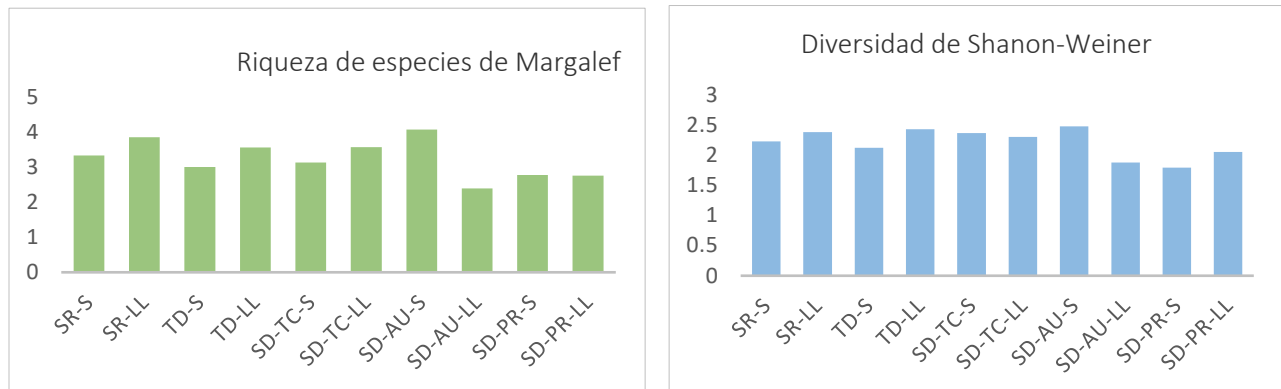


Figura 6. Valores de índices univariados de macroinvertebrados acuáticos en la micro-cuenca del río Magdalena. SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes. S= secas LL= llluvias.

El análisis de escalamiento multidimensional (MDS) reveló que los ensamblajes de macroinvertebrados parecen estar separados de acuerdo con los sitios y las temporadas climáticas. Sin embargo, al realizar los análisis ANOSIM para confirmar dichas separaciones, encontramos que no existen diferencias significativas ni entre los sitios, ni entre estaciones climáticas (Figura 7).

Los análisis SIMPER permitieron establecer diferencias en la composición y estructura de los ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos por estación climática a lo largo del año y el peso de cada uno de los taxa sobre la definición de los ensamblajes por sitio. Las estaciones climáticas presentaron una diferencia en la composición de los ensamblajes del 60%, donde los géneros *Baetis*, *Simulium* y la subfamilia Tanytarsini son los responsables de dicha diferenciación.

La estación climática de secas se relacionó con los géneros *Baetis*, *Simulium* y *Polycentropus*, así como la subfamilia Orthocladiinae. Por otra parte, los taxa Tanytarsini, Chironomini y Acarina mostraron mayor afinidad por las condiciones ambientales representadas en llluvias (Tabla 7).

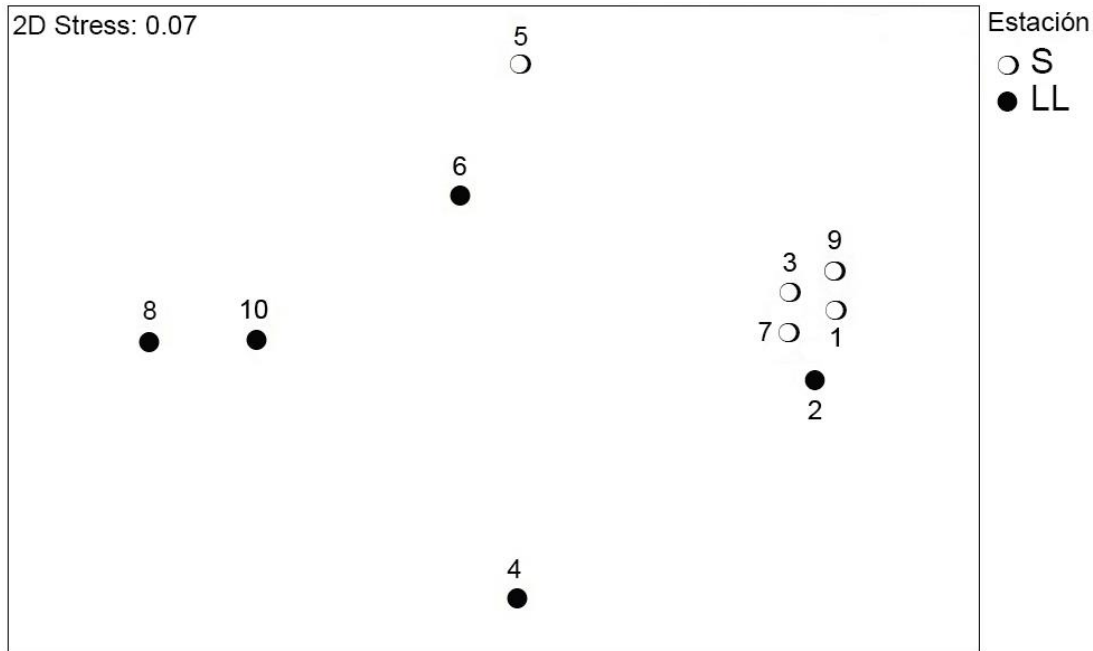


Figura 7. Escalamiento multidimensional no métrico. Similitud de Bray-Curtis. ANOSIM de una vía para macroinvertebrados bentónicos no detectó diferencias entre estaciones climáticas ($R=-0.06$, $p=0.03$) ($n= 10$ muestras). 1=SR-S, 2=SR-LL, 3=TD-S, 4= TD-LL, 5=SD-TC-S, 6=SD-TC-LL,7=SD-AU-S, 8=SD-AU-LL, 9=SD-PR-S, 10=SD-PR.

Tabla 7. Contribución a través del análisis SIMPER de los taxa de macroinvertebrados bentónicos en la disimilitud entre estaciones (Secas y Lluvias)

| | SECAS | | LLUVIAS | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Taxa | AB.PROM | AB.PROM | CON% | CON.AC% |
| <i>Baetis</i> | 94.4 | 46.4 | 32.0 | 32.0 |
| Tanytarsini | 19.8 | 22.4 | 21.59 | 53.59 |
| <i>Simulium</i> | 8.6 | 10.6 | 8.33 | 61.92 |
| Orthocadiinae | 12.0 | 0.4 | 6.13 | 68.06 |
| Chironomini | 1.4 | 9.8 | 4.97 | 73.03 |
| Acarina | 3.8 | 7.8 | 4.63 | 77.66 |
| <i>Polycentropus</i> | 8.2 | 2.4 | 2.97 | 80.63 |
| Oligochaeta | 0.2 | 3.6 | 2.65 | 83.28 |
| <i>Malenka</i> | 0.2 | 3.0 | 1.95 | 85.23 |
| Dugesiidae | 1.0 | 1.8 | 1.83 | 87.06 |
| <i>Epeorus</i> | 2.4 | 1.6 | 1.72 | 88.78 |
| Tanipodinae | 3.6 | 1.8 | 1.68 | 90.46 |

AB.PROM= Abundancia promedio CON%= Porcentaje de contribución CON.AC%= Porcentaje de contribución acumulativa.

Las diferencias entre los sitios, mostraron que el sitio TD presentó el menor porcentaje de disimilitud con respecto al SR. Por otro lado, el punto con mayor disimilitud respecto a SR fue SD-TC, con más del 65% de diferencia. Entre los sitios con alteraciones antropogénicas (SD-TC, SD-AU y SD-PR), aquellos con menor disimilitud fueron SD-AU y SD-PR. Dado que estos sitios son los que presentaron mayor modificación estructural del cauce, se infiere que la estructura de los ensamblajes responde de distinto modo en sitios con mayor influencia antrópica.

Tabla 8. Porcentaje de disimilitud a partir del análisis SIMPER entre los sitios muestreados basado en los ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos en la micro-cuenca del río Magdalena

| | SR | TD | SD-TC | SD-AU |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| TD | 42.54 | | | |
| SD-TC | 65.31 | 57.77 | | |
| SD-AU | 61.04 | 51.01 | 54.53 | |
| SD-PR | 46.18 | 49.89 | 55.89 | 38.33 |

SR=Sitio de Referencia, TD=Tercer Dinamo, SD-TC=Segundo Dinamo-Desembocadura de Truchero, SD-AU=Agua residual Urbana, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes.

De acuerdo con los análisis con SIMPER, los organismos característicos de los sitios evaluados fueron: para el SR: *Baetis*, *Epeorus*, Orthocladiinae y *Simulium*. Mientras que para TD fueron: Chironomini, Acarina, *Malenka* y *Glossosoma*. *Baetis* contribuyó con el mayor porcentaje a la disimilitud entre los sitios con casi el 30%, el mayor porcentaje de abundancia del género lo presentó el sitio de referencia (SR) disminuyendo en un 36.37% en el sitio TD.

En cuanto a los sitios ubicados en el segundo dinamo, para SD-TC, los taxa con mayor abundancia fueron Tanytarsini, Acarina, *Polycentropus* y *Atopsyche*. Respecto al sitio de referencia, *Baetis* mostró una disminución en su abundancia en SD-TC del 64.93%. El sitio SD-AU mostró abundancias menores, siendo representativo del sitio Tanytarsini, a pesar de que las abundancias de la subfamilia son mayores en el SD-TC. Respecto a *Baetis*, en SD-AU se mostró una disminución en su abundancia promedio de un 62.78% en comparación con SR.

Para el último punto (SD-PR), los taxa con mayor abundancia porcentual los presentan Tanytarsini, *Dixidae* y *Malenka*, sin embargo, Tanytarsini presentó mayor abundancia en SD-TC y el género *Baetis* disminuyó un 31.17% en SD-PR respecto a SR, siendo el sitio con menor disminución en la abundancia del género.

Finalmente, los análisis BIO-ENV mostraron que las variables ambientales más importantes que explicaron la diversidad de macroinvertebrados fueron la temperatura, los ortofosfatos, nitratos oxígeno disuelto y calidad de hábitat, explicando aproximadamente el 40% de la varianza.

e) Algas macroscópicas bentónicas.

Durante los dos periodos de colecta se identificaron siete especies de algas bentónicas macroscópicas, pertenecientes a los siguientes grupos taxonómicos: 3 Chlorophyta (*Cladophora glomerata*, *Prasiola mexicana*, *Ulothrix* sp.), 3 Cyanoprocarvota (*Nostoc parmelioides*, *Placoma regulare* y *Phormidium autumnale*) y 1 Heterokontophyta (*Vaucheria bursata*). Los grupos funcionales de dichas especies algales corresponden a crecimientos laminares, filamentosos, mucilaginosos y matas (Tabla 9).

Tabla 9. Asignación de grupos funcionales para algas macroscópicas

| Taxa | Grupo Funcional |
|----------------------------------|---------------------|
| División Chlorophyta | |
| <i>Prasiola mexicana</i> | Laminar |
| <i>Cladophora glomerata</i> | Filamentoso epífito |
| <i>Ulothrix</i> sp. | Filamentoso |
| División Cyanophyta | |
| <i>Nostoc parmelioides</i> | Mucilaginoso |
| <i>Placoma regulare</i> | Mucilaginoso |
| <i>Phormidium autumnale</i> | Mata |
| División Heterokontophyta | |
| <i>Vaucheria bursata</i> | Filamentoso |

Información determinada a partir de: Rodríguez (2014), Sheath y Cole (1992) y Steneck *et al.*, (1994).

Respecto al valor indicador de las especies (Tabla 10), se asignó con base en los estudios previos de Carmona *et al.* (2016), aunado a la caracterización de los sitios evaluados de acuerdo con el estado trófico propuesto en ese estudio. De acuerdo con los resultados aquí presentados, el SR pertenece al grupo I, reconocido como de condiciones oligotróficas, mientras que los ubicados en el tercer y segundo Dinamo (TD, SD-TC- SD-AU y SD-PR) pertenecen al grupo II, con aguas de oligotróficas a mesotróficas.

Tabla 10. Valor indicador de las especies de algas macroscópicas bentónicas y la caracterización por nivel trófico de los sitios evaluados en la microcuenca del río Magdalena.

| Algas macroscópicas | | Clase I. Sitio de referencia (SR) | Clase II. (TD, SD-TC, SD-AU, SD-PR) |
|-----------------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | | IndVal (%) | IndVal (%) |
| <i>Vaucheria bursata</i> | | | |
| | LL | 0 | 0 |
| | SF | 100 | 0 |
| <i>Prasiola mexicana</i> | | | |
| | LL | 47 | 53 |
| | SF | 59 | 40 |
| <i>Placoma regulare</i> | | | |
| | LL | 0 | 0 |
| | SF | 47 | 53 |
| <i>Nostoc parmelioides</i> | | | |
| | LL | 0 | 0 |
| | SF | 100 | 0 |
| <i>Phormidium autumnale</i> | | | |
| | LL | 0 | 0 |
| | SF | 0 | 0 |

De acuerdo con Carmona *et al.*, (2016).

Para las dos temporadas evaluadas, *Prasiola mexicana* mostró un promedio de cobertura porcentual cercano a 40% , *Placoma regulare* de 18%, *Nostoc parmelioides* con 5%, *Vaucheria bursata* 3%, *Ulothrix* sp. de 2%, *Cladophora glomerata* de 0.6 y *Phormidium autumnale* de 0.2% (Figura 8).

Los crecimientos de *Prasiola mexicana* se encontraron en todos los sitios y las dos temporadas con excepción del SD-TC. Las mayores coberturas porcentuales se registraron en el sitio de referencia (SR) (94% en lluvias) y mostraron una disminución en los demás sitios evaluados.

La especie *Placoma regulare* se colectó en todos los sitios evaluados en temporada de secas, con la mayor cobertura en el sitio TD (62%) y en lluvias presentó la mayor cobertura en SR (13%) y estuvo ausente únicamente en dos sitios, SD-TC y SD-AU. *Nostoc parmelioides* mostró crecimientos en sólo dos sitios evaluados, TD y SD-PR en las dos temporadas, y mostró la mayor cobertura durante secas (22%). *Ulothrix* sp. se identificó en el SR durante secas, con 8% de cobertura, en SD-TC y SD-AU en lluvias, con 14 y 2% respectivamente.

Las especies restantes mostraron afinidad por un solo sitio de muestreo y una temporada climática, por ejemplo, *Vaucheria bursata* para SD-TC en secas con 27%, *Phormidium autumnale* en TD en lluvias con 2% y *Cladophora glomerata* en SD-PR en lluvias con 6%.

%

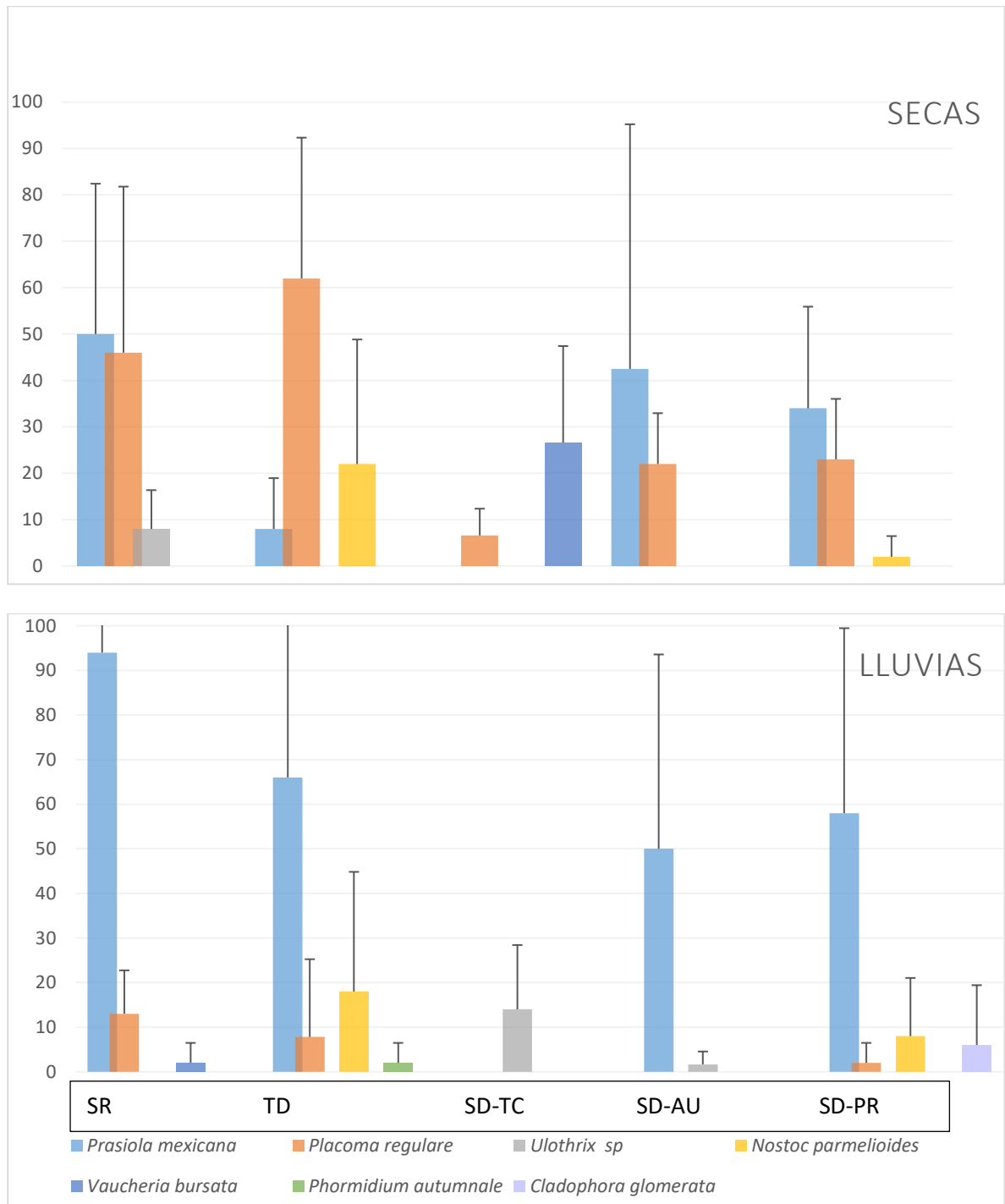


Figura 8. Comparación estacional de la cobertura porcentual de las algas macroscópicas en la micro-cuenca del río Magdalena. Valores expresados en cobertura porcentual de los valores promedio durante las dos temporadas climáticas evaluadas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes.

El análisis MDS con PRIMER reveló que las algas presentaron algunas diferencias por sitio y estación climática. Sin embargo, el análisis ANOSIM confirmó que no existen diferencias significativas ni entre los sitios, ni entre estaciones (Figura 9).

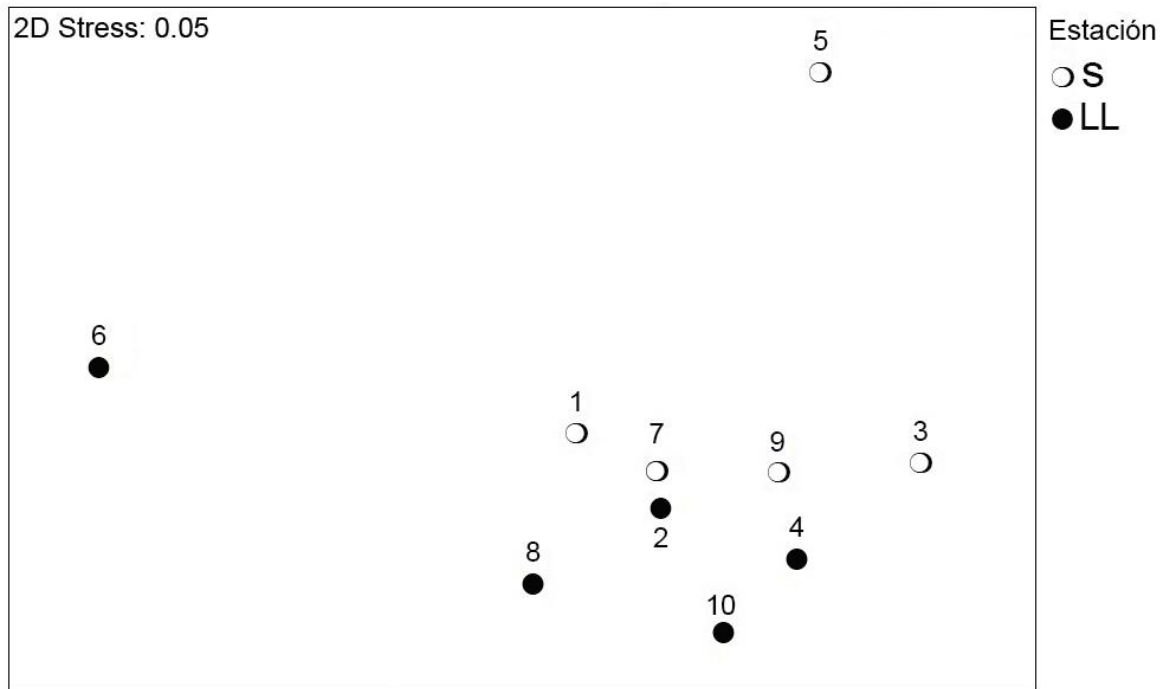


Figura 9. Escalamiento multidimensional no métrico. Similitud de Bray-Curtis ANOSIM de una vía para algas macroscópicas (n=10). 1=SR-S, 2=SR-LL, 3=TD-S, 4= TD-LL, 5=SD-TC-S, 6=SD-TC-LL,7=SD-AU-S, 8=SD-AU-LL, 9=SD-PR-S, 10=SD-PR.

La caracterización de los sitios basada en las especies de algas a través del análisis SIMPER, mostró un porcentaje de disimilitud de casi el 48% entre las dos temporadas evaluadas. Las especies que contribuyeron con más del 50% a dicha disimilitud fueron *Placoma regulare* y *Vaucheria bursata*, mostrando ambas una mayor abundancia promedio en temporada de secas, mientras que *Ulothrix sp.* y *Prasiola mexicana* tuvieron mayor porcentaje en lluvias, como se muestra en la tabla 11.

El sitio con mayor disimilitud (90%) respecto a SR fue SD-TC, seguido de SD-PR (38.28%), TD (35.15), mientras que SD-AU fue el sitio con menor disimilitud respecto a SR (29.1%). Por lo que la estructura de la comunidad resultó ser mas parecida entre el SD-AU ubicado en el Segundo Dinamo, y el sitio de referencia, en el Cuarto Dinamo.

Tabla 11. Contribución de las especies algales en la disimilitud entre temporadas climáticas.

| | SECAS | LLUVIAS | | |
|--------------------------|---------|---------|-------|----------|
| Especies | AB.PROM | AB.PROM | CON % | CON. AC% |
| <i>Placoma regulare</i> | 5.11 | 1.56 | 34.26 | 34.26 |
| <i>Vaucheria bursata</i> | 1.03 | 0.28 | 20.86 | 55.12 |
| <i>Ulothrix</i> sp. | 0.57 | 1.01 | 20.33 | 75.44 |
| <i>Prasiola mexicana</i> | 4.22 | 6.5 | 16.7 | 92.15 |

AB.PROM= Abundancia promedio CON%= Contribución porcentual CON.AC%=Contribución porcentual acumultaiva

De acuerdo con el procedimiento SIMPER, se reconoció el porcentaje de contribución de las especies a la disimilitud entre las temporadas evaluadas. De esta manera, ambas estaciones difieren en 90%, siendo las especies representativas de las condiciones de secas *Placoma regulare* y *Vaucheria bursata*, mientras que, *Ulothrix* sp. y *Prasiola mexicana* fueron características de la temporada de lluvias.

Respecto a la disimilitud por sitios, SD-TC presentó el mayor porcentaje de disimilitud respecto a SR (89.47%), mientras que SD-AU presentó el menor porcentaje de disimilitud (29.17%) (Tabla 12). Así mismo, se establecieron las especies representativas de los sitios, el SR fue caracterizado por la presencia de *Prasiola mexicana* y *Placoma regulare*. En el TD destacaron: *Placoma regulare*, *Nostoc parmelioides* y *Phormidium autumnale*. En cuanto a los sitios ubicados en el Segundo Dinamo, para SD-TC, las especies representativas fueron: *Vaucheria bursata* y *Ulothrix* sp. Por su parte, el sitio SD-AU se caracterizó por la especie *Prasiola mexicana*. Para el último punto (SD-PR), las especies representativas fueron *Nostoc parmelioides* y *Cladophora glomerata*. La especie *Nostoc parmelioides* contribuyó con el mayor porcentaje a la disimilitud entre los sitios, con más de 40%.

Tabla 12. Porcentaje de disimilitud entre sitios con SIMPER de PRIMER para algas macroscópicas bentónicas del río Magdalena.

| SITIOS | SR | TD | SD-TC | SD-AU |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| TD | 35.15 | | | |
| SD-TC | 89.47 | 88.89 | | |
| SD-AU | 29.17 | 43.38 | 75.79 | |
| SD-PR | 38.28 | 28.45 | 85.83 | 30.45 |

SR=Sitio de Referencia, TD= Tercer Dinamo, SD-TC= Segundo Dinamo- Desembocadura de Trucheros, SD-AU= Segundo Dinamo- Aguas residuales Urbanas, SD-PR= Segundo Dinamo-Puente de Restaurantes.

Finalmente, los análisis BIO-ENV mostraron que las variables ambientales más importantes que explicaron la diversidad de algas fueron el pH, los nitratos y el amonio (rw=0.214).

7.2 Síntesis histórica de la gestión del agua del río Magdalena: evolución socio-ecológica en la micro-cuenca

El río Magdalena históricamente ha presentado una serie de transformaciones socio-políticas derivadas, principalmente, de los beneficios económicos que los servicios ecosistémicos de la micro-cuenca proveen. Dichos procesos han influido en condiciones sociales, ambientales, políticas y culturales actuales de la micro-cuenca.

A continuación, se presenta una síntesis de algunos eventos históricos desarrollados en la micro-cuenca, principalmente aquellos en torno al uso y gestión del agua del río Magdalena, así como el impacto de dichos eventos sobre aspectos sociales, económicos y ambientales en la zona (Tabla 3). Aunado a dicha síntesis, incluyo una breve reseña de la legislación de la micro-cuenca, con lo que se obtiene una visión integral de los aspectos sociales y políticos, así como sus implicaciones sobre el estado actual de conservación, haciendo énfasis en las transformaciones en el Suelo de Conservación, principalmente por la expansión de asentamientos humanos irregulares en la delegación Magdalena Contreras.

Tabla 3. Evolución político-económica en el socio-ecosistema de la micro-cuenca del río Magdalena (Tomado de: Quevedo, 1943; Aboites-Aguilar, 1998; CONAGUA, 2009; Acosta, 2001; Barbosa, 2005; Ramos, 2008; Becerril, 2009; Ávila-Akerberg, 2010; Vitz, 2012; Galindo, 2012; Zamora, 2013; y Caro-Borrero, 2016).

| Momento histórico | Año | Acontecimientos | Implicaciones |
|---------------------|-----------|--|--|
| México prehispánico | 2000 a.C- | Primeros habitantes de la zona: Chichimecas Nahuatlacas asentados en las partes altas de la micro-cuenca del río Magdalena. | El río era importante principalmente por su valor cultural y religioso, ya que cerca de él se edificaron centros ceremoniales dedicadas al culto a Tláloc, (del náhuatl tlalocli , "Néctar de la tierra"), deidad de la lluvia. |
| | 1520 d.C | | |
| Época Mexica | 1303 | Fundación de cuatro pueblos mexicas: Aculco, Ocototec, Atlitic y Totolapan | Repartición de aguas entre los obrajes instalados a lo largo del río, así como pueblos y haciendas aledañas. El agua fungió como un elemento |
| | 1325 | Salen los mexicas de la Magdalena para fundar México Tenochtitlan | |
| La Colonia | 1521 | Conquista de México → El agua se divide en bien público y privado, éste último por concesiones reales. | Repartición de aguas entre los obrajes instalados a lo largo del río, así como pueblos y haciendas aledañas. El agua fungió como un elemento |
| | 1543 | Inicio de la actividad productiva en el río Magdalena, instalación de un batán para la manufactura de telas. | |
| | 1550 | Permisos para las actividades a lo largo del río. -Batan de Posadas -Batan de Sierra -Batan de Anzaldo -Batan de Contreras | |

| | | |
|----------------------|---|--|
| | <p>El río Magdalena fue crucial para las actividades económicas en la zona.</p> <p>1635 Juan Canseco, oidor de la Real Audiencia de la Nueva España realizó la primera medición del agua del río que tenía como objetivo lograr una distribución equitativa del recurso entre los poblados. En la colonia, las unidades más utilizadas para medir el agua eran el buey, la naranja, el dedo, el real del agua, la paja de agua y el surco.</p> <p>Se determinó que el cauce del río media 33 surcos, un surco era equivalente a un orificio en la tierra de seis pulgadas de base y 45 de altura. El principal uso del agua del río en la colonia era para riego agrícola, Juan Canseco fungió como juez del río, facilitando el cumplimiento de las actividades para el sistema de riego, como la construcción, mantenimiento y rehabilitación de obras hidráulicas, además de encargarse de la resolución de los conflictos en torno al agua. El sistema de usuarios del agua del río estaba dividido con base en el curso del agua y la primera obra de infraestructura para regularla: la presa el Rey. Los grupos de usuarios situados al norte de esta presa eran llamados superiores y los localizados al sur, inferiores. Los primeros, tenían dos grupos de usuarios, los pueblos y barrios indígenas, que eran los principales usuarios del agua y las haciendas y huertas, en total, grupo superior se les dotaba tres surcos de agua.</p> <p>1636 Transformación de batán por obraje para el aumento en la producción textil.</p> <p>1789 Segunda repartición de agua del río realizada por el oidor Baltasar Ladrón de Guevara.</p> <p>Se determinó que el río llevaba 30 surcos y dos naranjas, es decir, tenía dos surcos y una naranja menos a los medidos en 1635, por tal motivo se disminuyó la dotación, todos los usuarios recibieron seis dedos menos, sin embargo, se incluyeron nuevos usuarios, uno de ellos, por ejemplo, la hacienda la cañada. En el recorrido realizado por Ladrón de Guevara identificaron modificaciones en el ecosistema derivado de la construcción de presas y tomas para distribución.</p> | <p>importante para solventar el riego de cultivos agrícolas.</p> <p>El sistema de usuarios del agua del río estaba dividido con base en el curso del agua y la infraestructura para regularla.</p> <p>Las intervenciones humanas comienzan a tener un impacto visible en el ecosistema, principalmente derivado de la instalación de infraestructura en el cauce. Se detecta una reducción en el caudal del río.</p> |
| México independiente | <p>1810 Independencia de México</p> <p>1827 Inicio de la industrialización con la creación del Banco del Avío</p> | <p>Las reglas judiciales para el aprovechamiento de agua</p> |

| | | | |
|---------------------------|------|--|--|
| Porfiriato (1876-1910) | 1830 | Construcción de fábrica textil “La Magdalena” para producción de hilados y tejidos de algodón, | implementadas en la colonia fueron prácticamente iguales durante los primeros tres cuartos del siglo XIX, en materia no agua no se desarrolló una transformación relevante en el México Independiente. |
| | 1836 | Dos grandes fábricas en el pueblo de Contreras, La Magdalena y El Águila, ésta última se dedicaba a los géneros de lana. Establecimientos fabriles como La Magdalena, La Hormiga, El Águila, Santa Teresa, Puente Sierra y Loreto instalaron maquinaria en diversos puntos del río para la obtención de energía hidráulica, es decir, el crecimiento fabril estuvo impulsada por los beneficios o servicios ecosistémicos que brindaba la zona, ya que, para mover sus turbinas, las fábricas aprovechaban las zanjas construidas en el río. algunas empresas aprovecharon la madera del bosque, como materia prima indispensable para las máquinas textiles, como combustible y para la elaboración de celulosa en la fábrica papelera Loreto. | Las fábricas se apropian de la naturaleza. Le otorgan nuevos valores al aprovechar recursos baratos como el agua del río y la mano de obra indígena. Uso del afluente del río y retención de agua, así como aprovechamiento maderable del bosque. |
| | 1846 | Construcción de las fábricas La Magdalena, El Águila, y Santa Teresa a la ribera del río Magdalena. Establecimiento de fábricas fuera de los márgenes del río, pero con uso de sus aguas: La Hormiga, La Alpina y Puente Sierra. | Establecimiento de viviendas aledañas para los trabajadores, lo cual favoreció la dinámica económica de la zona, pero acrecentó las diferencias socio-económicas. Cambios en la estructura del cauce del río con las construcciones. |
| | 1856 | La Junta Superior de Desagüe es el órgano facultado para disponer de las aguas estancadas de los ríos. | Desde 1850 el gobierno federal comienza a tener injerencia en el control de aguas, ya que éste era únicamente de los gobiernos locales y estatales. |
| | 1894 | Decreto que faculta al poder ejecutivo federal a hacer concesiones de agua a particulares y compañías. | Se generan conflictos entre los diferentes niveles de gobierno. |
| | 1896 | Se autoriza al gobierno federal para ratificar las concesiones que el estatal había otorgado con anterioridad. | |

| | | |
|---------------------------------|---|---|
| Revolución mexicana (1910-1920) | <p>1897 Se instala la planta hidroeléctrica (dinamos) sobre el cauce del río, hecho que cobró gran importancia, derivando en el nombre de la zona "Los Dinamos". La implementación de la planta resultó benéfica para algunas fábricas textiles, por ejemplo, La Magdalena, La Alpina y Santa Teresa. La implementación de la planta proporcionó a los pueblos aledaños energía eléctrica, vías de comunicación como caminos, telégrafos y puentes que permitían cruzar el río. Las caídas del río concesionadas para fuerza motriz estaban divididas en: tercer y cuarto dinamo por la compañía industrial Puente Sierra, primer dinamo La Magdalena, Santa Teresa, Puente Sierra y Loreto y Peña Pobre.</p> | <p>Las concesiones otorgadas por el Gobierno provocaron conflictos entre pequeñas y grandes fábricas industriales, además de los desatados con pueblos y haciendas aledañas, por el reparto inequitativo de las aguas y su incapacidad por defender los derechos y mercedes concedidos en la Colonia.</p> |
| | <p>1899 Se realiza la inspección en el río Magdalena a cargo del ingeniero Agustín del Río, con el fin de regular las concesiones otorgadas.</p> <p>Los resultados no dieron base para modificar las cantidades brindadas a los usuarios, ya que, no se encontró ningún cambio en el caudal, por tal, la reducción en la dotación de agua no tenía ningún fin, así los usuarios podían disponer del mismo volumen de agua concesionada con anterioridad.</p> | |
| | <p>1900 Inician problemas de huelgas con los obreros por las condiciones de trabajo, aunado a problemas financieros de las fábricas.</p> <p>Instauración de las juntas locales de bosques</p> | <p>Juntas originadas por la gran deforestación en zonas con plantas hidroeléctricas</p> |
| | <p>1901 Reforestación a orillas del río Magdalena por la junta de bosques de la Ciudad de México.</p> | |
| | <p>1901 Explotación ilegal de las fábricas de papel y textiles en la sub-cuenca de los ríos Magdalena-Eslava</p> <p>1911</p> | |
| | <p>1907 Estudio del agua del río por el ingeniero Abel Navas. Se tenían doce concesiones para el uso del río, seis permitían la operación de la estación hidroeléctrica y el resto funcionarían a partir del gasto directo del río.</p> | <p>Se desatan conflictos sociales derivados de las desigualdades en el reparto hídrico hacia los distintos usuarios.</p> |

| | | |
|------|--|---|
| 1910 | En la Ciudad de México se da un auge en la aplicación de políticas de conservación. | |
| - | | |
| 1940 | “los bosques protegían los manantiales que abastecían de agua la ciudad, ayudaban a disminuir las inundaciones al fijar la tierra y absorber el agua de lluvias torrenciales” (Quevedo, 1943). | |
| 1917 | Artículo 27 de la Constitución, señala las aguas como propiedad de la nación. | Se suscitan problemas de pagos de impuestos por el derecho de uso del agua y reclamos de propiedad por parte de los dueños de las fábricas. |
| 1918 | Establecimiento de una junta de agua local para manejo y uso del agua del río Magdalena. | |
| 1924 | Se retiran las dotaciones de agua de la hacienda La Cañada para otorgarlas al nuevo Ejido de la Magdalena Contreras y el pueblo de San Jerónimo. En este decreto presidencial, el río Magdalena fue declarado de jurisdicción federal, iniciando nuevos procesos de inspección a los usuarios, principalmente a las fábricas. | |
| 1926 | Explotación del bosque por parte de élites, excluyendo a los pueblos indígenas. Se decreta la Ley sobre Irrigación de Aguas Federales y se crea la Comisión Nacional de Irrigación bajo la Secretaría de Agricultura y Fomento, encargada, posteriormente, de reglamentar las concesiones para el abasto de agua potable. | En respuesta se aprueba la Ley Forestal que prohíbe la tala en cuencas urbanas. |
| 1929 | Nace la Cooperativa Forestal La Magdalena | |
| 1931 | Las cooperativas logran controlar el mercado forestal, pero | |
| - | no lograron desaparecer la explotación forestal clandestina | |
| 1932 | Primera declaratoria de “Zona Protectora Forestal Bosques de la Cañada de Contreras” con una extensión de 3,100 ha. | |
| 1934 | Obreros de la Magdalena censuraron la tala despiadada de las zonas permitidas al uso de las cooperativas | Se temía el agotamiento de los recursos hídricos de los que vivían las comunidades, así como las fábricas del río Magdalena. |
| - | | |
| 1940 | | |

| | | |
|-------------|---|--|
| 1936 | Todos los recursos hídricos de la Magdalena estaban concesionados. | Distribución del agua entre los pobladores, las haciendas y las fábricas. |
| 1940 | Se creó la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la fábrica de papel Peña Pobre. | |
| 1940 - 1950 | Urbanización de la zona residencial del Pedregal de San Ángel. | Devino la entubación del primer tramo del río, aumentando, además, la contaminación por los desechos derivados de la zona habitacional. |
| 1941 | Veda de tala impuesta a los bosques del sur de ciudad, incluida la sub-cuenca de los ríos Magdalena-Eslava. | |
| 1945 | Desmantelan la fábrica de Peña Pobre. | Se argumenta que la cantidad de agua era mínima y hacía inoperantes las turbinas. |
| | La Comisión Nacional de Irrigación realizó un análisis del agua desechada por las distintas fábricas, realizando una clasificación de agua de primera, segunda, tercer, cuarta y quinta clase, de acuerdo al uso que se le pudiese dar para las actividades ganaderas, agrícolas y humanas, así, por ejemplo, el análisis en la fábrica La Magdalena mostró un agua color amarillo-verdoso, clasificada como de quinta clase, impropia para la alimentación del ganado e inútil en agricultura. | La contaminación del agua causada por las fábricas en la zona alta y por la descarga de agua residual doméstica al cauce del río, hacían desfavorable la calidad del agua del río. |
| 1947 | Inicia la creación de las primeras Comisiones de Agua en el país. Se permite la explotación científica de los bosques a la fábrica de papel Peña Pobre. Se da la segunda declaratoria sobre la micro-cuenca como "Zona de Protección Forestal del río Magdalena", a una franja de 12 km desde el nacimiento del río hacia abajo y 500 metros a cada lado de su cauce. | |
| 1960 | La Dirección de Aprovechamientos Hidráulicos de la Secretaría de Agricultura encomendó al ingeniero Raúl Sánchez Espejel para realizar una nueva inspección al río Magdalena con el fin de mostrar la ineficiencia de los usos del agua para la industria y agricultura, buscando que el uso del | |

río se destinara únicamente para satisfacer las necesidades domésticas. En su estudio, Sánchez Espejel argumentaba que la capacidad de producción de los Dinamos era insuficiente para las necesidades de las actividades fabriles, resultando más costoso mantenerlos que comprar energía eléctrica por otras vías.

En los primeros años de 1960 las fábricas dejaron de funcionar debido a la baja productividad y a conflictos legales con sindicatos de trabajadores. Además del Gobierno Federal, los nuevos asentamientos urbanos mostraban interés por estructurar un nuevo reglamento para el río pues estas poblaciones urbanas buscaban tapar los canales de riego para que no pasaran por sus casas. Entre sus argumentos se encontraban que el río era un drenaje por la descarga de residuos de fábricas y fuentes domésticas, además de las inundaciones ocasionadas por la desviación de agua por algunos usuarios en tiempo de lluvia. El crecimiento de las poblaciones de la zona, por ejemplo, San Jerónimo Lídice, Contreras o San Nicolás Totolapan exigía un aumento del agua para abastecer a los habitantes.

El agua para uso doméstico tenía más prioridad sobre el riego. El río pasa a ser visto como un elemento indeseable en la zona urbana.

- 1967 Dejaron de funcionar definitivamente las plantas hidroeléctricas que abastecían de energía a las fábricas: La Hormiga, La Alpina, Santa Teresa y Magdalena.
- 1969 Regulación de las crecientes del río mediante la presa Anzaldo.
- 1975 Cierra la última fábrica: El Águila.
- 2000 Tercera declaratoria sobre la sub-cuenca: Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del D.F. reduce a Área Natural Protegida una superficie de 215 ha que van desde el cuarto dínamo hasta el inicio de la mancha urbana, el resto de la cuenca está en estado Forestal de Conservación y Forestal de Conservación Especial.

Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaría del Medio Ambiente manifiesta como acción prioritaria de su gestión la rehabilitación integral de las cuencas del río Magdalena y Eslava.

Inician los esfuerzos por rescatar al río Magdalena.

Situación legal en la micro-cuenca del río Magdalena

La normatividad en el río ha tenido una fuerte relación con las actividades económicas desarrolladas en ella, así como del impulso de las iniciativas globales y nacionales de protección de los recursos naturales, tal como la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP).

La micro-cuenca del río Magdalena se rige bajo un acuerdo y un decreto presidencial; el primero, establecido en 1932, corresponde a la declaratoria de Zona Protectora Forestal de los Bosques de la Cañada de Contreras, D.F., con una superficie de aproximadamente 3,100 ha, perteneciente a terrenos forestales de la Hacienda de La Cañada y del Pueblo de La Magdalena (Fernández *et al.*, 2002). El segundo, un decreto de 1947 a favor de la creación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la fábrica papelera Loreto y Peña Pobre, cuyo fin era aumentar la productividad de la fábrica por medio de la explotación forestal, estableciéndose la Zona de Protección Forestal del río Magdalena, con una longitud de 12 km desde el nacimiento del río hasta aguas abajo, con un ancho de 500 m a cada lado del cauce (Fernández *et al.*, 2002).

Sin embargo, existe una contradicción entre lo establecido en el acuerdo y en el decreto descritos, y lo planteado de manera oficial en el año 2000 por el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, en el cual se establece a la zona como un Área Natural Protegida en la categoría de Zona Protectora Forestal, con una superficie de 215 ha, que abarca desde el Cuarto Dinamo hasta el inicio de la mancha urbana presente en ese momento. Las zonas restantes dentro de la cuenca se encuentran bajo las categorías de Forestal de Conservación y Forestal de Conservación Especial (GDF, 2000; Jujnovsky, 2006). Aunado a las contradicciones jurídicas expuestas, el área natural protegida del río Magdalena exhibe un traslape con la supuesta propiedad privada, del predio La Cañada de 11.8 ha (GDF, 2000).

Con la publicación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), máxima ley de derecho ambiental en México, se contempla que todas las Zonas de Protección Forestal debían incluirse en la categoría de Área Natural Protegida de competencia federal, bajo la categoría de manejo de Área de Protección de Recursos Naturales. En 1996, tras las modificaciones a la LGEEPA, se establece que todas aquellas Áreas Protegidas establecidas antes de 1988 deberán ser revalidadas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Sin embargo, la micro-cuenca del río Magdalena carece de documentos oficiales que validen su categorización como un ANP (Galván, 2014).

El área de conservación en el río Magdalena y los asentamientos humanos irregulares

En las décadas de 1950- 1970, la superficie urbana en la Ciudad de México (CDMX) se extendió hacia el norte, hasta rebasar los límites de la ciudad con el Estado de México. Esta mancha urbana fue constituyendo la llamada Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Sánchez y Díaz, 2011).

Con el objetivo de frenar el crecimiento de la mancha urbana a la parte sur de la ciudad, el Gobierno Federal, en 1970, establece una “zona de veda” llamada posteriormente “Suelo de Conservación”. Aproximadamente 68 % del crecimiento urbano en la CDMX para los años setenta se había dado en tierras de propiedad ejidal y comunal (Cruz, 2008). Sin embargo, en los años ochenta, la mayor parte del incremento del área urbana de la ciudad se llevó a cabo en las delegaciones Iztapalapa, Álvaro

Obregón, Tlalpan, Coyoacán, Xochimilco, Cuajimalpa y Magdalena Contreras, la parte norte Azcapotzalco y Gustavo A. Madero. Para los años ochenta, la mayor parte del incremento del área urbana se desarrollarían en delegaciones del sur, sur-oriente y poniente de la Ciudad de México, y resultó particularmente importante, la sufrida en La Magdalena Contreras. Se estima que en los años noventa, el área urbana en el Suelo de Conservación (SC) de la Ciudad de México creció a un ritmo de 300 ha por año (Sánchez y Díaz, 2011). Así es como desde hace dos décadas, la estructura urbana de la Ciudad de México, está sometida a un proceso de expansión de la periferia, sobre áreas con potencial productivo y forestal, ocupadas por asentamientos humanos en forma irregular (PAOT, 2010).

Por su parte, el SC de la Delegación Magdalena Contreras, representa 58% del total, compuesto principalmente por montañas, bosques y un complejo sistema de barrancas, muchas de las cuales presentan crecimiento urbano. El área natural del río Magdalena enfrenta un sostenido proceso de degradación de sus recursos naturales, principalmente en el área contigua a la zona urbana como producto del incremento de los asentamientos humanos irregulares (AHI) (Fernández, 2002).

La Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial de la CDMX describe un AHI como el establecimiento de un conglomerado demográfico, con el conjunto de sus sistemas de convivencia, en un área físicamente localizada donde la normatividad sobre el uso de suelo señala como prohibido el uso habitacional (GDF, 2012).

La influencia de las iniciativas a nivel mundial sobre temas de desarrollo humano como el informe Brundtland de 1987 y la agenda 21 de 1992, fue un impulso para que el gobierno mexicano decidiera crear políticas de asentamientos humanos. De esta manera, nace la Ley General de Asentamientos Humanos de México en 1993, la cual menciona que el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano deben tender a mejorar el nivel y calidad de vida de la población, tanto urbana como rural. De acuerdo con dicha ley, el Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio 2001-2006 de México, plantea objetivos primordiales, entre los que se encuentra el de inducir el crecimiento de las ciudades de forma ordenada de acuerdo con las normas de desarrollo urbano y bajo los principios de equilibrio ambiental de los centros de población, con apego a autonomía estatal y la libertad municipal (Romero, 2008).

Con el fin de atender las problemáticas ambientales dentro del SC, el Gobierno de la CDMX ha generado e implementado planes y programas. Entre los más importantes se presenten: el Plan Verde 2007-2022, la Agenda Ambiental de la Ciudad de México (2007- 2012) y el Programa de Manejo Sustentable del Agua (2008- 2012). En cada uno de éstos se plantean estrategias para la conservación y rescate del río Magdalena, así como medidas para el control de los AHI dentro del SC (Castelán y Mejía, 2011).

Sin embargo, en la actualidad, el uso de suelo en la CDMX es regulado por dos principales normativas. Desde el punto de vista ambiental existe el Programa General de Ordenamiento Ecológico de la CDMX que se basa en la Ley Ambiental y, desde el punto de vista urbano, se aplica el Programa General de Desarrollo Urbano, el cual se sustenta en la Ley de Desarrollo Urbano. Aunado a dichas normatividades, cada delegación tiene un Plan de Desarrollo, que también tiene aplicaciones dentro del SC, sin dejar de lado las normatividades a nivel federal, tales como la Ley Agraria, que establece la normativa para la regulación de la tenencia de la tierra de propiedad social (Aguilar y Santos, 2011).

Por su parte, las características de ilegalidad que presentan los AHI, impacta directamente en la calidad de vida de las personas en dicha situación. Existen asentamientos en condiciones de marginación, alto riesgo y vulnerabilidad, ya que el habitar en sitios poco favorables para la edificación implica un riesgo para la vida de las personas, puesto que por lo regular las zonas en las que se encuentran los asentamientos se caracterizan por ser grandes planicies o pendientes pronunciadas, aunado a la baja capacidad económica para enfrentar situaciones desfavorables por catástrofes naturales. Además, estos asentamientos carecen de servicios, infraestructura y equipamientos urbanos, lo que hace inadecuadas las condiciones de vida para los pobladores (Trejo, 2015).

La creciente demanda de suelo urbano ha sido incentivada por el desarrollo de mercados ilegales de tierras y sus agentes inmobiliarios, lo que propicia la formación de asentamientos humanos irregulares. Otro factor que influye en gran medida en el cambio de uso de suelo, es el abandono de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales (Martínez, 2015).

7.3 Análisis socio-ecológico: Caracterización del efecto potencial y la relación de los asentamientos irregulares con la conservación y el manejo de la micro-cuenca

Las entrevistas y encuestas realizadas de manera individual se aplicaron con un total de cinco hombres y cuatro mujeres con un promedio de edad de sesenta años, los cuales, conforman AHI dentro del SC, correspondientes a las comunidades: Surco de Encinos en la Colonia Gavillero, Cazulco en el Pueblo de San Nicolás Totolapan, las Laderas de Sayula, ubicadas en las laderas al surponiente de la delegación La Magdalena Contreras y La Cañada, ubicado en la zona contigua al área urbana de la micro-cuenca (Figura 10). Se reconoce que estos AHI presentan diversas condiciones respecto a la calidad de las viviendas y los servicios urbanos, sin embargo, un alto porcentaje de estos viven en condiciones precarias y de pobreza extrema (Aguilar y López, 2011).

La delegación Magdalena Contreras presenta casi el 80% de su superficie dentro del SC, en la cual, se estima que los AHI cubren 342.13 hectáreas, representando el 19% de la superficie delegacional, concentrando 32, 483 habitantes. Sin embargo, el gobierno local no cuenta con datos actualizados y completos del número de AHI en el SC (Aguilar y López, 2011).

Por su parte, los grupos focales se realizaron con diversos actores sociales, el primero, con integrantes de la comunidad Magdalena Atlitic, constituido por antiguos representantes de la comunidad agraria, personas con diversas actividades productivas dentro del área natural, así como personal encargado del cuidado del bosque y del río, con un total de 11 personas. El segundo, con 21 habitantes de la comunidad Surco de Encinos, 19 mujeres y dos hombres, en la zona de conservación de la micro-cuenca, establecidos como AHI, con diversos perfiles, principalmente, jefas de familia.

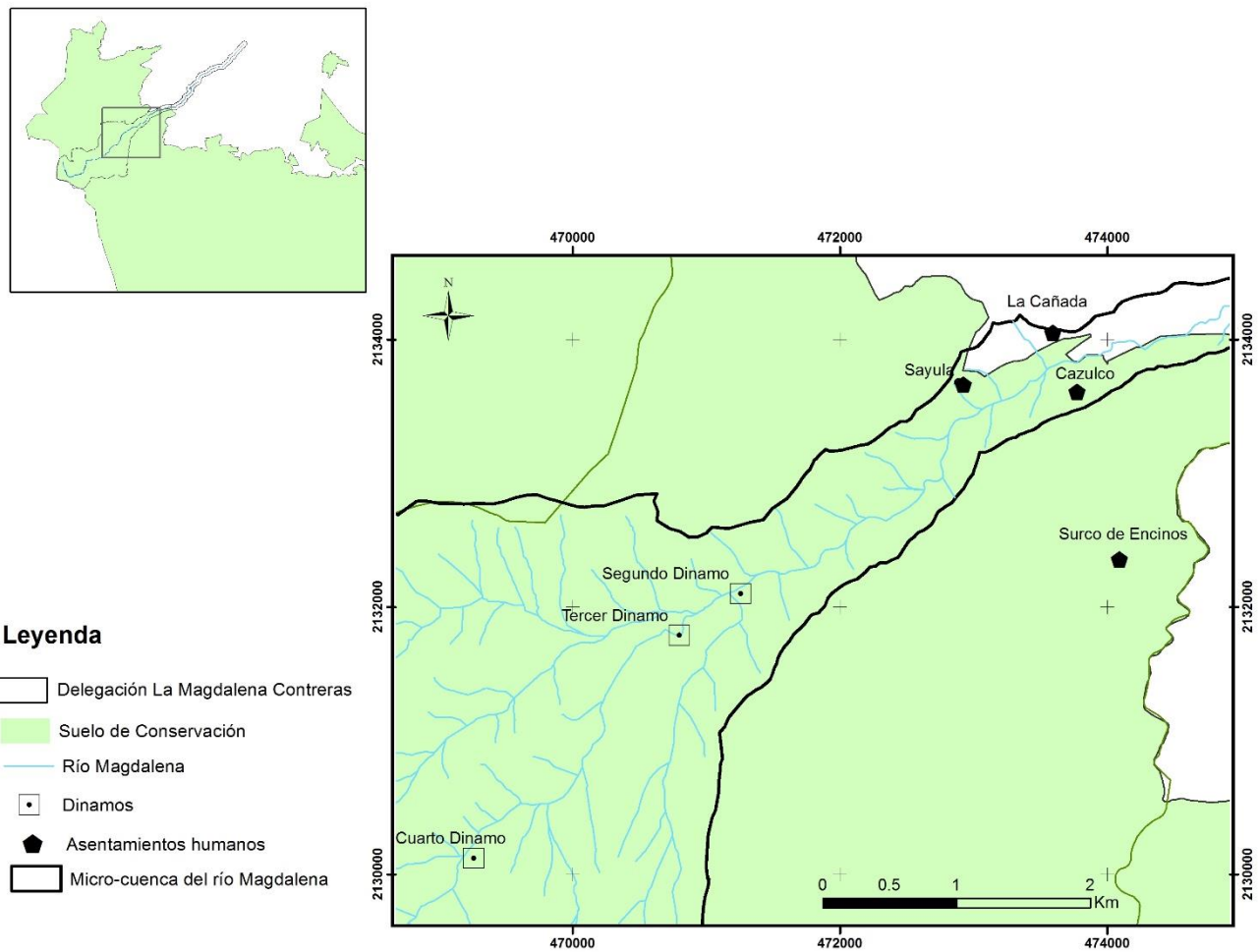


Figura 10. Ubicación de las comunidades estudiadas en la micro-cuenca del río Magdalena.

❖ *Establecimiento de Asentamientos Humanos Irregulares en el Suelo de Conservación.*

De acuerdo con los resultados, la mayor parte de las personas que se asientan como irregulares, provienen de diversos estados de la República Mexicana, quienes en busca de mejores oportunidades económicas emigraron a la Ciudad de México, estableciéndose en la periferia de la misma debido a los costos prohibitivos de las viviendas en zonas regulares. Una menor proporción, fue representada por personas originarias de la zona, cuyos terrenos fueron heredados por familiares pertenecientes a comunidades y ejidos, pero que construyeron sus viviendas, sin permiso, dentro del SC.

El tiempo inicial del establecimiento de asentamientos humanos es variable en los diversos sitios en la cuenca alta del río Magdalena, al igual que los detonantes del crecimiento poblacional, por ejemplo, los habitantes de la zona boscosa, correspondiente a Surco de Encinos de la colonia Gavillero, identificaron el reciente aumento de la población en la zona, con la realización de obras hidráulicas.

“Yo creo que tiene 5 años [desde que se empezó a poblar la zona], el detonante fue abrir brechas, cuando yo llegué aquí era una vereda y lo que necesitabas lo subías en caballos. Cuando se abrió brecha

para el sistema Cutzamala empezaron las obras y esas obras abrieron calles” (Entrevista realizada a AR, ejidatario e integrante de la comunidad Surco de Encinos, mayo de 2016).

Otras, expresaron que su establecimiento fue hace aproximadamente 25 años, tras el desarrollo de servicios básicos y urbanos. Lo anterior explica un proceso paulatino de ocupación que se ve favorecido por las vías de comunicación y acceso. Además, pone de manifiesto que la incorporación de servicios urbanos dentro del SC ha funcionado como parteaguas para la llegada de nuevos habitantes.

Respecto a la obtención irregular de las tierras, se identificaron cuatro principales formas: 1) La compra y venta de terrenos por parte de comuneros y ejidatarios, avalada únicamente con un papel de intención de compra; 2) El cambio de uso de suelo realizado por los mismos dueños de las tierras en zona de conservación; 3) La llegada de trabajadores a casas brindadas por “empresas” y/o “club” en la zona (club hípico La Cañada) y 4); Apropriación de terreno de manera ilegal, sin pago alguno, personas conocidas como “paracaidistas”.

De las formas de obtención de tierras, la más común fue la compra de terrenos a comuneros y ejidatarios, los cuales no cuentan con títulos de propiedad y, por lo tanto, los compradores carecen de éstos.

El descontento de los pobladores ante dicha situación fue notable, exponiendo a los dueños de las tierras como los responsables del crecimiento de asentamientos irregulares y el incremento de corrupción en la zona, ya que, aunado a la venta ilegal de tierras, integrantes de la comunidad agraria (comuneros y ejidatarios), así como el gobierno delegacional (Delegación Magdalena Contreras), en temporada de elecciones, llegan a la zona con promesas de mejoramiento en las condiciones de vida de los AHI, así como una regularización de predios, las cuales no se cumplen.

“Cuando el gobierno quiere el apoyo, vienen, hablan y hablan, prometen y prometen, pero nunca cumplen” (Entrevista realizada a integrantes de la comunidad Surco de Encinos, enero de 2017).

Karla Rivera- ¿Y en algún momento alguien les ha prometido que los van a regularizar?

“Ay pues siempre nos prometen y nunca hacen nada”

Karla Rivera- ¿Quién les promete?

“Pues todos los delegados, cuando hacen su campaña vienen. Supuestamente dijeron que nunca nos iba a faltar pipa de agua cada quince días y nos falta siempre, la tenemos que buscar nosotros. Nos prometen, pero nadie hace nada” (Entrevista realizada a un integrante de la comunidad Surco de Encinos, enero 2016).

Una situación diferente respecto a los títulos de propiedad, se experimenta en la zona contigua a la micro-cuenca del río Magdalena, en el pueblo de San Nicolás Totolapan, donde algunas personas cuentan con títulos de propiedad, pese a que se encuentran asentados en zonas de alto riesgo. Esta situación responde a las estrategias de regularización de predios realizadas por el Consejo de Administración de la Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra (CORETT), en diversas áreas del SC, lo cual, a su vez, ha provocado una mayor densidad de habitantes en la zona y la percepción de que en años venideros, las tierras con asentamientos irregulares desarrollarán un proceso de regularización de tenencia.

“Yo ya tengo viviendo aquí hace más de 40 años. Empezamos a poblar por todos lados, para abajo, para arriba. Se la compré a un comunero [la tierra]. Estos son predios que los repartían los representantes de San Nicolás, pero se los repartían a originarios de San Nicolás y yo no soy originario de aquí. Entonces supe que vendían este predio, le llaman traspaso”. “Yo tuve que buscar traer los servicios a mi casa, así como pude, el agua la acarreábamos, pero ahora ya tenemos todo, también mi título de propiedad, esto ya es mío” (Entrevista realizada a un integrante de la comunidad Cazulco, San Nicolás Totolapan, enero de 2016).

❖ *Percepción de vivir en la zona: beneficios y perjuicios.*

Una de las principales dificultades a la que se enfrentan las personas que viven en asentamientos irregulares es la dificultad de acceso a servicios básicos. Al establecerse en zonas boscosa, las personas tienen que recurrir a múltiples vías para abastecer los servicios en sus hogares, las cuales recaen en la ilegalidad. Se identificó que, para el mejoramiento de las condiciones en la estructura de las colonias, los habitantes se organizan por medio de asambleas, siendo ellos mismos quienes aportan el dinero y la mano de obra para trabajos, como pavimentación y alumbrado. Para dichas actividades, el gobierno delegacional brinda cierto apoyo, principalmente de infraestructura:

“Las personas tenemos que buscar cómo obtener agua, ya sea de un manantial o comprar agua, la luz viene desde el Gavillero, el internet ya tenemos inalámbrico”. “Cuando llegamos no había nada, duramos 6 años sin luz, con velas, antes no había camino, era una veredita, nosotros empezamos a comprar metros para hacer calle y lo hicimos para que subiera la basura, pipa, gas o para una emergencia” (Discursos obtenidos del grupo focal realizado con la comunidad de Surco de Encinos, enero de 2017).

Por medio de las entrevistas individuales y el grupo focal con comunidades en estado de irregularidad, se detectó que dichas personas perciben como un proceso benéfico el hecho de que más personas lleguen a la zona, ya que, entre más pobladores, correrán menos riesgo de ser desalojados, además de tener un mayor apoyo para afrontar futuros conflictos por el terreno. Siendo el temor por desalojo una preocupación común en las comunidades:

“Pues que la tenencia de tierra me interesa, es mi mayor problema. El agua, la luz, lo busca uno, pero la tenencia de tierra me preocupa, yo ya estoy grande pero mis hijos ¿Qué les voy a heredar? Ya hemos sufrido por muchas cosas” (Entrevista realizada a jefa de familia, integrante de la comunidad Surco de Encinos, junio de 2016).

“Pues que está bien [que lleguen más personas a la zona], porque entre más seamos, menos nos van a sacar” (Discurso obtenido del grupo focal con la comunidad surco de Encinos, enero 2017).

Los entrevistados identificaron como uno de los principales problemas de la vida cotidiana, las catástrofes naturales; por ejemplo, se presentó un caso de pérdida de bienes por el impacto de lluvias, derivado de las condiciones precarias de las viviendas y del establecimiento en zonas de alto riesgo.

“A mí se me vino la pared de mi casa, mi hijo alcanzó a salvar a su chiquita, si no, no sé qué hubiera pasado. La delegación vino y nos ayudó ese día, pero después se les olvidó” (Entrevista realizada a un integrante de la comunidad Surco de Encinos, enero de 2017).

Otro de los problemas mencionados (Figura 11) fue la pérdida de cultivos derivado del incremento de plagas en la micro-cuenca, lo cual afectaba la producción de alimentos.

Temas como la inseguridad, carencia de oportunidades económicas y de conectividad, principalmente transporte e internet, fueron otros problemas importantes mencionados. Aunado a lo anterior, el manejo de residuos sólidos fue una preocupación común, ya que, en la zona de los dinamos, existen graves problemas derivados de las actividades turísticas, mientras que, en otras zonas se detectan depósitos de basuras en las propias calles y barrancas.



Figura 11. Principales problemas de la vida cotidiana expresados por los entrevistados dentro de la zona boscosa de la micro-cuenca del río Magdalena.

A pesar de las dificultades a las que se enfrentan las personas en asentamientos irregulares, éstas exponen la necesidad de adquirir terrenos cercanos a la ciudad, pero con menores costos, en comparación con las zonas con predios regulares. Además, la mayoría de los entrevistados expresaron sentir bienestar derivado de vivir en un área boscosa, como la tranquilidad, aire limpio, el paisaje y estar cerca del río, sin dejar de lado la importancia que la tierra constituye como parte de su patrimonio.

“Pues la vegetación, la tranquilidad, el gozar de que estoy a pie del trabajo, no tengo que sufrir de que voy a llegar tarde al trabajo. Eso fue lo que más me gustó desde un principio. Y el aire es muy diferente, limpio” (Entrevista realizada en La Cañada de los Dinamos, julio de 2016).

“Además de que siempre me han gustado los animales y la naturaleza pues también la privacidad con mi familia, yo lo veo de confort” (Entrevista realizada a ejidatario e integrante de la comunidad Surco de Encinos, julio 2016).

❖ *Uso del recurso hídrico y servicios de saneamiento*

En el estudio se identificaron tres principales fuentes de agua con las que se abastecen los pobladores dentro de la micro-cuenca: la red pública, pipa de agua, del río Magdalena y manantiales. El río Magdalena y los manantiales constituyen una fuente importante de agua para los pobladores en la micro-cuenca, ya sea para su utilización con fines domésticos, en el riego de cultivos agrícolas, crianza de ganado y/o en las actividades de restaurantes y trucheros situados a lo largo del área natural del río Magdalena.

Otro aspecto importante, fue la detección de una red de tuberías en las distintas comunidades estudiadas que se conectan directamente a los manantiales que alimentan el cauce principal del río Magdalena. Aunado a esto, se identificó que algunos poseedores de tierra realizan la compra y venta de agua de los manantiales aprovechando la ubicación de éstos dentro de sus predios.

“La pipa de agua se tarda, a veces viene cada mes. Gracias a dios yo tengo un señor que conozco acá arriba que nos vende agua de la Magdalena” (Entrevista realizada a jefa de familia, integrante de la comunidad Surco de Encinos, enero de 2016).

La extracción de agua en los manantiales se ve favorecida debido al pensamiento colectivo de que el agua del río no es del todo segura, los entrevistados expresaron que únicamente beben el agua del río posterior a su ebullición por temor a enfermedades, por lo que se concibe el agua de los manantiales como la más limpia, a la cual inclusive le atribuyen atributos curativos.

“La tomamos del ojo de agua que está acá arriba, de allí tomamos agua. Para tomarla, la hervimos antes de tomarla” (Comunero de la Magdalena Atlitic e Integrante de la comunidad Laderas de Sayula, julio 2016).

“Nosotros tenemos agua del manantial de San Nicolás, es el agua más limpia de toda la Ciudad de México. A otras colonias les llega agua del Cutzamala, pero dicen que no es saludable” (Integrante de la comunidad Cazulco, enero de 2016).

“Nosotros agarramos agua de un ojito de agua de aquí arriba, de un manantial, aquí arriba hay una parrilla, hay un tubo y de allí agarramos agua” (Integrante de la comunidad Surco de Encinos, julio, 2016).

“Regamos los cultivos de un ojito de agua que está por acá arriba, está repartida y hay llaves con que se riega” (Integrante de la comunidad Laderas de Sayula, julio de 2016).

Respecto a la eliminación de excretas y residuos líquidos, los asentamientos irregulares analizados no cuentan con servicios de drenaje conectados a la red pública, presentándose dos situaciones: 1) Carencia de algún sistema de desecho de excretas y 2) Conexión a fosa séptica, construida al momento de la edificación, donde los residuos son depositados e infiltrados por el subsuelo, por ende, llegan al cauce principal, constituyendo una fuente de contaminación para el agua del río Magdalena y sus manantiales.

❖ *Concepción de cambios ambientales en la zona*

Gran parte de los habitantes entrevistados reconocen una reducción en la densidad de bosque en las últimas décadas, así como una disminución en la cantidad y calidad de agua del río Magdalena. Entre los detonantes identificados, los entrevistados mencionaron como posibles causas la tala ilegal de árboles, aunado al incremento poblacional en áreas boscosas, así como el entubamiento y transporte de agua del río hacia otras zonas de la delegación Magdalena Contreras. Sin embargo, la comunidad de Surco de Encinos expone que la llegada de vecinos a la zona no ha sido un factor de reducción del área boscosa, ya que, los predios que adquieren estaban destinados a cultivos agrícolas, es decir, hay un cambio de uso de suelo de agrícola a urbano.

“Pues los árboles siguen siendo los mismos de cuando llegamos, ni más, ni menos, porque lo que nos vendieron lo utilizaban para el cultivo, nosotros no quitamos casi nada [Superficie boscosa]” (Discurso obtenido del grupo focal con integrantes de la comunidad Surco de Encinos, enero de 2017).

Respecto a las actividades productivas y turísticas en la micro-cuenca, los entrevistados perciben un impacto sobre la calidad del agua del río y la cantidad de área boscosa. Entre las actividades con mayor importancia se mencionaron a los sistemas de trucheros, los baños y desechos en general de los restaurantes, así como los desechos sólidos, los cuales resultan más graves en eventos conmemorativos.

❖ *Gestión local: comuneros y ejidatarios*

El establecimiento de los asentamientos irregulares en la parte alta de la micro-cuenca, fue un tema identificado como crítico para diversos actores sociales, principalmente para los comuneros y ejidatarios que temen la pérdida de sus tierras por la invasión de “paracaidistas”. La problemática ha obligado a muchos de ellos a establecer sus viviendas dentro de las tierras comunales, con el mínimo de servicios públicos, como medida para marcar los linderos de sus tierras y evitar la invasión de personas ajenas a la comunidad agraria.

Tal es el caso de un comunero de la Magdalena Atlitic quien, tras la llegada de paracaidistas a la zona del Ocotál decidió construir una pequeña casa a la altura del Primer Dinamo, zona conocida como las laderas de Sayula, dejando atrás su familia y trabajo, por la preocupación de perder su patrimonio.

“Llevo viviendo aquí tres años. Aquí es un terreno que nos dejaron los abuelos, está dentro de los dinamos. Antes vivía por la Iglesia de la Magdalena”. Decidí venir para acá porque la gente ya estaba invadiendo aquí y si dejamos que se invada ya no va a haber nada” (Entrevista realizada a comunero de la Magdalena Atlitic e integrante de la comunidad de laderas de Sayula, julio 2016).

Una de las dificultades para el logro de los objetivos de la conservación del área natural del río Magdalena son los conflictos políticos, internos y externos. Se presentan choques de intereses entre los núcleos agrarios, con la corrupción como la principal causa de la desintegración de la comunidad. Ya que, como se mencionó con anterioridad, existe la venta de terrenos comunales y ejidales, además

de corrupción en los programas de conservación, por ejemplo, en el Pago por Servicios Ambientales (PSA).

“A mí no me dan nada de eso [PSA], muchos de ellos [comuneros de La Magdalena Atlitic] sólo hacen pleitos, están peleando siempre por el poder y haciendo tranzas, por eso yo ni voy a las juntas” (Entrevista realizada a comunero de La Magdalena Atlitic, julio de 2016).

Además, se identificaron dificultades de diálogo entre comuneros y ejidatarios, por confrontación de intereses, los cuales generan barreras para establecer acuerdos que beneficien a los habitantes y, sobre todo, a la preservación de los Servicios que brinda el Suelo de Conservación.

“Los de aquí [Comunidad Magdalena Atlitic] no nos metemos con los de San Nicolás, sólo hay pleitos, pero ellos son los que han dejado que las personas sigan haciendo casas, vea cómo está la zona de Cazulco, hacen lo que quieren” (Entrevista realizada a un comunero de La Magdalena Atlitic, julio de 2016).

❖ *Interacción social para la conservación de la micro-cuenca del río Magdalena*

A pesar de que los comuneros y ejidatarios detectan el crecimiento de AHI dentro de la micro-cuenca como un tema de preocupación, exponen estar dispuestos a colaborar con las personas en situación de ilegalidad, integrándolos en las actividades de conservación del bosque y del río Magdalena.

Todas las personas entrevistadas pertenecientes a AHI expusieron tener interés en participar en actividades y formar parte de programas de conservación; sin embargo, mencionan que, resultan actividades difíciles cuando se tienen preocupaciones económicas. Aunado a esto, muestran desconfianza ante las instituciones que pudiesen incluirlos en una estrategia de conservación, principalmente hacia el gobierno de la Delegación Magdalena Contreras, así como comuneros y ejidatarios, derivado de incumplimiento de “promesas” de campaña y amenazas de desaojo.

“Si han venido a querer tirar las casas, una vez vinieron del ejido, pero no los dejamos, todos salimos juntos y logramos que se fueran”

“Siempre no dicen que nos van a sacar de aquí, sobre todo a los que estamos en zonas de alto riesgo, pero nunca han hecho nada” (Discursos obtenidos del grupo focal con integrantes de la comunidad Surco de Encinos, enero 2017).

“Los de la delegación dijeron que nos van a reubicar, porque el terreno únicamente nos lo prestaron [Los dueños del club hípico] creo que aquí quieren hacer un museo, pero eso ya lo llevan diciendo desde hace diez años y no hacen nada (Entrevista realizada en la Cañada de los Dinamos, julio de 2016).

Las instituciones en las que aparentemente, más confían los pobladores son la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de Chapingo, seguido de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA), principalmente por su asociación con las brigadas para el control de incendios en la zona.

La mayoría de los entrevistados desconocían programas o inclusive la misma institución, tal es el caso de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y Organizaciones No Gubernamentales.

8. DISCUSIÓN

8.1 Calidad ecológica: Impacto de las actividades humanas en el área natural de la micro-cuenca del río Magdalena

El sitio de referencia (SR) determinado en el presente estudio es descrito con condiciones físicas, químicas e hidromorfológicas adecuadas para el mantenimiento de las funciones ecológicas en la zona (Caro-Borrero *et al.*, 2015); pese a ello, el análisis de calidad de hábitat (ACH) mostró una categoría subóptima para dicho sitio (Barbour *et al.*, 1999). Esta ambigüedad puede ser producto de las ruinas de los antiguos dínamos que funcionaron en la zona desde hace más de 100 años. En la actualidad, no hay señal de actividades humanas a gran escala, en comparación con otras zonas de la micro-cuenca. Las modificaciones más persistentes son caminos a orillas del río, la cercanía con zonas de actividades turísticas y prácticas religiosas, así como residuos sólidos de origen urbano en baja proporción. Este sitio mantiene características de origen natural como la estabilidad de los bancos, la vegetación ribereña nativa, en gran medida conservada (a pesar del establecimiento de especies introducidas), la cual influye en la asimilación, retención y transformación de los nutrientes (Cerezo, 2003), que permite la regulación de elementos químicos y otros contaminantes (Guevara *et al.*, 2008), así como diferentes regímenes de flujo de agua y el carácter oligotrófico que caracteriza los ríos de montaña (Wohl, 2006).

La baja concentración de nutrientes en el sitio de referencia, se debe en gran medida a la ausencia de actividades agrícolas y a la baja presencia de ganado o animales de cría, los cuales no fueron observados durante las colectas. Los valores registrados se encontraron siempre por debajo de los límites máximos permisibles según la NOM-127-SSA1-1994 de la Secretaría de Salud para uso y consumo humano, los cuales exigen valores para nitratos por debajo de 10 mg/L, nitritos de 0.05 y amonio de 0.50 mg/L (DOF, 2000). Respecto a los indicadores bacteriológicos, la presencia de microorganismos de origen fecal, en el sitio de referencia, puede atribuirse a las actividades humanas desarrolladas en la zona, como el turismo no regulado y el pastoreo cuenca arriba, que aunque son de menor impacto en comparación con las que se desarrollan en la parte media de la micro-cuenca, están influyendo sobre la calidad del agua, siendo evidencia de contaminación por heces fecales y la posible presencia de patógenos para el ser humano (Gerba, 2000; APHA, 2005; Monges, 2009).

El sitio de referencia, a pesar de contar con un hábitat adecuado para el desarrollo de la vida acuática (Barbour *et al.*, 1999) mostró indicios de degradación en la estructura biológica. Así, el análisis con macroinvertebrados bentónicos utilizando la herramienta de grupos funcionales alimenticios (GFA) reveló una modificación a la estructura del ensamble esperado bajo lo supuesto por la Teoría del Río Continuo (Vannote *et al.*, 1980), el cual predice que en las zonas sombreadas de ríos pequeños tendrán altas entradas de detritus proveniente de la zona de ribera, es decir, materia orgánica particulada gruesa (MOPG). Por lo anterior, los macroinvertebrados que puedan aprovechar dicho aporte como alimento serán dominantes en la comunidad: los trituradores; además, derivado de la fragmentación de MOPG, abundará la materia orgánica particulada fina (MOPF) y, por ende, los organismos que consuman dicho alimento: los colectores.

En contraste, en la parte media del río se predice un incremento de entrada de materia orgánica con lo que la producción algal incrementará; como respuesta, los trituradores serán reemplazados por los

raspadores, con la permanencia de la abundancia de colectores; finalmente, en la parte baja del río habrá una dominancia marcada de los colectores, dada la presencia de MOPF en suspensión y un mayor incremento en la productividad algal (Vannote *et al.*, 1980). Sin embargo, en la parte alta del río, visto en el sitio de referencia, se encontró una notable dominancia del género *Baetis*, organismo que cuenta con una alta capacidad para colonizar sitios con diversos sustratos, elevado flujo de agua y elevada producción primaria (Caro-Borrero *et al.*, 2015). El GFA de *Baetis* es raspador/recolector, es decir, se alimentan de microorganismos habitantes de las superficies rocosas, además de coleccionar alimento en forma de materia orgánica particulada presente en el flujo de agua (Merritt *et al.*, 2008) Además, el SR presentó una proporción muy baja de organismos trituradores como *Limnephilus* (Merritt *et al.*, 2008). Dicha modificación pudo estar relacionada con pérdida de la vegetación de ribera por la construcción de caminos rurales. Estas modificaciones a pequeña escala, constituyen un elemento clave para el desarrollo de los ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos, debido al impacto sobre las tasas de crecimiento, abundancia y estructura (Fremier, 2004; Vannote *et al.*, 1980). En el sitio de referencia existen condiciones del cuerpo de agua oligotrófica y la entrada de materia orgánica exógena constituye un elemento clave para el funcionamiento del ecosistema acuático, en este caso las principales fuentes de materia orgánica son provistas por la presencia de zonas arbóreas, arbustivas y herbáceas (Ávila-Akerberg, 2010)

Estudios en la zona con el valor indicador de los taxa de macroinvertebrados bentónicos muestran que los taxa considerados como mejores indicadores de los sitios de referencia son Acarina, Nemouridae, *Epeorus*, *Atopsyche* y *Glossosoma* (Caro-Borrero *et al.*, 2015); sin embargo, en el presente estudio, en el SR se detectaron dichos taxa en abundancias muy bajas, además de carecer de tricópteros como *Glossosoma* y plecópteros como Nemouridae.

Las algas macroscópicas funcionaron como otro elemento bioindicador de calidad ecológica, el sitio de referencia mostró una comunidad integrada por *Prasiola mexicana* (laminar), *Placoma regulare* (mucilaginoso), *Vaucheria bursata* (filamentoso) y *Ulothrix* sp. (filamentoso). Las formas de crecimiento laminares, filamentosas y colonias mucilaginosas características de estas especies les permite establecerse y desarrollarse de una manera adecuada (Bojorge-García *et al.*, 2010; Rodríguez, 2014). El desarrollo de estructuras como rizoides en los crecimientos filamentosos de *Vaucheria bursata* y laminares, así como la producción de un mucilago extracelular, las hacen tolerantes al efecto mecánico de arrastre que genera el flujo de agua (Ramírez y Carmona, 2005.) Además, exhibieron preferencia por el sustrato rocoso de talla mediana a grande, que permite su estabilización en flujos de agua turbulentos (Vieira y Necchi, 2002).

Las poblaciones de *Prasiola mexicana*, *Placoma regulare*, *Vaucheria bursata* y *Nostoc parmelioides* (mucilaginoso), presente en TD son especies registradas en sitios con agua con una adecuada oxigenación, así como baja concentración de nutrientes, lo que es consistente con los valores obtenidos en los análisis *in situ*. Aunado a lo anterior, estas especies de algas cuentan con el mayor valor Indicador para sitios de referencia dentro de la micro-cuenca del río Magdalena (Carmona *et al.*, 2016).

Entre los sitios SR y TD se presentan ciertas modificaciones al cauce del río, como represamientos, actividades de restaurantes, así como la presencia de vestigios de estructuras desarrolladas para el funcionamiento de los antiguos dinamos, lo cual afecta las características físicas, químicas, hidromorfológicas y biológicas del río. El efecto de las actividades mencionadas se refleja en el cambio

de categoría en la evaluación de calidad de hábitat, de subóptimo a marginal (Barbour *et al.*, 1999). Uno de los principales cambios es una barrera artificial a orillas del río, lo cual puede ocasionar una disminución en la vegetación de ribera, lo que puede provocar un menor aporte de materia orgánica exógena al cauce y con lo que disminuye la diversidad de hábitats donde los macroinvertebrados puedan desarrollarse (Vannote *et al.*, 1980). Lo anterior se vio reflejado en la disminución en la abundancia de macroinvertebrados acuáticos, con respecto al sitio de referencia y una menor riqueza de taxa evaluado a través del índice de Margalef.

Las especies algales *Prasiola mexicana* y *Placoma regulare*, identificadas en el sitio de referencia también se identificaron en TD, junto a las cianoprocariotas, *Nostoc parmelioides* y *Phormidium autumnale*. Esta última especie fue representativa del sitio TD, la cual ha sido reportada como tolerante a las concentraciones altas de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, así como a volúmenes bajos de agua (Ramírez, 2002; Rodríguez, 2014). Este aumento en la diversidad algal del sitio TD, puede ser resultado de la disminución de densidad de cobertura arbórea que, al permitir una mayor entrada de luz al sistema, favorece el crecimiento de algunos grupos de algas y, como consecuencia, un incremento de la productividad primaria en el sistema acuático (Branco *et al.*, 2014).

Así mismo, el incremento en las colonias mucilaginosas puede deberse a que este tipo morfológico ofrece mayor tolerancia a una elevada radiación solar (Shneath y Hambrook, 1990). Por otro lado, la disminución en la cobertura porcentual de especies como *Prasiola mexicana*, indica cambios en las condiciones del estado trófico del agua, puesto que, aunque dicha especie muestra preferencias por aguas oligotróficas, donde su desarrollo es óptimo, es considerada como una especie detectora dada su tolerancia al incremento de ciertos nutrientes, como el fósforo reactivo soluble (Carmona 2016); lo cual, puede ser reflejo del aporte de nutrientes provenientes de actividades turísticas cuenca arriba.

En relación con la calidad del agua, el aumento en la densidad bacteriana en la parte media del río, puede estar relacionado con el aporte de materia fecal proveniente de sanitarios ubicados a lo largo de éste. A pesar de que la concentración de nutrientes en el río no mostró diferencias significativas entre sitio, estudios previos en el área revelan la relación entre el aumento de colonias bacterianas y un aumento en nutrientes, como el nitrógeno y fósforo total (Monges, 2009).

El resto de los sitios ubicados en el Segundo Dinamo, seleccionados por su influencia humana, muestra cómo se ha modificado la estructura del cauce con represamientos (presas de gavión), y desviaciones de agua para satisfacer las actividades turísticas, así como puentes, estacionamientos y caminos (González *et al.*, 2010; Caro-Borrero *et al.*, 2015; Monsivais *et al.*, 2014). A pesar de todas estas actividades humanas, se conservan algunos elementos del régimen hidrológico que permiten la permanencia del río (flujo de agua); sin embargo, la calidad ecológica se ve drásticamente afectada (Barbour *et al.*, 1999).

Los sitios seleccionados en esta zona revelaron condiciones similares en cuanto a los parámetros evaluados; sin embargo, la forma y el grado de las modificaciones humanas al cauce del río fue determinante para la variación en la respuesta de ciertos elementos, como los indicadores biológicos.

El sitio SD-TC fue característico por presentar un aporte de agua proveniente de sistemas de truchero, así como una modificación a la vegetación de ribera y carencia de sustratos rocosos, lo cual responde a las intervenciones derivadas de las actividades turísticas, ya que, en dicha zona, muchos de los visitantes

suelen remover las rocas al realizar actividades recreativas en el río. Lo anterior, pudiera ser razón para propiciar un cambio en el ensamble de macroinvertebrados, el cual está fuertemente relacionado con la estabilidad del hábitat acuático (Brosse *et al.*, 2003) particularmente en el sedimento o sustrato en el lecho del río (Minshall y Minshall, 1977; Reice, 1980). Una evidencia de lo anterior es el género *Baetis* el cual deja de ser dominante, comportamiento que ha sido registrado, pues las efímeras buscan establecerse en zonas con mayor disponibilidad de sustratos (Doeg y Lake, 1981).

En contraste, se observó la dominancia de la subfamilia *Tanytarsini* (Chironomidae), cuyo GFA es recolector (Merritt *et al.*, 2008), quien pudo ser favorecido debido al incremento de MOPF proveniente del agua de los sistemas de trucheros ya que ésta viene acompañada de materia fecal de los peces, la cual hace parte del MOPF. Adicionalmente, se evidenció la disminución de la diversidad y cobertura algal en el sitio, con sólo tres especies que disponen de una menor heterogeneidad de sustratos: *Placoma regulare*, *Ulothrix* sp. y *Vaucheria bursata* (Witton, 1975; Allan, 1995).

Un patrón similar se observó en el sitio SD-AU, el cual constituye el sitio con una mayor intervención en el ecosistema ribereño y menor comparabilidad respecto a las condiciones de referencia, derivado de una intensa construcción y retención de agua. La baja calidad de hábitat conlleva impactos relevantes en la biota acuática, como: incremento en el transporte de sedimento, pérdida de hábitats, así como el incremento en la inestabilidad de los mismos y una ocurrencia de periodos con bajo flujo de agua lo cual, a su vez, ocasiona bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Rasmussen *et al.*, 2013). Respecto a los macroinvertebrados bentónicos, en temporada de lluvias no fue posible coleccionar un mínimo de 100 individuos (Barbour *et al.*, 1999), lo cual pudiera ser respuesta a la excesiva presencia de sedimento fino, ya que éste provoca una reducción en la abundancia de macroinvertebrados bentónicos por la sofocación y abrasión, la reducción en cantidad y calidad de alimento del perifiton, así como del hábitat intersticial disponible (Jowett, 2003).

Adicionalmente, en este sitio se registró un incremento notable en la densidad bacteriana cuantificada para los tres grupos analizados, principalmente para las colonias presuntivas de *Salmonella spp.*, que superó las 77 UFC/100, lo cual pone en evidencia los riesgos para la salud que las intervenciones humanas podría desencadenar en el río Magdalena.

Por su parte, en el sitio SD-PR se registró una gran actividad de restaurantes, caminos, desviaciones de agua y fue característico por presentar una modificación drástica de la geomorfología del cauce y la estabilidad del mismo. Los cuales forman parte de los principales elementos que afectan a las comunidades de macroinvertebrados (Statzner *et al.*, 1988; Wallace y Webster, 1996; Verdonschot, 2001). Estas modificaciones originan pendientes artificiales pronunciadas que generan un fuerte disturbio físico y un efecto negativo en la diversidad de macroinvertebrados (Death y Winterbourn, 1995). Esto se evidenció por la dominancia de *Baetis* en secas y *Tanytarsini* en lluvias.

Las poblaciones de *Prasiola mexicana*, *Placoma regulare*, *Nostoc parmelioides* y *Cladophora glomerata* (filamentoso), se registraron bajo concentraciones moderadas de nutrimentos (Ramírez y Carmona, 2005; Higgins *et al.*, 2008) y alta tolerancia a la radiación por parte de las especies mucilaginosas, condiciones descritas en otros estudios para estas especies (Sheath y Hambrook, 1990).

Una de las razones por la que resulta indispensable la evaluación de calidad de agua en los sistemas de trucheros, es su impacto en el reflejo de las características del agua del río, ya que los residuos

generados por los sistemas son vertidos directamente sobre el cauce principal. Por lo tanto, resulta de suma relevancia el hecho de haber encontrado en los sistemas de truchero la presencia de indicadores de contaminación fecal, ya que las truchas forman parte del atractivo gastronómico de la zona. Sin embargo, su inadecuada limpieza y preparación pudiera poner en riesgo la salud de las personas, ya que la misma agua del río es empleada en los restaurantes para la limpieza de alimentos. Estudios previos en el sitio detectaron la presencia de organismos patógenos y patógenos oportunistas en la zona del grupo de enterococos y coliformes fecales, lo cual corrobora es fuente potencial de enfermedades gastrointestinales (Monges, 2009). Por ejemplo, *Salmonella* es uno de los principales microorganismos causantes de severas gastroenteritis en humanos (Baird-Parker, 1990). Aunque algunos autores mencionan que la aproximación de ausencia o presencia de *Salmonella* resulta ser un indicador limitado para determinar el potencial riesgo para la salud humana (Figueras *et al.*, 1997; Polo *et al.*, 1998), es importante tomarlo con la precaución necesaria y generar medidas de manejo que permitan evitar riesgos a la salud de los visitantes.

Lo anterior responde a la necesidad de vincular los datos sobre la calidad ecológica y la calidad de agua con los procesos socio-económicos que se desarrollan en la micro-cuenca, ya que la degradación o conservación de la zona depende estrechamente de la forma en que las personas se relacionan con los recursos naturales del área. Por ende, las estrategias de manejo y las políticas públicas generadas en torno este, requieren ser diseñadas bajo un sustento ecológico, las cuales contribuyan al mantenimiento de la función del sistema acuático y con ello, de los SE que el área de conservación de la micro-cuenca provee.

8.2 Impacto de las normas regulatorias, historia del uso y distribución del agua del río Magdalena

La micro-cuenca del río Magdalena ha sido clave para el desarrollo social y económico desde épocas prehispánicas, con un valor cultural y religioso muy importante (Acosta, 2001). El bosque y el agua del río impulsaron el crecimiento productivo e industrial de las poblaciones desde el siglo XVI (Camarena, 2001; Becerril, 2009), y fueron un parteaguas para la actual estructura urbana en la micro-cuenca, así como para sus características sociales y económicas (SMA, 2009). Sin embargo, también fueron clave en la generación de conflictos sociales importantes, que se desarrollaron por el reparto inequitativo de los recursos, así como un inadecuado manejo de los mismos (Caro-Borrero, 2016; SMA, 2009). La aparición e incremento de desacuerdo por las concesiones y repartos preferenciales del agua del río Magdalena, provocó conflictos sociales en las distintas zonas de la micro-cuenca, constituyendo la base para el inicio en la medición del caudal del río, el cual ha cambiado enormemente hasta la actualidad (Zamora, 2013).

Los cambios en el uso principal del agua del río Magdalena son un reflejo de la economía de la Ciudad de México: la predominancia de las actividades agrícolas del siglo XVII al XIX, la prioridad del uso industrial y de fuerza motriz de finales del siglo XIX, a mediados del siglo XX y la exclusividad del uso para satisfacer las necesidades domésticas desde 1960 (Zamora, 2013).

El río Magdalena preservó gran parte de su cauce a cielo abierto gracias a su importancia como proveedor de recursos para uno de los enclaves más importantes durante la primera mitad del siglo XX, la industria fabril (Zamora, 2013). Sin embargo, la regulación inadecuada de dichas actividades industriales, provocó una contaminación hídrica evidente, lo cual, aunado al incremento poblacional desde 1940, trajo consigo una desvalorización del río, el cual se convirtió en un elemento indeseable

para la creciente metrópoli, ya que éste era un receptáculo de residuos de origen industrial y urbano (SEDEMA, 2009), así como un foco de catástrofes para las zonas urbanas, como los eventos de inundaciones (Zamora, 2013).

Dichos sucesos trajeron consigo la degradación en la calidad ecológica del río, provocando la notable distinción de dos áreas a lo largo del cauce del sistema: la urbana y la natural (SMA, 2012). La primera se caracteriza por una degradación intensa de las características naturales del río, como la modificación completa a la estructura del cauce y eventos de contaminación hídrica severa, producto de descargas de origen urbano (González *et al.*; 2010).

En contraste, el área natural presenta sitios con un buen estado de conservación, dada su ubicación dentro del SC de la CDMX, lo cual ha permitido la generación y mantenimiento de SE a escala local y regional (González *et al.*, 2010). En el área, los ecosistemas de la micro-cuenca constituyen un elemento muy importante para los pobladores, por ser una fuente de ingresos económicos, derivado de su conservación y atractivo turístico, sin dejar de lado que provee de agua potable y otros recursos a las mismas y, forman parte del patrimonio de comunidades y ejidos.

Sin embargo, actualmente el área natural del río Magdalena presenta presiones por los procesos sociales, económicos y políticos en la micro-cuenca. En algunas zonas dentro del AN se presentan actividades que ponen en riesgo el funcionamiento del ecosistema, como los represamientos, desviaciones de agua y el turismo no regulado, así como establecimiento de asentamientos humanos irregulares que incrementan su mancha dentro del suelo de conservación.

8.3 Análisis socio-ecológico: Efecto potencial y la relación de los asentamientos irregulares con la conservación y manejo de la micro-cuenca del río Magdalena

El desarrollo de estrategias de conservación se ha intensificado tras el reconocimiento de la importancia de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para la Ciudad de México; sin embargo, los procesos urbanos han rebasado dichos planes. El crecimiento demográfico dentro del Suelo de Conservación de la Ciudad se reconoce como un factor clave para la degradación o conservación de los recursos naturales de la zona y sus servicios ambientales.

En este sentido, una de las problemáticas críticas en la micro-cuenca del río Magdalena y que se extiende a las problemáticas en la cuenca de México, es el incremento de la mancha urbana, que incluye el crecimiento de AHI en el SC. Esta es una de las expresiones más dramáticas de las condiciones de pobreza y desigualdad social en toda América Latina (Aguilar y Santos, 2011).

La urbanización se ha llevado de manera acelerada dentro del SC y ha estado determinada por la carencia de área accesible para la vivienda de interés social, así como los altos costos para acceder a la renta o compra de vivienda, aunado a la baja rentabilidad que implican las actividades agropecuarias, las cuales se encuentran por debajo de la renta urbana (Castelán y Mejía, 2011). Lo anterior explica en gran medida el cambio de uso de suelo para fines forestales y principalmente agrícolas, por el suelo urbano, que los pobladores reconocen y que constituye un factor que explica la compra y venta de terrenos por parte de comuneros y ejidatarios, constituyendo la principal manera de obtener tierras en el SC.

La falta de claridad en la aplicación de las leyes y normas ambientales para el establecimiento y mantenimiento de Áreas Naturales ha sido una limitante para el control del crecimiento de AHI (Simonelli, 2015). Existe una sobre-regulación en el SC, es decir, diversas instituciones tienen injerencia en el área, entre las cuales, hay poca transversalidad; por lo cual se genera un traslape de funciones y ámbitos que propicia contradicciones y un vacío institucional. Por lo tal, dicha sobre-regulación más que contribuir a la reglamentación y control de los AHI, genera una descoordinación y fragmentación de las acciones de los diversos niveles de gobierno, provocando un deslinde de responsabilidades en torno a los AHI (Aguilar y Santos, 2011). Se reconoce que la normatividad urbana y ambiental en la CDMX son incongruentes entre sí, particularmente las incluidas en el Plan de Reordenamiento Ecológico y el de Desarrollo Urbano, así como las planteadas en los planes delegacionales (Aguilar y Santos, 2011).

Por su parte, las condiciones en las que se desarrollan los pobladores en AHI como producto de la ilegalidad, impacta directamente en la calidad de vida de las personas en dicha situación (Trejo, 2015). Entre las principales dificultades identificadas en el estudio, destacan aquellas impuestas por las vialidades inadecuadas, lo cual limita la conectividad de las personas, así como el impacto de eventos climáticos, relacionados con las características socio-económicas de las personas, ya que muchos AHI además de comúnmente estar asentadas en zonas de alto riesgo, tienen viviendas con una edificación inadecuada y condiciones precarias, lo cual los hace más vulnerables ante desastres naturales. El poco reconocimiento de los AHI por parte de los gobiernos regionales y locales, ha implicado un deslinde de responsabilidades sobre la calidad de vida de los pobladores y del control sobre el crecimiento demográfico sobre el SC.

Entre los aspectos de inconformidad identificados en las entrevistas, el más destacado fue el descontento de los AHI con las instituciones gubernamentales, ya que las personas establecidas como irregulares expusieron que tanto los integrantes de núcleos agrarios como los gobiernos delegacionales, en tiempos de elecciones llegan a la zona con promesas de progreso en las condiciones de vivienda y regularización de los predios, con el objetivo de recaudar votos; sin embargo, suelen no cumplir con todo lo prometido. Lo anterior concuerda con los estudios de Fernández et al (2002) quienes identificaron un aumento en la aparición de asentamientos irregulares en los años donde hay cambios de autoridades delegacionales (Castelán y Mejía, 2011); es decir, la aparición de AHI y la regularización de los mismos, está ligada a los procesos electorales locales.

El tema de la regularización de predios fue uno de los aspectos tratados en las entrevistas. Los pobladores exponen la creencia de que, en años venideros, debido al incremento de las comunidades, éstas serán regularizadas, percibiendo benéfico el hecho de que lleguen más habitantes a la zona. Dicha regularización de la tenencia de tierra debería de servir para la introducción de servicios urbanos. Sin embargo, la legalización de tenencia de tierra nunca ha sido una condición para que los servicios lleguen (Aguilar y Santos, 2011), ya que como se identificó en el estudio, las personas asentadas como irregulares buscan fuentes alternativas para abastecer sus hogares de servicios, formando colonias bien estructuradas y con la mayoría de servicios básicos. Lo cual habla de que, para los pobladores, dicha regularización implica un sentimiento de seguridad legal, más que un medio para acceder a servicios.

En la CDMX, la regularización de los asentamientos informales se ha estructurado como una estrategia del estado mexicano para lograr la integración social de los pobladores en dichas condiciones a la

dinámica urbana (Aguilar y Santos, 2011). Esta ha sido la forma de intervención estatal hacia los AHI desde la década de 1970. Sin embargo, lo anterior fue la forma de transmitir que el gobierno federal, junto al local, apoyarían la regularización de las urbanizaciones informales (Aguilar y Santos, 2011). Muchos de los pobladores entrevistados, al hablar del tema, ponen como ejemplos casos de comunidades aledañas con una reciente regularización, por lo que dan por hecho que lo mismo ocurrirá en su comunidad en años próximos.

Respecto al acceso a agua, se identificó que los manantiales y el propio río Magdalena constituyen una fuente principal o alternativa de agua, tanto para consumo, como para las actividades domésticas y agropecuarias de los AHI. Además de dicho servicio, los AHI detectan diversos beneficios de vivir en el área de conservación. Muchos de ellos, expresan un gusto de vivir en la zona por la belleza del paisaje, así como los beneficios a la salud derivados del mantenimiento de ecosistemas forestales; como la purificación del aire, lo cual ven como una ventaja en contraste con la situación de contaminación severa de la CDMX. A pesar de que los pobladores reconocen a los ecosistemas del área importantes para su vida, muestran poco interés por participar en los planes de manejo y conservación de los mismo, principalmente por el descontento con las autoridades institucionales y la poca confianza en los integrantes de núcleos agrarios y gobiernos delegacionales. Aunado a esto, los AHI plantean como prioritario la búsqueda de mejores condiciones económicas, por lo que participar en actividades de conservación no les resulta factible, a menos que esto brinde contribuya a mejorar sus condiciones económicas.

Para un manejo integral de la micro-cuenca del río Magdalena se requiere el reconocimiento de los AHI como actores generadores de cambio para la conservación de los ecosistemas, ya que, la falta de acciones concretas de los diferentes niveles de gobierno, han propiciado la proliferación de AHI dentro del SC. Atender dichos aspectos, no sólo constituye un elemento para la conservación de los ecosistemas forestales y acuáticos de la micro-cuenca, sino que también atiende la calidad de vida de los pobladores tanto rurales como urbanos y, mantiene en el mediano y largo plazo la calidad del ecosistema acuático.

9. Conclusiones

- ❖ La inadecuada regulación de las actividades antrópicas desarrolladas en el área natural del río, como las turísticas y agropecuarias, se ve reflejada en la calidad ecológica del sistema acuático. Se presenta una relación entre el grado de intervención antrópica y el deterioro ecológico en el río, vistos en la modificación de los parámetros físicos, químicos, hidromorfológicos y biológicos.
 - La calidad del agua registró un incremento en la concentración de nutrientes, así como en la densidad bacteriana cuantificada a través de los coliformes fecales, enterococos fecales y colonias presuntivas de *Salmonella spp.* en los sitios evaluados respecto al sitio de referencia y fueron mayores en las zonas donde las actividades fueron más drásticas.
 - El ensamble de macroinvertebrados bentónicos y las comunidades de algas macroscópicas reflejaron el impacto de las perturbaciones antrópicas sobre la calidad ecológica en el sistema acuático, principalmente tras la modificación estructural del cauce para el desarrollo de actividades económicas.

- ❖ Históricamente, los aspectos normativos del uso y distribución del agua del río Magdalena han estado determinados, en gran medida, por los beneficios económicos que el recurso ha brindado a las poblaciones locales. Sin embargo, la inadecuada regulación de las actividades productivas durante el siglo XX y la expansión urbana a la periferia de la Ciudad de México, fueron parteaguas para la modificación de las características naturales del sistema acuático, convirtiéndose en un elemento indeseable para la estructura urbana.

En la actualidad, se reconoce cada vez más la importancia de la conservación del área natural del río, no sólo por los beneficios económicos, sino por ser un elemento fundamental para la sostenibilidad de las poblaciones inmediatamente dependientes de los recursos que la micro-cuenca provee y en general, para toda la ciudad. Sin embargo, las estrategias actuales de manejo carecen de un sustento ecológico, lo cual, limita su funcionamiento y pone en riesgo el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que la zona provee.

- ❖ La incongruencia y sobre-regulación de la normatividad aplicable al SC ha propiciado la proliferación de AHI, aunado a la necesidad de vivienda “barata” y la baja rentabilidad económica del uso de suelo con fines agropecuarios y forestales respecto al urbano. Por ello, se requiere de una reestructuración y delimitación de las competencias de los diversos niveles de gobierno, en la que los planes de manejo y conservación de los recursos integren a los AHI, ya que son actores con un gran potencial para la generación de cambios ecológicos en la micro-cuenca. La estructuración de acuerdos entre los diversos actores sociales y políticos en la micro-cuenca permitirá un manejo integral de los recursos que optimice la conservación del área natural y mejore la calidad de vida de los pobladores.

Referencias

- Acosta, S. (2001). Las tierras comunales de la Magdalena Contreras. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 188 pp.
- Aboites Aguilar, L. (1998). El agua de la nación. *Una historia política de México (188-1946)*. México. Centro de investigaciones y estudios superiores de antropología social.
- Aguilar, A. G., & Guerrero, F. L. (2013). Poverty in peripheral informal settlements in Mexico City: the case of Magdalena Contreras, Federal District. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 104(3), 359-378.
- Aguilar, A. G., & Santos, C. (2011). El manejo de asentamientos humanos irregulares en el suelo de conservación del Distrito Federal: una política urbana ineficaz. En: *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades*. Editores: A.G. Aguilar e I. Escamilla, 277-315.
- Alberti, M. (1999). Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(4), 605-629.
- Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., & Zumbrunnen, C. (2003). Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience*, 53(12), 1169-1179.
- Alberti, M., & Marzluff, J. M. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7(3), 241-265.
- Allan, J. D. (1995). *Stream ecology: structure and function of running waters*. Chapman & Hall, London. 388 pp.
- Amaya, C. (2005). El ecosistema urbano: simbiosis espacial entre lo natural y lo artificial. *Revista Forestal Latinoamericana*, 37, 1-16.
- Anagnostidis, K. & J. Komárek. (2005). Oscillatoriales. In: B. Budel, G. Gartner, L. Krienitz and M. Schagerl (Eds.), *Cyanoprokaryota. Freshwater Flora of Central Europe*. 19(2). Elsevier GmbH. Italy.
- Angelier, E. (2003). *Ecology of Streams and Rivers*. Science Publishers, Inc. USA, Enfield, Nuevo Hemisferio. 218 pp.
- APHA (American Public Health Association). (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21 ed. APHA, AWWA, WEF, Port City Press, Washington.
- Avalos, H. C., & López, R. P. (2008). Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos? *Boletín del Archivo Histórico del Agua*,(39), 16-21
- Ávila-Akerberg, V. (2010). *Forest quality in the southwest of Mexico City: assessment towards ecological restoration of ecosystem services*. Doctoral Dissertation in Natural Resources, Department of forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universität, Germany.
- Barbosa Cruz, M. (2005). Los límites de "lo público". Conflictos por el uso del caudal del río Magdalena en el valle de México durante el Porfiriato. *Historias*,(61), 27-42.

- Baird-Parker, A. C. (1990). Foodborne salmonellosis. *The Lancet*, 336 (8725), 1231-1235.
- Barbour, M. T., & Gerritsen, J. (1996). Subsampling of benthic samples: a defense of the fixed-count method. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(3), 386-391.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). EPA-Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers. Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, United States Environmental Protection Agency.
- Berkes, F., & Folke, C. (1998). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*, 1, 13-20.
- Becerril, M. J. G. (2009). El proceso de construcción de estaciones productoras de energía eléctrica. El caso de las fábricas Santa Teresa y La Hormiga (1896-1907). *Boletín de Monumentos Históricos*, vol. (16), 180-191.
- Bojorge-García, M. G., & Cantoral, U. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8.
- Bojorge-García, M., Carmona, J., Beltrán, Y., & Cartajena, M. (2010). Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central Mexico. *Hydrobiologia*, 641(1), 159-169.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), 293-301.
- Bou, G., Fernández-Olmos, A., García, C., Sáez-Nieto, J. A., & Valdezate, S. (2011). Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 29(8), 601-608.
- Branco, C. C., Bispo, P. C., Peres, C. K., Tonetto, A. F., & Branco, L. H. (2014). The roles of environmental conditions and spatial factors in controlling stream macroalgal communities. *Hydrobiologia*, 732(1), 123-132.
- Brosse, S., Arbuckle, C. J., & Townsend, C. R. (2003). Habitat scale and biodiversity: influence of catchment, stream reach and bedform scales on local invertebrate diversity. *Biodiversity & Conservation*, 12(10), 2057-2075.
- Bueno-Soria, J. (2010). *Guía de identificación ilustrada de los géneros de larvas de insectos del orden Trichoptera de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Camarena Ocampo, M. (2001). Jornaleros, tejedores y obreros. *Historia social de los trabajadores textiles de San Ángel (1850-1930)*. México: Plaza y Valdez.
- Carmona, J.J., Rodríguez, R. R., García, M. G. B., Hidalgo, B. G., & Uriza, E. A. C. (2016). Estudio del valor indicador de las comunidades de algas bentónicas: una propuesta de evaluación y aplicación en el río Magdalena, Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 139-152.

- Campos-Pinilla, C., Cárdenas-Guzmán, M., & Guerrero-Cañizares, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). *Universitas Scientiarum*, 13(2), 103-108.
- Caro-Borrero, A., Jiménez, J. C., & Hiriart, M. M. (2015). Evaluation of ecological quality in peri-urban rivers in Mexico City: a proposal for identifying and validating reference sites using benthic macroinvertebrates as indicators. *Journal of Limnology*, 75(s1).
- Caro-Borrero, A.P. (2016) Evaluación socio-ecológica y potencial provisión de servicios ecosistémicos en la sub-cuenca de los ríos Magdalena-Eslava. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Caro-Borrero, A.P. (2016). Evaluación socio-ecológica y potencial provisión de servicios ecosistémicos en la sub-cuenca de los ríos Magdalena-Eslava, Ciudad de México. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa de ciencias del mar y limnología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Castelán, E y Mejía, A. (2011). Política ambiental en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades, editado por Adrián Guillermo Aguilar e Irma Escamilla*, 253-275.
- Cerezo, R. G, (2003). Modelos Conceptuales de Funcionamiento de Ríos y Arroyos. <http://w.columbares.org/proyectofartet/documentos/1341567480.pdf> (Consultado).
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2006). PRIMER version 6: user manual/tutorial. *PRIMER-E, Plymouth, UK*, 192.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2009). Semblanza histórica del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, México.
- Costanza, R., & Folke, C. (1997). Valuing ecosystem services with efficiency, fairness and sustainability as goals. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*, 49-70.
- Cruz, R. M. S. (2008). Propiedad de la tierra, urbanización ejidal y poblamiento en la Zona Metropolitana del Valle de México 1990-2000. *Estudios Agrarios*, 14(38), 45-70.
- Cummins, K. W., Merritt, R. W., & Andrade, P. C. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69-89.
- Death, R. G., & Winterbourn, M. J. (1995). Diversity patterns in stream benthic invertebrate communities: the influence of habitat stability. *Ecology*, 76(5), 1446-1460.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2000). NOM-127-SSAI-1994, Salud Ambiental. *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, México, Secretaría de Salud*.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1997). NOM-001-SEMARNAT/1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.

- Doeg, T., & Lake, P. S. (1981). A technique for assessing the composition and density of the macroinvertebrate fauna of large stones in streams. *Hydrobiologia*,80(1),3-6.
- Duan, X. H., Zhao-Yin, W. A. N. G., & Xu, M. Z. (2011). Effects of fluvial processes and human activities on stream macro-invertebrates. *International Journal of Sediment Research*, 26(4), 416-430.
- Espinosa G, A.C; Aguilar M, MJ y Mazari-Hiriart, M. (2010). Calidad, una limitante más para la disponibilidad del agua. En Aguilar Ibarra, A. (2010). Calidad del agua. Un enfoque multidisciplinario, 25-55.
- Ettl, H. & Gartner, G. (1988). Chlorophyta II. In: A. Pascher, H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer, *Subwasserflora von Mitteleuropa. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales*. Gustav Fischer Verlag.
- Fernández-Galicia, T. (1997). Programa de Manejo para la Conservación de la Zona Protectora Forestal "Cañada de Contreras", Distrito Federal, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Fernández E., A., F. Uribe, I. Ramírez, B. Apolinar y A. Vázquez. (2002). Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. Gaceta Ecológica. 62. México, D. F. México.
- Figueras, M. J., Polo, F., Inza, I., & Guarro, J. (1997). Past, present and future perspectives of the EU bathing water directive. *Marine pollution bulletin*,34(3), 148-156.
- Francis, R. A. (2012). Positioning urban rivers within urban ecology. *Urban Ecosystems*,15(2), 285-291.
- Fremier, A. K. (2004). Stream ecology: concepts and case study of macroinvertebrates in the Skeena River Watershed, British Columbia. *University of California Davis*.
- Frissell, C. A., et al. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10. 199–214.
- Galindo Rodríguez, J. (2012). El Movimiento obrero, el proteccionismo y la legislación laboral: efectos en una empresa textil del Distrito Federal en la primera mitad del siglo XX, Revista Estudios, ITAM, 102 (33-59).
- Galván, B. L. E. (2014). Propuesta para la denominación de la cuenca del río Magdalena como Área Natural Protegida. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- García E, (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Book in Spanish. Geography Institute: 246 pp.
- Gerba, C. P. (2000). Indicator microorganisms. *Environmental microbiology*, 491-503.
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). (2000). Programa General del Ordenamiento Ecológico 2000 – 2003. Secretaría de Medio Ambiente. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Dirección Ejecutiva de Ordenamiento Ecológico. México, D. F. México.

GDF (Gobierno del Distrito Federal). (2012). Atlas geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. México.

González, R. A. E., Hernández, M. L., Perló, C. M. e I.Z. Sáenz (2010). Rescate de ríos urbanos. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa Universitario de Estudios Sobre la Ciudad, Coordinación de Humanidades, México, D.F. 109 p.

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864), 756-760.

Guevara, G; Reynoso, G; García, J.E; Franco, L.M; García, L; Yara, D; Pava, D.Y; Flóres, N; Ávila, M; Hernández E; Lozano L; Guapucal, M; Borrero, D y Olaya, E. (2008). Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. *Revista Tumbaga*, 1(3).

Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). Urban rivers: hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. *Geography Compass*, 1(5), 1118-1137.

Hach. (2003). Water analysis handbook. 4 ed. Hach Co., Loveland, Colorado, USA: 1260 p.

Hershey, A. E., & Lamberti, G. A. (1998). Stream macroinvertebrate communities. *River Ecology and Management-Lessons from the Pacific coastal ecoregion*, 169-199.

Higgins, S. N., Malkin, S. Y., Todd Howell, E., Guildford, S. J., Campbell, L., Hiriart-Baer, V., & Hecky, R. E. (2008). An ecological review of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Laurentian Great Lakes. *Journal of Phycology*, 44(4), 839-854.

Izazola, H. (2001). Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 285-320.

Jowett, I. G. (2003). Hydraulic constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed rivers. *River Research and Applications*, 19(5-6), 495-507.

Jujnovsky, J. (2006). Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Kuckartz, U. (2007). MAXQDA: Qualitative data analysis. *Berlin & Marbug, Germany: VERBI software*.

Legorreta J. (2009). Ríos, lagos y manantiales del Valle de México. Universidad Autónoma Metropolitana, Gobierno del Distrito Federal, Ciudad de México, México, 365 pp.

Martínez, S. M. (2015). Reestructuración urbana de antiguos asentamientos irregulares, el caso de la colonia San Jerónimo Aculco, La Magdalena Contreras, Distrito Federal. Tesis de Maestría en Urbanismo, Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Mazari-Hiriart, M., Pérez-Ortiz, G., Orta-Ledesma, M. T., Armas-Vargas, F., Tapia, M. A., Solano-Ortiz, R., Silva, M.A., Yañez-Norquez, I., López-Vidal, Y. & Díaz-Ávalos, C. (2014). Final opportunity to rehabilitate an urban river as a water source for Mexico City. *PloS one*, 9(7), e102081.

- Merlo, G. A. (2014). Efecto de la heterogeneidad espacial sobre la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados acuáticos de Xochimilco. Tesis de Maestría, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Merritt RW, Cummins KW, Berg MB (2008). An introduction to the aquatic insects of North America, 4 ed. Kendall Hant, Dubuque: 1158 pp.
- Metcalfe, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60(1), 101-139.
- Minshall, G. W., & Minshall, J. N. (1977). Microdistribution of benthic invertebrates in a Rocky Mountain (USA) stream. *Hydrobiologia*, 55(3), 231-249.
- Monges, M. Y. L. (2009). Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, Distrito Federal. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Monsivais, M. B. (2014). *Programa de rescate integral del río Magdalena en México DF* (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña).
- Nava, M. Z. (2003). Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad. Tesis de licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Necchi O.Jr., Branco L. y Cesar C. (1995). Comparison of three techniques for estimating periphyton abundance in bedrock streams. *Arch. Hydrobiol.* 134, 393-402. DOI: 35400005016705.0080.
- Neitzel, K. C. (2013). Payments for environmental services- reducing emissions from deforestation and degradation (PES-REDD) in México: a strategy to guarantee the permanence of forest carbon stocks?. Tesis de Doctorado en Economía, Programa de posgrado en Economía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Niemelä, J. (1999). Ecology and urban planning. *Biodiversity & Conservation*, 8(1), 119-131.
- Omori, M. e Ikeda, T.(1984). *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley & Sons. EEUU., 331 p.
- Ortiz, P. (1999). *Comunidades y conflictos socioambientales: experiencias y desafíos en América Latina*. Ediciones UPS: Abya-Yala: Programa FTTP/FAO: Comunidec. Quito, Ecuador.
- Palmer, C. G., Maart, B., Palmer, A. R., & O'Keeffe, J. H. (1996). An assessment of macroinvertebrate functional feeding groups as water quality indicators in the Buffalo River, eastern Cape Province, South Africa. *Hydrobiologia*, 318(3), 153-164.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial). DF. (2010). Estudio sobre el ordenamiento, control y tratamiento integral de los asentamientos humanos irregulares ubicados en el suelo de conservación del Distrito Federal.

<http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EOT-08-2010.pdf> (Consultado el 19 de enero de 2016, 2:04 pm).

Pardo I, Gómez-Rodríguez C, Wasson JG, Oven R, van de Bund W, Kelly M, Bennett C, Birk S, Buffagni A, Erba S, Mengin N, Murray-Bligh J, Ofenböeck G, 2012. The European reference condition concept: a scientific and technical approach to identify minimally impacted river ecosystems. *Sci. Total Environ.* 420:33-42.

Paruelo, J., Alcaraz-Segura, D., & Volante, J. N. (2011). El seguimiento del nivel de provisión de los servicios ecosistémicos. *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina*, 141-162.

Peña E.J., Palacios M.L y Ospina N. (2005). Algas como indicadoras de contaminación. Programa Editorial Universidad del Valle. Colombia. 164 p.

Pérez- Ortiz, G. (2005). Diagnóstico ambiental como base para la rehabilitación de las Ciénegas de Lerma, Estado de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Pickett, S. T., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Boone, C. G., Groffman, P. M., Irwin, E., ... & Pouyat, R. V. (2011). Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 331-362.

Pinilla, G. A. P. A. (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. U. Jorge Tadeo Lozano.

Polo, F., Figueras, M. J., Inza, I., Sala, J., Fleisher, J. M., & Guarro, J. (1998). Relationship between presence of Salmonella and indicators of faecal pollution in aquatic habitats. *FEMS Microbiology Letters*, 160(2), 253-256.

PUEC-UNAM (Programa Universitario de Estudios de la Ciudad-Universidad Nacional Autónoma de México). (2008). "Propuesta de diagnóstico integrado de la cuenca del río Magdalena." En Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena. SMA-GDF, UNAM. PUEC-GDF.

Quevedo, M.A. (1943). Relato de mi vida. México. 50 p

Ramírez, R. R. & Carmona, J. J (2005). Taxonomy and distribution of freshwater Prasiola (Prasiolales, Chlorophyta) in central México. *Cryptogamie. Algologie*, 26(2), 177-188.

Ramírez Vázquez, M. (2002). Flora algal de ambientes lóticos en la zona occidental de la cuenca del valle de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Ramos, E.A. (2008). Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

- Rasmussen, J. J., McKnight, U. S., Loinaz, M. C., Thomsen, N. I., Olsson, M. E., Bjerg, P. L., ... & Kronvang, B. (2013). A catchment scale evaluation of multiple stressor effects in headwater streams. *Science of the Total Environment*, 442, 420-431.
- Rees, W. E. (1997). Urban ecosystems: the human dimension. *Urban Ecosystems*, 1(1), 63-75.
- Reice, S. R. (1980). The role of substratum in benthic macroinvertebrate microdistribution and litter decomposition in a woodland stream. *Ecology*, 61(3), 580-590.
- Reynaga, M. C. (2009). Hábitos alimentarios de larvas de Trichoptera (Insecta) de una cuenca subtropical. *Ecología austral*, 19(3), 207-214.
- Rodríguez, F.R. (2014). Diversidad y distribución de algas macroscópicas de ríos de alta montaña de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Romero, V. E. M. (2008). Pérdida del suelo de conservación por asentamientos humanos irregulares en el ejido de San Nicolás Totolapan, Delegación Magdalena Contreras, Distrito Federal. Tesis de Maestría en Ciencias, Secretaría de Investigaciones y Posgrado, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Sánchez, C., & Díaz-Polanco, H. (2011). Pueblos, comunidades y ejidos en la dinámica ambiental de la Ciudad de México. *Cuicuilco*, 18(52), 191-224.
- Sánchez-Montoya, M. M., Vidal-Abarca, M. R., Puntí, T., Poquet, J. M., Prat, N., Rieradevall, M., Alba-Tecedor J; Zamora-Muñoz C; Toro M; Robles S; Álvarez M & Suárez, NL. (2009). Defining criteria to select reference sites in Mediterranean streams. *Hydrobiologia*, 619(1), 39.
- SMA (Secretaría del Medio Ambiente), Tatiana Bilbao SC y Benlliure Betancourt Arquitectos SA de CV (2009). "Parque Lineal Chimalistac- Viveros. Proyecto Ejecutivo. Contexto socioambiental: Estudio histórico". México, D.F, SMA-GDF.
- SMA (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal). (2012). Programa de rescate integral de los ríos Magdalena y Eslava, Ciudad de México, México.
- Sheath, R.G y Hambrook, J.A. (1990). Freshwater ecology. En Cole, K.M y Sheath, R.G. (eds), *Biology of the Red Algae*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sheath, R. G., & Cole, K. M. (1992). Biogeography of stream macroalgae in north America. *Journal of Phycology*, 28(4), 448-460.
- Simonelli S. C. E. (2015). Cambio climático y políticas de la ciudad: el caso de la delegación Magdalena Contreras. *Ciudad de México: quince años de políticas públicas en gobiernos de izquierda*, 547.
- Southwood, T. R. E. (1977). Habitat, the templet for ecological strategies?. *The Journal of Animal Ecology*, 46:337-365.
- Statzner, B., Gore, J. A., & Resh, V. H. (1988). Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(4), 307-360.

- Steneck, R. S., & Dethier, M. N. (1994). A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos*, 476-498.
- Tchobanoglous, G. y E.D. Schroeder [1985], *Water quality*, Reading, Addison-Wesley Publ.
- Trejo, R. LG. (2015). Características de la calidad de vida de las familias que habitan en asentamientos humanos irregulares. Tesis de Maestría en Urbanismo, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Tornés, E., Cambra, J., Gomà, J., Leira, M., Ortiz, R., & Sabater, S. (2007). Indicator taxa of benthic diatom communities: a case study in Mediterranean streams. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 43, No. 1, pp. 1-11). EDP Sciences
- Vannote RL; Minshall GW; Cummins KW; Sedell JR; Cushing CE. (1980). The river continuum concept. *Can. J. Fish, Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Verdonschot, P. K. (2001). Hydrology and substrates: determinants of oligochaete distribution in lowland streams (The Netherlands). In *Aquatic Oligochaete Biology VIII* (pp. 249-262). Springer Netherlands.
- Vieira, J., & Necchi, O. (2002). Microhabitat and plant structure of Characeae (Chlorophyta) populations in streams from Sao Paulo State, southeastern Brazil. *Cryptogamie Algologie*, 1(23), 51-63.
- Vitz, M. (2012). La ciudad y sus bosques: La conservación forestal y los campesinos en el valle de México, 1900-1950. *Estudios de historia moderna y contemporánea de México*, (43), 135-172.
- Wallace, J. B., & Webster, J. R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual review of entomology*, 41(1), 115-139.
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan II, R. P. (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706-723.
- Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B., & Claret, C. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 47(4), 517-539.
- Wher, D.F.& Sheath, R.G. (2003). *Freshwater algae of North America*. Academic Press USA.
- Whitton, B. A. (1975). *River ecology* (Vol. 2). Univ of California Press.
- Wohl, E. (2006). Human impacts to mountain streams. *Geomorphology*, 79(3), 217-248.
- Zamora, Z. I.B. (2013). Participación social en la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena en la Ciudad de México. Tesis de Doctorado en Sociología. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Académica de México. México.

ANEXOS

Anexo I. Protocolo para la evaluación de Calidad de Hábitat (Barbour *et al.*,1999).

| Parámetros a evaluar | CATEGORÍAS | | | |
|-------------------------------|---|---|---|--|
| | <i>Óptimo</i> | <i>Subóptimo</i> | <i>Marginal</i> | <i>Pobre</i> |
| 1. Substrato epifaunal. | Más del 70% de los hábitats son favorables para la colonización, presenta una mezcla de substratos como son leños sumergidos, piedras, cortes en las orillas u otro hábitat estable que permite la colonización potencial completa. | 40 – 70% de mezcla de hábitats estables, potencial para la colonización completa, hábitat adecuado para el mantenimiento de las poblaciones, presencia de substrato caídos reciente, pero que todavía no están preparados para la colonización. | 20 – 40% de mezcla de hábitats estables, disponibilidad menor de hábitats, los substratos están con frecuencia perturbados o removidos. | Menos del 20% de hábitats estables, falta evidente de hábitats, substrato inestable o inexistente. |
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 2. Sustrato embebido. | 0 – 25% de la grava, piedra y rocas grandes rodeados por sedimento fino. Estratos de piedra proporcionan una diversidad de espacio del nicho. | 25 – 50% de la grava, piedra y rocas grandes rodeadas por sedimento fino. | 50 – 75% de la grava, piedra y rocas grandes rodeadas por sedimento fino. | Más del 75% de la grava, piedra y rocas grandes rodeado por sedimento fino. |
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 3. Velocidad y Profundidad | Todos los cuatro regímenes de velocidad y profundidad presentes (lento – profundo, lento – poco profundo, rápido – profundo, rápido – poco profundo). | Solo 3 de las 4 categorías presentes. | Solo 2 de las 4 categorías presentes (rápido – poco profundo o lento – poco profundo están ausentes) | Dominado por una velocidad y profundidad (normalmente lento – profundo) |
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 4. Acumulación de sedimento | Pequeño o ningún agrandamiento de islas o puntos de obstrucción. Menos del 5% del fondo afectado por depósitos de sedimento. | Una formación pequeña de barreras, principalmente de arena gruesa, arena o sedimento fino. 5 – 30% del fondo afectado, deposición ligera en piscinas. | Acumulación moderada de arena gruesa, arena o sedimento fino en barreras anteriores y recientes, 30-50% del fondo afectado, el sedimento es depositado encogiéndose el lecho y curvaturas, deposición moderada de piscinas prevaletentes. | Depósitos altos de material fino, aumento en las barreras, más del 50% del fondo cambian frecuentemente, piscinas casi ausentes debido a la acumulación sustancial de sedimento. |
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 5. Estado del flujo del cauce | Las bases de las dos orillas del río y el substrato del cauce | El agua llena > 75% del cauce disponible, o <25% de sustrato del cauce es expuesto | El agua se llena del 25 – 75% del cauce disponible, o los substratos de los | Una muy pequeña cantidad de agua en el cauce y principalmente se presenta |

| | están expuestas en una cantidad mínima. | | rápidos son principalmente expuestos. | como piscinas permanentes. |
|--|--|---|---|---|
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 6. Alteración del cauce | Canalización o dragando ausentes o mínimos, arroyo con una forma normal. | Presenta algunas canalizaciones, normalmente en áreas de los estribos de los puentes, evidencia una canalización pasada, es decir, dragado (hace más de 20 años) tal vez presente, pero resiente no está presente la canalización. | Canalización tal vez extensa; terraplenos o estructuras presentes en ambas orillas; y del 40 al 80% del arroyo canalizado e interrumpido en un tramo. | Las orillas apuntaladas con gaviones o cemento; más del 80% del arroyo canalizado e interrumpido. El hábitat del río alterado altamente o quitado completamente. |
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 7. Frecuencia de rápidos. | Presencia de rápidos relativamente frecuente; la proporción entre la distancia de rápidos dividido por ancho del arroyo es < 7.1 (generalmente 5 a 7); la variedad de hábitats es importante. En arroyos donde los rápidos son continuos, la presencia de rocas grande u otros obstáculos naturales son importantes. | Presencia de rápidos poco frecuentes; distancia entre rápidos dividido por el ancho del arroyo está entre 7 a 15. | Rápidos o recodos ocasionales; los contornos del fondo proporcionan algún hábitat; distancia entre rápidos dividido por el ancho del arroyo está entre 15 a 25. | Generalmente toda el agua es uniforme o rápidos poco profundos; hábitat pobre; distancia entre rápidos dividido por el ancho del arroyo es una proporción >25. |
| | 20 19 18 17 16 | 15 14 13 12 11 | 10 9 8 7 6 | 5 4 3 2 1 0 |
| 8. Estabilidad del banco. | Orilla estable; evidencia erosión o fallo de la orilla ausente o mínimo; pequeño potencial para problemas futuros. <5% de banco afectado. | Moderadamente estable; poco frecuente, pequeñas áreas de erosión han sanado principalmente encima 5 – 30% de la orilla tiene áreas de erosión. | Ligeramente inestable; 30 – 60% de la orilla tienen áreas de erosión; potencial alto de erosión durante diluvios. | Inestable; muchas áreas erosionadas; las áreas descubiertas se encuentran presentes a lo largo de las secciones rectas y curvas; orilla con desprendimientos evidente; 60 – 100% de la orilla tiene marcas de erosión con cicatriz. |
| | Banco izquierdo 10 9 | 8 7 6 | 5 4 3 | 2 1 0 |
| | Banco derecho 10 9 | 8 7 6 | 5 4 3 | 2 1 0 |
| 9. Protección de la vegetación al banco. | Más del 90% de la superficie de las orillas del río y las zonas ribereñas inmediatas, cubiertas por vegetación nativa, incluso de árboles, arbustos o macrófitas; interrupciones de la vegetación mínimo o no evidente; casi todas las plantas tuvieron un crecimiento natural. | 70 – 90% de la superficie de las orillas del río cubiertas por vegetación nativa, pero una clase de plantas no está bien representada; interrupción evidente pero no afecta el potencial crecimiento de las plantas para extenderse; más de la mitad son pequeñas plantas potenciales y el resto altas. | 50 – 70% de la superficie de las orillas del río cubiertas por vegetación; interrupciones evidentes; parches de tierra desnuda. | Menos del 50% de la superficie de las orillas del río cubiertas por vegetación; la interrupción de la vegetación en las orillas es muy alta. |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Banco izquierdo | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | Banco derecho | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 10. Ancho de la vegetación ribereña. | Ancho de la zona ribereña > 18 metros | Ancho de la zona ribereña 12 – 18 metros; las actividades humanas sólo han impactado las zonas mínimamente. | | | Ancho de la zona ribereña 6 – 12 metros; las actividades humanas han impactado una gran parte de la zona. | | | Ancho de la zona ribereña < 6 metros; pequeña o ninguna vegetación ribereña debido a las actividades humanas. | | | | |
| | Banco izquierdo | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | Banco derecho | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

Puntuación total:

Anexo II. Encuesta realizada a los integrantes de comunidades en la micro-cuenca del río Magdalena.

A. Filtro / Identificación

| | | | | | |
|--|--|------------------------------|---------|---|---|
| 1. # de entrevista: | | 2. Nombre del entrevistador: | | | |
| 3. Fecha: | | 4. Duración: | : | - | : |
| 5. Nombre del entrevistado y/o # de registro (opcional): | | | 6. NIP | | |
| 7. Hombre (0) / Mujer (1) | | 0 / 1 | 8. Edad | | |
| 9. Usted vive en: | | | | | |
| a. Dentro de la zona boscosa | | 1 | | | |
| b. Fuera del área boscosa | | 2 | | | |

B. Composición del hogar

¿Quiénes son los miembros del hogar actualmente?

Nota: Miembros son todos aquellos que viven y trabajan la mayoría del año en la comunidad.

| 1. Número de identificación personal (NIP); en relación con el jefe de hogar ¹⁾ | 2. Año de nacimiento (aaaa) | 3. Sexo (0=masc./1=fem.) | 4. Educación Nive ²⁾ |
|--|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

1) Códigos: 1=jefe de hogar; 2=esposa/o; 3=hijo/a; 4=yerno/nuera; 5=nieta/o; 6=madre/padre; 7=suegro/a; 8=hermano/a; 9=cuñado/a; 10=tío/a; 11=sobrino/a; 12=entendados/hijos adoptivos; 13=otros familiares; 14=no emparentados

2) Códigos: 0=Ninguno; 1=Preescolar; 2=Primaria; 3=Secundaria; 4=Preparatoria o bachillerato; 5=Normal; 6=Carrera técnica o comercial; 7=Profesional; 8=Maestría; 9=Doctorado

C. Percepción de servicios

Conteste a las siguientes preguntas:

| | Sí=1/No=0 |
|---|-----------|
| 1. ¿Usted trabaja o cultiva un predio o parcela dentro de la comunidad? | |
| - 2. Si sí ☐ ¿Cuántas hectáreas? _____ (ha) | |
| 2. ¿Usted estaría a favor de vender su tierra? | |
| - 4. Sea no o si ☐ ¿Por qué? | |

C.1 Servicios de provisión

1. ¿Usted o su familia bebe agua del río o manantial?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 0 |
|----|---|----|---|

2. Si sí ¿Alguna vez se ha enfermado por tomar agua del río?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 0 |
|----|---|----|---|

3. ¿Usted piensa que la presencia de casas y comercios cercanos al río:

| | | | | | |
|--|---|--------------------|---|---|---|
| Mejoran la limpieza del agua del río? | 1 | Indiferente | 2 | Empeoran la limpieza del agua del río? | 3 |
|--|---|--------------------|---|---|---|

4. ¿Usted piensa que la presencia de casas y comercios cercanos al río:

| | | | | | |
|---|---|--------------------|---|--|---|
| Mejoran la cantidad de agua del río? | 1 | Indiferente | 2 | Empeoran la cantidad de agua del río? | 3 |
|---|---|--------------------|---|--|---|

5. ¿Usted considera que los criaderos de truchas:

| | | | | | |
|--|---|--------------------|---|---|---|
| Mejoran la limpieza del agua del río? | 1 | Indiferente | 2 | Empeoran la limpieza del agua del río? | 3 |
|--|---|--------------------|---|---|---|

6. ¿Usted considera que la presencia de ganado dentro de los bienes comunales:

| | | | | | |
|------------------------------------|---|--------------------|---|------------------------------------|---|
| Afectan de manera positiva? | 1 | Indiferente | 2 | Afectan de manera negativa? | 3 |
|------------------------------------|---|--------------------|---|------------------------------------|---|

7. ¿Usted considera que tiene relación la presencia del bosque con la cantidad del agua del río?

| | | | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| No tiene ninguna relación | 1 | Se relaciona muy poco | 2 | Se relaciona estrechamente | 3 |
| ¿Por qué? | | | | | |

8. ¿Considera que el bosque está relacionado con que el agua del río está más limpia?

| | | | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| No tiene ninguna relación | 1 | Se relaciona muy poco | 2 | Se relaciona estrechamente | 3 |
| ¿Por qué? | | | | | |

9. ¿Cree que el agua del río Magdalena se puede acabar algún día?

| | |
|-------------|--|
| Sí=1 / No=0 | |
|-------------|--|

10. ¿Utiliza el agua del río?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 0 |
|----|---|----|---|

(Si la respuesta es NO, pasar al inciso 11-b).

11. a) ¿Para qué utiliza el agua del río?

Nota: Respuestas múltiples son posibles.

| | | | |
|-------------------------|----------|---|----------|
| - riego de cultivos | 1 | - limpiar y cocinar alimentos en el restaurante | 5 |
| - el ganado | 2 | - atracción para los visitantes del restaurante | 6 |
| - la crianza de truchas | 3 | - otro (nombrar) | 7 |
| - en el hogar | 4 | | |

b) Por favor señale si está de acuerdo con las siguientes afirmaciones:

| La cuenca / el río es importante | Sí=1/No=0 |
|---|------------------|
| - 12. por su número (cantidad) de plantas y animales. | |
| - 13. como sitio de recreación y actividades (calidad) turísticas. | |
| - 14. para mantener limpio (calidad) el aire de la ciudad de México. | |
| - 15. para mantener limpio (calidad) el aire de las tierras comunales. | |
| - 16. como fuente (cantidad) de agua para las viviendas en el Distrito Federal. | |
| - 17. como fuente (cantidad) de agua para las viviendas en la Delegación M.-Contreras. | |
| - 18. como fuente (cantidad) de agua para usos dentro de las tierras comunales. | |
| - 19. porque aquí tengo mis raíces culturales y mi familia siempre ha vivido aquí. | |
| - 20. porque mi sustento y el de mi familia proviene de actividades dentro de la cuenca. | |

D. Capital físico

1. ¿Qué clase de vivienda/ vivienda particular tiene?

| | | | |
|-------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|
| Casa independiente | 1 | Local no construido para habitación | 5 |
| Departamento en edificio | 2 | Vivienda móvil | 6 |
| Vivienda o cuarto en vecindad | 3 | Refugio | 7 |
| Vivienda o cuarto en azotea | 4 | | |

2. Pisos ¿De qué material es la mayor parte del piso de su vivienda?

| | | | | | |
|--------|----------|---------------|----------|---------------------------------|----------|
| Tierra | 1 | Cemento firme | 2 | Madera, mosaico u otro material | 3 |
|--------|----------|---------------|----------|---------------------------------|----------|

3. Disponibilidad de agua - ¿En su vivienda / casa tiene agua de: *Nota: Respuestas múltiples son posibles.*

| | | | |
|---|----------|------------------------------|----------|
| la red pública dentro de la vivienda? | 1 | una pipa? | 5 |
| la red pública fuera de la vivienda, pero dentro del terreno? | 2 | un pozo? | 6 |
| una llave pública (o hidrante)? | 3 | un río, arroyo, lago u otro? | 7 |
| otra vivienda? | 4 | | |

4. ¿Su vivienda tiene excusado, retrete, sanitario, letrina u hoyo negro? A)

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 2 |
|----|---|----|---|

b)

| | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|---|----------------------|---|
| Si sí ¿Este servicio: | Tiene conexión de agua? | 1 | No puede echar agua? | 3 |
| | Le echan agua con una cubeta? | 2 | | |

5. Drenaje ¿Su vivienda tiene drenaje o desagüe conectado a:

| | | | | | |
|-------------------|---|---|---|--------------------|---|
| la red pública? | 1 | una tubería que va a dar a una barranca o grieta? | 3 | ¿No tiene drenaje? | 5 |
| una fosa séptica? | 2 | una tubería que va a dar a un río, lago o mar? | 4 | | |

6. ¿Tiene luz/ electricidad en su vivienda/ casa?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 2 |
|----|---|----|---|

7. ¿El combustible que más utiliza para cocinar es

| | | | | | | | | | |
|------|---|--------------------------|----|---------|---|-----------|---|---------------|---|
| Gas? | 1 | Leña para estufa? | 2a | Carbón? | 3 | Petróleo? | 4 | Electricidad? | 5 |
| | | Leña para fuego abierto? | 2b | | | | | | |

E. Capital social

1. ¿Existe algún tipo de organización social en la colonia?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 2 |
|----|---|----|---|

2. ¿Usted pertenece a algún grupo organizado?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 2 |
|----|---|----|---|

3. Si es así, ¿Usted tiene algún cargo dentro de la comunidad?

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 2 |
|----|---|----|---|

4. Por favor indique en una escala del 1 al 5 [1=muy en desacuerdo, 2=desacuerdo, 3=indiferente, 4=de acuerdo, 5=muy de acuerdo] si las siguientes instituciones son de confianza:

Nota: Utiliza la hoja con la escala en el anexo.

| | | | | | |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 1. La CONAGUA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. La CONAFOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. La Universidad de Chapingo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. La UNAM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. La CORENA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. El Comisariado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7. La Delegación Magdalena Contreras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|
| 8. Alguna ONG verde | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9. La iglesia | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

F. Estrategias

1. ¿Cuál es su situación laboral actual?

| | | | | | | | |
|---------------------------|---|-----------------|---|------------|---|-------------|---|
| Empleo de tiempo completo | 1 | Empleo eventual | 3 | Hogar | 5 | No contestó | 7 |
| Empleo de medio tiempo | 2 | Independiente | 4 | No trabajo | 6 | | |

F.1 Servicios Directos

Beneficios del bosque y río.

- a) ¿Cuáles son los beneficios que se pueden obtener del bosque?
 b) ¿Cuál actividad realizan en su hogar para subsistencia (**autoconsumo**)? (Sí=1/No=0)
 c) ¿Cuáles son las fuentes de ingreso en su hogar (**actividades lucrativas**)? (Sí=1/No=0)

| Actividad | a) | b) | c) | d) | e) | Actividad | a) | b) | c) | d) | e) |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----------------------|----|----|----|----|----|
| Actividad/producto forestal | | | | | | Crianza de animales | | | | | |
| - 1. Madera | | | | | | - 11. truchas | | | | | |
| - 2. Leña | | | | | | - 12. vacas | | | | | |
| PFNM (NTPF) | | | | | | - 13. puercos | | | | | |
| - 3. hongos comestibles | | | | | | - 14. ovejas | | | | | |
| - 4. Agua | | | | | | - 15. gallinas | | | | | |
| - 5. plantas medicinales | | | | | | - 16. caballos | | | | | |
| - 6. animales silvestres | | | | | | - 17. conejos | | | | | |
| Agricultura | | | | | | 18. Empleado | | | | | |
| - 7. verduras/legumbres | | | | | | 19. Funcionario | | | | | |
| - 8. granos (maíz, trigo) | | | | | | 20. Comerciante | | | | | |
| - 9. Frutas | | | | | | 21. Otros (nombrar): | | | | | |
| - 10. Flores | | | | | | - | | | | | |

G. Resultados medios de vida

G.1 Bienestar

1. Usted se siente o considera en una escala del 1 al 5 [1=muy en desacuerdo, 2=desacuerdo, 3=indiferente, 4=de acuerdo, 5=muy de acuerdo] que...

Nota: Utiliza la hoja con la escala en el anexo.

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| 1. Estoy orgulloso de ser miembro de su comunidad. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2. Participó activamente en la toma de decisión de su comunidad. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. Mi herencia cultural está siendo respetada y aceptada por la sociedad y el estado. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. Vivir en la comunidad es seguro. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. Los miembros de mi casa se enferman frecuentemente. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. La basura dentro de la cuenca me afecta. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

H. Contexto de vulnerabilidad

1. ¿En el lugar donde usted vive se presenta algún riesgo de desastre natural? a)

| | | | |
|----|---|----|---|
| Si | 1 | No | 0 |
|----|---|----|---|

Ejemplos: incendios forestales, incendios por falla eléctrica. Deslaves/erosión (pérdida del suelo), inundaciones.

b) Si sí ¿cuáles?

2. ¿Hay tendencias de conflicto sobre el terreno en la comunidad?

Nota: Respuestas múltiples son posibles

| | | | | | |
|---------|---|--------------------------------------|---|------------------|---|
| No hay | 0 | Externo con vecinos | 2 | Otros (nombrar): | 4 |
| Interno | 1 | Externo con la administración del DF | 3 | | |

3. Para su familia ¿cuáles son los problemas principales de la vida cotidiana?

Nota: respuestas múltiples son posibles

| | | | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------|----|
| Catástrofe natural | 1 | Plagas | 5 | Salud | 9 |
| Conflictos de terreno | 2 | Seguridad (delincuencia) | 6 | Corrupción | 10 |
| Incertidumbre sobre precios | 3 | Oportunidades económicas | 7 | Intervención del estado | 11 |
| Falta de alimento | 4 | Discriminación | 8 | Falta de conectividad | 12 |
| | | | | Otros (nombrar) | 13 |

Anexo III. Sistema de códigos planteado para el análisis social

