



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EVALUACIÓN DEL MONITOREO
COMUNITARIO PARTICIPATIVO DE LA
CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO
MAGDALENA, CIUDAD DE MÉXICO,
MÉXICO**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA

HERNÁNDEZ LIDES JOSÉ MANUEL

DIRECTORA DE TESINA:

DRA. LUCÍA ORALIA ALMEIDA LEÑERO



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2018

1. Datos del alumno	1. Datos del alumno
Apellido paterno	Hernández
Apellido materno	Lides
Nombre (s)	José Manuel
Teléfono	5547286606
Universidad Nacional Autónoma de México	Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias	Facultad de Ciencias
Carrera	Biología
Número de cuenta	309052902
2. Datos de tutor	2. Datos de tutor
Grado	Dra.
Nombre (s)	Lucía Oralia
Apellido materno	Almeida
Apellido materno	Leñero
3. Datos del sinodal 1	3. Datos del sinodal 1
Grado	Dra.
Nombre (s)	Adriana Carolina
Apellido materno	Flores
Apellido materno	Díaz
4. Datos del sinodal 2	4. Datos del sinodal 2
Grado	Dra.
Nombre (s)	María Engracia
Apellido materno	Hernández
Apellido materno	Cerda
5. Datos del sinodal 3	5. Datos del sinodal 3
Grado	M. en C.
Nombre (s)	Verónica
Apellido materno	Aguilar
Apellido materno	Zamora
6. Datos del sinodal 4	6. Datos del sinodal 4
Grado	Mtra.
Nombre (s)	Esther
Apellido materno	Sandoval
Apellido materno	Palacios
7. Datos del trabajo escrito	7. Datos del trabajo escrito
Título	Evaluación del monitoreo comunitario participativo de la calidad ecológica del río Magdalena Ciudad de México, México
Número de páginas	75 p.
Año	2018

Agradecimientos

Al proyecto PAPIIT-UNAM IT201415 “Monitoreo participativo de la reforestación, calidad ecológica y restauración de los ríos y arroyos en el Bosque de Agua con énfasis en la cuenca del río Magdalena, D.F.” por brindaron los recursos necesarios para realizar este trabajo.

Al proyecto 5526 Conacyt, “Observatorio Nacional para la Sustentabilidad Socio-ecológica”

A la Comunidad Agraria Magdalena Contreras Atlitic, por permitirme trabajar en el monitoreo de su río durante 2017.

A cada uno de los monitores comunitarios por el recibimiento tan cálido en cada salida a campo y hacer de esta labor de monitoreo una experiencia que tendré siempre conmigo.

A la Dra. Lucia Almeida Leñero quien me brindo todo el apoyo y confianza para realizar este proyecto.

A la M. en C. Verónica Aguilar por el apoyo brindado en la elaboración de mis mapas y por todos sus buenos consejos.

A la Dra. Adriana Carolina Flores Díaz, a la Dra. María Engracia Hernández Cerda y a la Mtra. Esther Sandoval Palacios, mis sinodales que tan amablemente revisaron este trabajo.

A mis compañeros y alumnos de servicio social del Laboratorio Ecosistemas de Montaña de la Facultad de Ciencias-UNAM, por el apoyo brindado y por hacer muy amenas las horas de trabajo.

A la UNAM mi segunda casa, quien me abrió sus puertas desde hace mucho tiempo y donde encontré el conocimiento que me ha permitido crecer y mejorar cada aspecto de mi vida.

Agradecimientos personales

A mis padres, Leticia y Fidel por su paciencia, confianza y apoyo en cada momento de mi vida, gracias por todo el esfuerzo que hicieron para que cumpliera mis metas.

A mi abuelita Domi, por su cariño y por estar siempre al pendiente de mí.

A mi hermano Marco, por ser mi mejor amigo y por apoyarme incondicionalmente.

A Karina por quererme a pesar de mis defectos y por estar conmigo en momentos difíciles.

A mis amigos de “Las de colores” por su compañía a lo largo de estos años.

Cada palabra que diga o escriba no será suficiente para describir el inmenso agradecimiento y cariño que siento por ustedes.

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción.....	2
3. Marco teórico.....	4
➤ Sistemas socioecológicos	4
➤ Servicios ecosistémicos de cuencas hidrológicas.....	5
➤ Calidad ecológica del agua.....	7
➤ Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua	8
4. Justificación y objetivo.....	11
5. Método.....	12
➤ Área de estudio, la Cuenca del río Magdalena (CRM) como sistema socioecológico	12
➤ Monitoreo	17
6. Resultados y discusión	27
➤ Parámetros fisicoquímicos	27
➤ Bioindicadores.....	31
➤ Calidad de zona de ribera	35
➤ Participación social.....	37
7. Conclusiones y recomendaciones finales	42
8. Referencias	44
9. Anexos.....	49
A. Manual de campo para monitorear la calidad ecológica del río Magdalena, Cd. Mx., México.....	49
B. Fotos del maletín de campo Alabama Water Quality Monitoring Kit para monitoreo de ríos y equipo para monitoreo de coliformes totales y <i>E. coli</i>	71
C. Formatos de campo	72
D. Base de datos	77

Índice de figuras y cuadros

Figuras

Figura 1: El sistema socioecológico.	4
Figura 2. Calidad ecológica del agua.	7
Figura 3. Localización de la cuenca del río Magdalena dentro el suelo de conservación CDMX.	12
Figura 4. Apariencia del río Magdalena en diferentes altitudes.	15
Figura 5. Desarrollo del monitoreo comunitario participativo en el río Magdalena, CDMX.	17
Figura 6. Diagrama metodológico del monitoreo comunitario participativo de la calidad ecología del río Magdalena, CDMX.....	18
Figura 7. Localización de los puntos de monitoreo en el río Magdalena, CDMX.....	19
Figura 8. Análisis fisicoquímicos en el río Magdalena, CDMX	21
Figura 9. Análisis de bioindicadores en el río Magdalena, CDMX	23
Figura 10. Calidad de zona de ribera en el río Magdalena, CDMX.....	24
Figura 11. Diferentes etapas del proceso de difusión de los resultados del monitoreo comunitario participativo durante el 2017.....	26
Figura 12. Resultados de dureza obtenidos en el río Magdalena, CDMX.	28
Figura 13. Resultados de alcalinidad obtenidos en el río Magdalena, CDMX.	29
Figura 14. Resultados de saturación de oxígeno obtenidos en el río Magdalena, CDMX...	30
Figura 15. Resultados de turbidez obtenidos en el río Magdalena, CDMX.....	31
Figura 16. Resultados sobre las UFC de coliformes totales y E. coli obtenidos en el río Magdalena, CDMX.	33
Figura 17. Calidad biológica en relación a macroinvertebrados del río Magdalena, CDMX.	34
Figura 18. Calidad de zona de ribera del río Magdalena, CDMX.....	36
Figura 19. Número de participantes constantes y ocasionales durante los monitoreos del río Magdalena, CDMX.	38

Cuadros

Cuadro 1. Servicios ecosistémicos que provee la cuenca del río Magdalena, CDMX.....	13
Cuadro 2. Valores de referencia para la interpretación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos del río Magdalena, CDMX.....	27
Cuadro 3. Valores de referencia para calidad de agua para uso y consumo humano para la interpretación de los resultados de bioindicadores del río Magdalena, CDMX.....	31
Cuadro 4. Valores de referencia para la interpretación de los resultados de calidad de zona de ribera del río Magdalena, CDMX.....	35
Cuadro 5. Matriz de indicadores de monitoreo	37

1. Resumen

Los estudios sobre la condición ecológica de los ríos constituyen un elemento relevante en el análisis integral de los cursos de agua. Este trabajo presenta la experiencia del monitoreo comunitario participativo desarrollado en 2017 para conocer la calidad ecológica del río Magdalena ubicado en la Ciudad de México (CDMX), el cual es uno de los cuerpos de agua más importantes de la zona, debido a que contribuye con el 50% del abastecimiento de agua superficial de la ciudad. La estrategia de este trabajo consistió en un proceso participativo de monitoreos mensuales realizados por los actores locales de la Comunidad Agraria Magdalena Contreras Atlitic en conjunto con el Laboratorio de Ecosistemas de Montaña de la Facultad de Ciencias-UNAM. Es el objetivo de este trabajo evaluar el desarrollo del monitoreo participativo mediante el seguimiento de parámetros fisicoquímicos y bioindicadores, la descripción de la calidad de zona de ribera del río Magdalena, y la participación social de los actores locales. El esquema empleado utiliza técnicas sencillas de evaluación y observación que estimulan la participación de los actores locales para generar conocimiento que permita fomentar la toma de decisiones al interior y exterior de la comunidad para mejorar el estado de salud del río. Entre los resultados más sobresalientes destacan: a) la caracterización de la calidad ecológica del río Magdalena, b) la consolidación de los monitoreos comunitarios y cuatro monitores, c) la reedición del manual y formatos de campo utilizados en los monitoreos, d) el fortalecimiento de los vínculos entre los actores locales y academia, y e) la difusión de los datos ante los líderes de la comunidad y autoridades involucradas. Los datos obtenidos indican que el agua del río Magdalena presenta una buena calidad fisicoquímica, lo que permite utilizar el recurso para labores domésticas. Sin embargo, a partir de los resultados de bioindicadores y calidad de zona de ribera se corroboró que existe una degradación gradual conforme desciende la altitud de la cuenca y entra en contacto con la zona urbana. Se espera que los datos generados en este proyecto sean utilizados para tomar medidas que ayuden a mejorar las condiciones ecológicas del río y mantener una buena calidad del agua para su uso y consumo.

Palabras clave: involucramiento, actores locales, socioecosistema, calidad del agua, vinculación academia-sociedad

2. Introducción

Las sociedades se benefician ampliamente de los servicios ecosistémicos hídricos (SEH) provenientes de acuíferos, ríos, lagos o costas, y por consiguiente el ser humano ejerce una influencia directa o indirecta sobre ellos y sobre la vida que los habita (Brown, 2010). Reconocer y valorar adecuadamente estos SEH puede evitar un aumento en la degradación ambiental, sobre todo en momentos de alto crecimiento poblacional y mayor presión territorial. Por tanto, la prosperidad de una sociedad depende en gran medida de su capacidad para utilizar, proteger y regenerar sus recursos hídricos (el agua en un sentido puramente físico) y acuáticos (la biodiversidad acuática) (Postel & Thompson, 2005).

Los ríos en particular son ecosistemas únicos por su diversidad y por el gran número de procesos que en ellos se desarrollan, proveen una amplia gama de SEH (M.A, 2003), por ejemplo, de ellos se obtiene una gran cantidad agua para satisfacer las necesidades básicas y productivas de los seres humanos y también cumplen funciones importantes a nivel global como la atenuación natural de contaminantes, el control de inundaciones y sequías, la regulación de nutrientes, el mantenimiento del hábitat para la vida silvestre, entre otras (Encalada *et al.*, 2011).

A pesar de su gran importancia, muchos ríos alrededor del mundo presentan un alto grado de degradación, debido a la extracción excesiva de agua de su cauce y a la acumulación de residuos y otros contaminantes vertidos sobre ellos. A partir de estos problemas muchos investigadores y gestores del agua trabajan en protocolos, guías y estrategias para el manejo y gestión de estos ecosistemas acuáticos. Sin embargo, la protección, manejo y restauración de los ecosistemas y ríos no depende solo de los gestores, sino también de poder involucrar a los habitantes de ciudades y pueblos que viven cerca de los cuerpos de agua, ya que sus prácticas repercuten en el estado de conservación de estos ecosistemas (Encalada *et al.*, 2011).

Una manera de estimular el interés en la conservación de los ecosistemas es involucrar a la población local en el monitoreo de sus recursos y biodiversidad dentro de las comunidades, así la población local se concientiza, adquiere nuevas habilidades para conocer el estado de

salud del ambiente que los rodea y además se genera información valiosa para el planteamiento de la conservación (Harvey *et al.*, 2003).

El monitoreo comunitario participativo (MCP) es un proceso en el que colaboran diferentes sectores de una comunidad, para monitorear y responder a asuntos de interés público. El MCP es un ejercicio central para para lograr un desarrollo sustentable dado que este tipo de monitoreos busca: 1) generar información adecuada para evaluar la calidad de los servicios ecosistémicos que la población recibe; 2) fortalecer la educación pública, las habilidades de los actores locales y su gobernanza; y 3) guiar la toma de decisiones relativas al manejo de los recursos naturales (Ramos, 2012).

Las experiencias de MCP han provisto grandes beneficios y oportunidades a todos los actores participantes (Whitelaw *et al.*, 2003; Sharpe & Conrad, 2006). Las agencias estatales se benefician del monitoreo comunitario con la extensión de sus redes de monitoreo y ahorros en los presupuestos y por las contribuciones a la planeación gubernamental con la participación pública (Cuthill, 2000). Mientras tanto para las comunidades y organizaciones no gubernamentales, el beneficio se obtiene a través de la capacitación de actores locales voluntarios y la creación de conexiones con instituciones académicas o de gobierno; teniendo como resultado la construcción de redes sociales y de relaciones que contribuyen al desarrollo de comunidades sanas (Páez *et al.*, 2011).

3. Marco teórico

➤ Sistemas socioecológicos

En contraposición a las ciencias clásicas que tienen una visión fragmentada de la realidad separando los objetos de orden social con aquellos de orden natural, la investigación en sostenibilidad no asume los objetos de estudio como elementos aislados. El concepto del sistema socioecológico (SSE) se propone como la unidad de gestión idónea para alcanzar el desarrollo sustentable, mediante políticas públicas que no están diseñadas únicamente para fomentar el crecimiento económico (Gallopín *et al.*, 1989; Gallopín, 1994). El SSE se considera como un sistema social acoplado a uno ecológico, formando un conjunto inseparable en el cual se dan acoplamientos o interacciones recíprocas entre los componentes y subsistemas (Challenger *et al.*, 2014). Los acoplamientos entre sistemas sociales y ecológicos en el SSE no son otra cosa que las interacciones que se dan entre estos dos dominios y que causan impactos y perturbaciones entre ellos. Dentro del dominio de sistemas sociales se encuentran subsistemas como la cultura, la política, la economía y la organización social (la sociedad misma); mientras que en el dominio de los sistemas ecológicos se encuentran subsistemas como la naturaleza (entorno no creado por el hombre) y el ambiente (entorno creado por el hombre) (Figura 1) (Salas *et al.*, 2011).

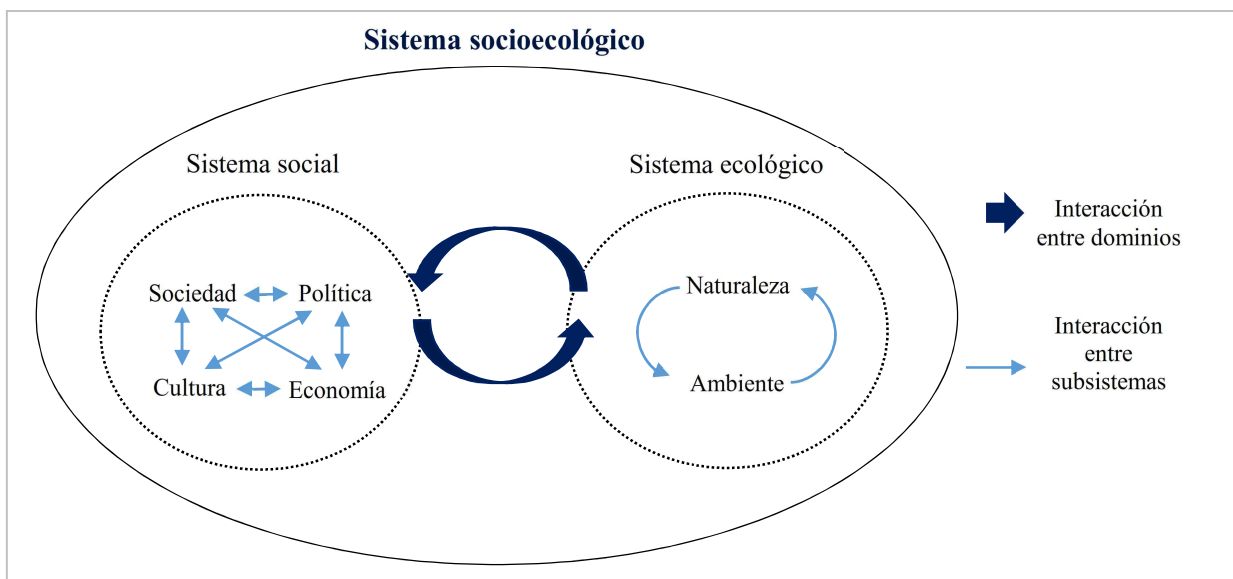


Figura 1: El sistema socioecológico. Modificado de Salas *et al.*, 2011.

Los acoplamientos o interacciones se establecen a través de diferentes vías, por un lado, interaccionan a través del conjunto de actividades y procesos humanos que generan impactos en los sistemas ecológicos, como el aprovechamiento de recursos naturales, la pesca, ganadería, la agricultura, entre otros, y por otra parte, se relacionan a través de la dinámica de los ecosistemas, como inundaciones, variaciones climáticas y los cambios estacionales, que producen modificaciones en los sistemas sociales. De esta manera los SSE se consideran sistemas complejos adaptativos que ante estas interacciones se auto-organizan sin necesidad de un control centralizado (Walker, 2006).

Las interacciones en los SSE son de diferente naturaleza, por un lado son interacciones materiales, como los flujos de recursos naturales y energéticos; o también pueden ser no materiales, como los flujos de información y conocimiento, las normas, los valores, las acciones públicas, entre otros (Gallopín, 2001; Fiksel, 2006). Por tanto, en el análisis de un SSE se consideran asuntos de orden ético, político, antropológico, sociológico, económico, tecnológico, biológico y ambiental (Salas *et al.*, 2011).

Las áreas periurbanas, son incorporaciones de pequeños poblados y periferias rurales dentro de un amplio y complejo sistema metropolitano (Torres & Rodríguez, 2006) y se consideran SSE abiertos y dinámicos que consumen, transforman y liberan materiales y energía; sus procesos de desarrollo y adaptación están determinados principalmente por las acciones humanas y por las interacciones con otros ecosistemas, un ejemplo de ello es la Cuenca del río Magdalena (CRM) donde se desarrolla este trabajo. El principal sustento de las áreas periurbanas se basa en la utilización de servicios que otros ecosistemas brindan (agua, alimentos, energía, etc.); sin embargo, estos sistemas deben ser analizados y gestionados como cualquier otro tipo de ecosistema (EEA, 2010).

➤ **Servicios ecosistémicos de cuencas hidrológicas**

Actualmente los recursos naturales se encuentran afectados por las actividades humanas, en particular por el cambio de uso de suelo, la degradación de cuencas, la pérdida de biodiversidad y la contaminación ambiental. Además, se proyecta que el cambio climático genere alteraciones en la composición y funcionamiento de los sistemas naturales, lo que afectaría la provisión de los servicios ecosistémicos (SE) (SEMARNAT, 2012). Los SE son

definidos como los beneficios que la humanidad obtiene de los ecosistemas, es decir, las condiciones y procesos en donde los ecosistemas y las especies que habitan en ellos satisfacen las necesidades del ser humano. Los SE son clasificados de acuerdo a la forma en que sean provistos y en cómo se relacionan con el ser humano en: provisión, de soporte, regulación y culturales (M.A, 2003).

Un enfoque hacia los SE o contribuciones de la naturaleza nos permite identificar las formas directas e indirectas en que dependemos del ambiente, basta con decir que nuestra subsistencia se sustenta en los múltiples beneficios que nos aporta la naturaleza, incluyendo: alimentos y agua, materiales como madera, lana, algodón y medicamentos. Otros benéficos menos evidentes, pero igualmente importantes, incluyen la regulación del clima, por ejemplo, los bosques producen buena parte de las nubes de lluvia alrededor del mundo y los humedales intactos (infraestructura ecológica), nos protegen de las inundaciones y otras amenazas naturales. Asimismo, los sistemas naturales sanos, con una amplia biodiversidad contribuyen a la mitigación y adaptación del ecosistema frente a cambios climáticos. Por último, la naturaleza ofrece oportunidades increíbles de recreación, inspiración cultural y realización espiritual (Pacha, 2014).

Las cuencas hidrológicas en particular ofrecen numerosos SE a la sociedad, el suministro mundial de agua dulce para uso y consumo humano, agrícola e industrial depende mucho de los caudales que se producen y regulan en las cuencas. Los suelos ricos en agua de las laderas de las cuencas propician el crecimiento de arbustos y árboles, los cuales frenan la erosión provocada por la escorrentía de agua. Las cuencas también contribuyen al bienestar de la sociedad mediante el suministro de cultivos y alimentos, productos maderables, minerales y una fuente de diversidad biológica y cultural. Finalmente, con gran frecuencia se asigna un valor recreativo y simbólico al paisaje natural y cultural de las cuencas, lo cual ha propiciado la proliferación del turismo en estas zonas (FAO, 2009).

➤ Calidad ecológica del agua

La calidad del agua es un concepto que debe ser definido en función de la fuente de donde es obtenida y del uso potencial que se le dé a este SE. Sin embargo, desde un punto de vista integral, la calidad del agua no solo se refiere a sus atributos fisicoquímicos y biológicos, también implica tomar en cuenta el contexto ecológico, así como los usos y valores que la sociedad le otorga, de hecho, una visión moderna maneja estos elementos como inseparables (Hart *et al.*, 1999).

Uno de los enfoques más recientes en la gestión de recursos hídricos es el concepto de *calidad ecológica del agua* (Figura 2), el cual hace referencia al grado de perturbación y potencial conservación o restauración de un ecosistema acuático sometido a presiones humanas (Karr, 1999). De esta forma la calidad ecológica se refiere al estado de salud de los cuerpos de agua y de su funcionamiento como ecosistemas, además es una medida integral del estado en que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del río como del ambiente acuático (Encalada *et al.*, 2011).

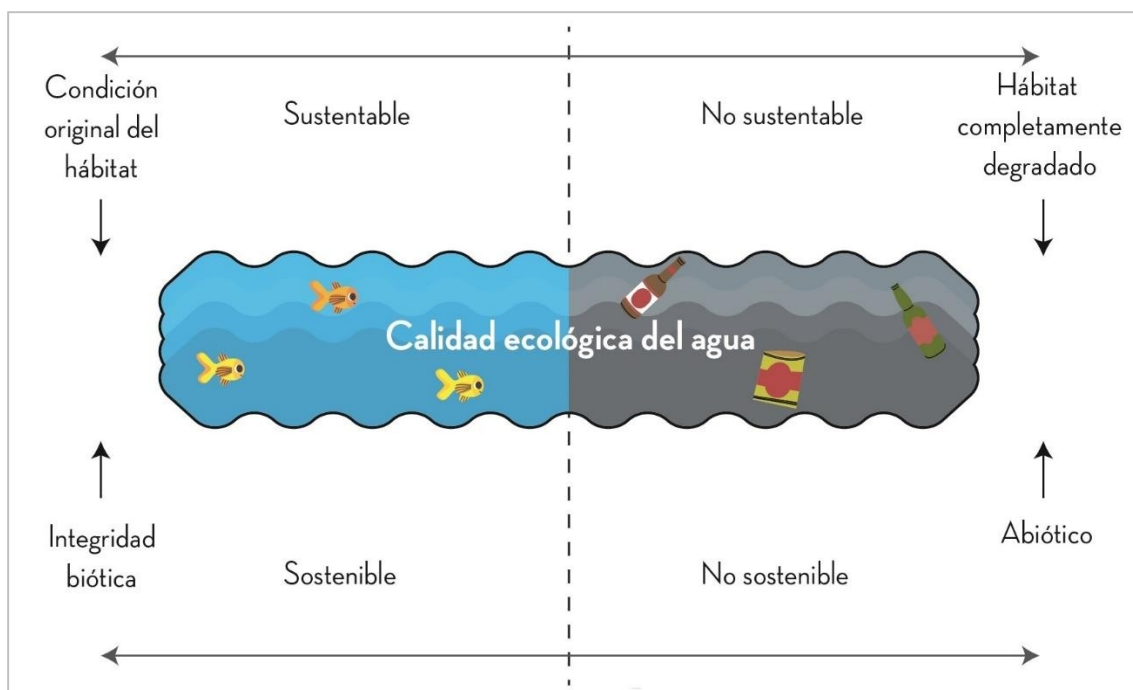


Figura 2. Calidad ecológica del agua. Modificado de Karr 1999.

Bajo este concepto la implementación de nuevas metodologías que involucren más de dos parámetros para la valoración de la calidad ecológica del agua toma cada vez más importancia (Samboni *et al.*, 2007). La calidad ecológica se mide evaluando componentes clave que son responsables del buen funcionamiento del ecosistema, entre ellos destacan: diversos parámetros fisicoquímicos, el estudio de las comunidades biológicas, las características del cauce del río y la calidad de zona de ribera (Encalada *et al.*, 2011).

Los parámetros fisicoquímicos dan información acerca de la naturaleza de los contaminantes presentes en el agua y sus propiedades físicas, sin aportar información sobre su influencia en la vida acuática. Por otro lado, los métodos biológicos brindan información sobre el impacto de los contaminantes, debido a que están basados en la observación y medición de ciertas comunidades de organismos en el agua, por lo cual se recomienda el análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos en conjunto para el análisis de calidad del recurso hídrico (Orozco *et al.*, 2005).

En el caso de la calidad de zona de ribera y las características del río, el objetivo es valorar el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente que son el soporte de las comunidades biológicas del cuerpo de agua. Algunas veces, aunque la calidad del agua (fisicoquímica del río) sea buena, la alteración del cauce y de las riberas afecta a las comunidades acuáticas y puede reducir su diversidad. Para evaluar estos componentes se analizan diferentes aspectos de la vegetación de ribera y de la naturalidad del cauce del río que son clave en el mantenimiento de las comunidades biológicas y de la calidad del agua (Encalada *et al.*, 2011).

➤ **Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua**

El MCP es una estrategia de trabajo vinculante entre el quehacer científico-académico y sociedad, que fortalece el conocimiento y el manejo ambiental realizado por las instituciones y comunidades (Ramos, 2012). El objetivo de esta metodología es responder a asuntos de interés público en materia ambiental, mediante el monitoreo efectuado por diferentes sectores de la comunidad, como lo son: ciudadanos independientes, instituciones de gobierno, industria y academia. (Deutsch, Ruiz-Cordova, & Duncan, 2010; Ramos, 2012).

En el MCP, los actores locales obtienen información sistemática sobre sus recursos con el fin de analizar resultados, identificar cambios en el tiempo, reflexionar, retroalimentar el proceso y llevar a cabo acciones de gestión mediante la integración del conocimiento local y científico e incentivando a las comunidades locales a que reflexionen acerca de sus recursos naturales. El MCP puede aportar beneficios claros a la sociedad como: la capacitación de monitores comunitarios que den seguimiento y avalúen el estado de sus recursos naturales, la transferencia de conocimiento entre comunidad y academia, y el empoderamiento y fortalecimiento de las comunidades e instituciones locales. En este tipo de monitoreo es fundamental que los actores locales se apropien del proceso y, con base en los resultados, sea posible tomar decisiones fundamentadas que retroalimenten continuamente al SSE (Evans & Guariguata, 2008). El monitoreo debe incluir un proceso de evaluación donde se defina el análisis de indicadores cuantitativos (insumos) y cualitativos (las tareas y procesos) que permitan observar el avance y el impacto de las actividades del monitoreo, y ayuden a identificar problemas, implementar medidas correctivas, revisar estrategias y diseñar nuevos indicadores para proyectos futuros (OESP, 1997; Geilfus, 2002).

En particular el monitoreo comunitario del agua es un proceso que busca vincular a un grupo comunitario con técnicas apropiadas que les permitan entender y proteger su cuenca. Este tipo de monitoreo es el más común, lo cual lo convierte en una herramienta valiosa para el manejo integrado de cuencas y el manejo adaptativo del ecosistema que asegure la calidad y cantidad del agua necesaria para satisfacer las necesidades requeridas por la población (Burgos & Páez, 2012; Flores-Díaz *et al.*, 2013). De esta forma el MCP del agua se reconoce como un ejercicio fundamental a desarrollarse en las comunidades, ya que permite que los actores locales tengan acceso a información sobre sus recursos hídricos (Dalahemeh *et al.*, 2009; Roa-García & Brown, 2009).

El marco del MCP del agua ha sido promovido en los últimos años a través de la creación de programas internacionales como lo son entre otros: el programa de monitoreo comunitario “Adopta tu cuenca” del departamento de protección ambiental de Estados Unidos de América (<https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/index-18.html>), el Programa voluntario Alabama Water Watch en EUA – GWW de la Universidad de Auburn,

Alabama (<http://www.globalwaterwatch.org/>), el monitoreo comunitario participativo en Canadá (<https://www.enr.gov.nt.ca/en/service-categories>) y Healthy Land and Water (HLW) en Australia (<http://hlw.org.au/>). Sin embargo, aún faltan trabajos académicos sobre sus resultados, alcances y limitantes, principalmente en relación con los análisis de la información obtenida y su uso en los ámbitos social, político y económico (Fernández *et al.*, 2008).

En México, han surgido experiencias importantes de MCP del agua en los estados de Veracruz, Michoacán y Ciudad de México, entre otros, donde se han formado las redes de monitoreo participativo en el formato de colaboración científico-social. En primera instancia durante 2005 en Xalapa y Coatepec, Veracruz, como una iniciativa ciudadana dio inicio el programa de monitoreo comunitario de agua, con el propósito de obtener información sobre los recursos hídricos que abastecen la región (<http://mexico.globalwaterwatch.org/>). Además en la misma región, en enero de 2018, se promovió un muestreo de contaminación fecal que cubrió los cuerpos de agua de la cuenca del río La Antigua y la zona Metropolitana de Xalapa, donde participaron 59 voluntarios provenientes de organizaciones civiles, monitores de GWW México, preparatorias y ciudadanos independientes (<http://wp.auburn.edu/gww/>). También, en Michoacán, en 2010 empieza el programa de monitoreo de la calidad del agua y en la actualidad sigue su desarrollo en la parte baja de la cuenca del río Balsas, donde el agua es escasa, por lo que su monitoreo es crucial para garantizar el desarrollo local (Burgos *et al.*, 2013) (<http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/>). De igual manera, en el periodo 2014-2015 se realizó el monitoreo comunitario participativo de la calidad ecológica del río Magdalena, Ciudad de México, donde se obtuvieron buenos resultados en relación a la participación de la comunidad y en la descripción del estado de salud del río (Arroyo, 2017). Finalmente, durante 2015 en los bienes comunales de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, Ciudad de México, se implementó un monitoreo participativo de calidad de agua donde se obtuvieron resultados favorables tanto en la calidad de agua como en el proceso de participación social, hecho que ha promovido que se realicen nuevas colaboraciones entre los actores locales y la academia en esa zona (Perevochtchikova *et al.*, 2016).

4. Justificación y objetivo

En este estudio se retoma el trabajo de monitoreo comunitario participativo de calidad ecológica del río Magdalena diseñado por Ramos en 2011 y desarrollado entre 2014 y 2015 por Arroyo. Toma la base metodológica y las herramientas físicas establecidas por las autoras antes mencionadas, pero tiene el compromiso de afinar detalles y mejorar dichas herramientas mediante la colaboración y el diálogo con los actores locales.

Dar seguimiento a este proyecto refleja el interés e importancia del monitoreo comunitario para una mejor comprensión de la dinámica de los recursos hídricos del río Magdalena, en la Ciudad de México y para que la comunidad se apropie de las técnicas de evaluación de calidad de agua y utilicen la información generada para atender sus necesidades y sobre todo para tomar medidas que resuelvan los problemas de contaminación del río causados por las diversas actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca.

Por tanto es el objetivo de este trabajo evaluar el desarrollo del monitoreo comunitario participativo de la calidad ecológica del río Magdalena, mediante el seguimiento de parámetros fisicoquímicos, bioindicadores, la evaluación de la calidad de zona de ribera y la participación social de la comunidad. Se tiene como hipótesis que con técnicas sencillas en la observación del recurso hídrico se puede fomentar la participación de la comunidad en el proceso de generación y apropiación de la toma de decisiones al interior y exterior de la misma, enfocado a la preservación de los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca del río Magdalena.

5. Método

➤ Área de estudio, la Cuenca del río Magdalena (CRM) como sistema socioecológico

Este trabajo se realizó en la CRM al suroeste de la Ciudad de México ($19^{\circ}15' N$ y $99^{\circ}17'30'' O$), dentro de los bosques pertenecientes a la comunidad agraria Magdalena Contreras Atlitlic. El río Magdalena da el nombre a la cuenca (Figura 3), que a su vez se localiza en la Sierra de las Cruces dentro de la Cuenca de México.

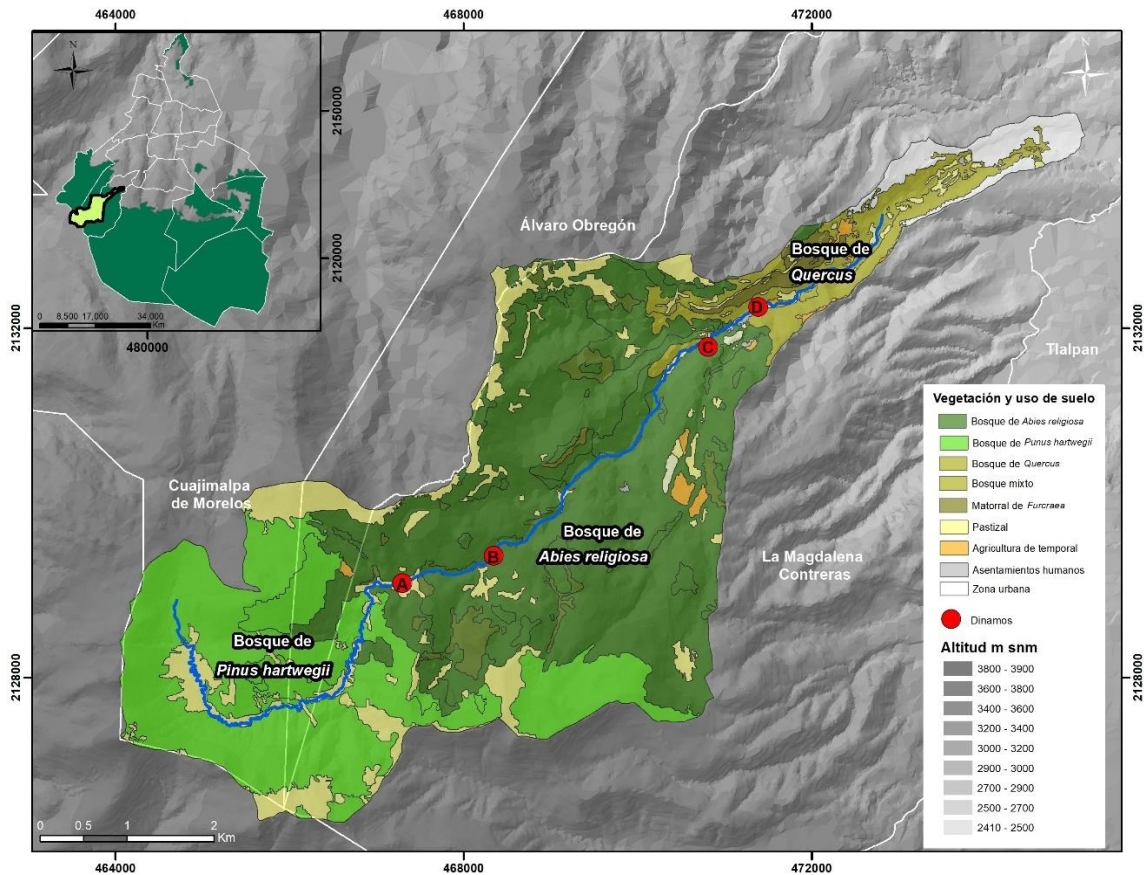


Figura 3. Localización de la cuenca del río Magdalena dentro el suelo de conservación CDMX, tipo de vegetación, gradiente altitudinal, localización de 4° Dinamo (A), 2° Dinamo (B), 3° Dinamo (C) y 1° Dinamo (D). Elaboraron: Verónica Aguilar y J. Manuel Hernández.

Esta cuenca presenta un relieve montañoso que va desde los 2,470 en el noreste a los 3,850 msnm al sureste, colinda con la cuenca del río Eslava al sureste y con las cabeceras de las cuencas de los ríos Hondo, Mixcoac, Barranca de Guadalupe y San Miguel al noreste (Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Tiene una superficie aproximada de 3,000 ha, las cuales se

localizan en tres delegaciones de la Ciudad de México: Álvaro Obregón, Cuajimalpa y Magdalena Contreras, siendo esta última la que contiene más territorio de la cuenca (78%) y por lo cual tiene mayor influencia sociopolítica.

La CRM abarca el 4% del Suelo de Conservación de la Ciudad de México (SC-CDMX) el cual otorga SE vitales para el resto de la ciudad como: recarga y abastecimiento de agua, almacenamiento de carbono, estabilización del suelo, retención de partículas y regulación del clima. En diagnósticos socioecológicos realizados por Almeida-Leñero *et al.*, 2007, Facultad de Ciencias-UNAM, 2008, Jujnovsky *et al.*, 2010 y Jujnovsky & Almeida-Leñero, 2018; en la CRM se identificaron 19 servicios ecosistémicos: tres de soporte, cinco de provisión, ocho de regulación y tres culturales (Tabla 1), los cuales acentúan la importancia ecológica, económica y social de la zona.

Cuadro 1. Servicios ecosistémicos que provee la cuenca del río Magdalena, CDMX. Elaborado a partir de Jujnovsky y Almeida-Leñero, 2018.

Soporte	Provisión	Regulación	Culturales
• Ciclaje de nutrientes	• Agua dulce	• Control de erosión y mantenimiento de suelo	• Belleza escénica
• Formación de suelos	• Madera, combustible y productos	• Control de poblaciones	• Recreación y
• Mantenimiento de la biodiversidad	no maderables	• Control de plagas y enfermedades	ecoturismo
	• Alimento	• Control de inundaciones y deslaves	• Herencia cultural
	• Productos medicinales	• Mantenimiento de la calidad del aire a través de la captura y almacenamiento de carbono	
	• Recursos genéticos	• Calidad del agua	
		• Dispersión de semillas	
		• Polinización	

A partir de la identificación de los SE para la CRM, se puede decir que buena parte de ellos se generan principalmente en la parte alta de la cuenca, donde existe una amplia cobertura de vegetación arbórea. A medida que se desciende en altitud, la cuenca comienza a tener asentamientos urbanos y la provisión de los SE va decreciendo, hasta que finalmente en la zona urbana (desde el pueblo de la Magdalena hasta la avenida Río Churubusco) prácticamente desaparecen. En este caso la zona urbana es la principal beneficiaria de dichos servicios (Jujnovsky & Almeida-Leñero, 2018).

Los suelos de la CRM son de origen volcánico (andosol-húmico) muy permeables y susceptibles a erosionarse, la precipitación anual de la cuenca en la parte baja es cercana a los 1,000 mm y llega hasta 1,500 en la zona más alta (Jujnovsky, 2006). La época de lluvias comienza en mayo y termina en octubre, por lo cual en este periodo la precipitación siempre será mayor que la tasa de evapotranspiración. La temperatura media anual oscila entre 10 y 14°C, siendo abril, mayo y junio los meses más calurosos. En la cuenca se presentan dos tipos de clima originados por el gradiente altitudinal, en la zona urbana y hasta los 3,100 msnm el clima es templado subhúmedo, mientras que en la región más alta que va de los 3,100 a los 3,800 msnm se presenta un clima semifrío (García, 1998).

El río Magdalena, nace en la Sierra de las Cruces en la delegación Cuajimalpa, al sureste de la Ciudad de México, a una elevación aproximada de 3,800 msnm. Es el escurrimiento superficial más importante de la CRM, tiene un curso en dirección noreste y un cauce con una longitud aproximada de 21,600 m (Álvarez, 2000) atravesando terrenos de las delegaciones Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Cuajimalpa y Coyoacán. El río es perene gracias a que se abastece en la parte alta de la cuenca de los manantiales: Cieneguillas, Agua Azul, los Cuervos, San Miguel Ceresia, Temascalco, San José, Potrero, Apaxtla, Las Ventanas y Pericos, mientras que a menor altitud recibe el aporte del río Eslava, que es el mayor tributario (Facultad de Ciencias-UNAM, 2008).

El río desciende a través de la cuenca cruzando 14.8 km del Suelo de Conservación de la Ciudad de México y continua su recorrido dentro de territorio urbano por unos 13.4 km, hasta desembocar en el colector de la avenida río Churubusco. Su curso transcurre el 52.5% por área natural y un 47.5% por área urbana (Jujnovsky, 2006; 2012; Facultad de Ciencias-UNAM, 2008). El río Magdalena representa uno de los cuerpos de agua más importantes de la Ciudad de México y en su estado óptimo de conservación, contribuye con el 50% del abastecimiento del agua superficial de la ciudad generando un promedio de 0.67 m³/s (Jujnovsky *et al.*, 2010).

En términos hidrológicos (Figura 4) el río Magdalena, en la parte alta de la cuenca (3,800 msnm), presenta un cauce sumamente angosto, el terreno es plano e induce la formación de meandros y en el intervalo de los 2,800-2,300 msnm la pendiente es sumamente irregular lo

cual modifica la dinámica del río y le da aspecto de rápidos, razón que condujo a la construcción de pequeñas presas de gavión con el objetivo de detener la fuerza de la corriente, sin embargo, este hecho genera una fragmentación del ecosistema, ya que produce cambios importantes en el río tanto en el ambiente físico como en el ecológico afectando su funcionamiento (Facultad de Ciencias-UNAM, 2008).



Figura 4. Apariencia del río Magdalena en diferentes altitudes. A) Nacimiento del río a 3,800 msnm, B) Cuarto Dinamo a 2,800 msnm aprox., C) Segundo Dinamo a 2,500 msnm aprox. y D) Primer Dinamo a 2,200 msnm. Fotos: Galván, 2014.

En relación a la vegetación se distinguen principalmente tres comunidades vegetales, la de *Pinus hartwegii* que se distribuye en la zona más alta (3,500-3,800 msnm), la de *Abies religiosa* ubicada en la parte media (3,000-3,500 msnm) y la de bosque mixto y de encino (*Quercus* sp.) presente en la región más baja de la cuenca (2,500-3,000) (Nava 2003; Jujnovsky & Almeida-Leñero, 2018). La biodiversidad de la CRM comprende 1,060 especies entre las que se incluyen algas, plantas, hongos y vertebrados; además, se calcula que en la demarcación política existen entre 1,000 a 1,500 especies que aún no se han registrado (Facultad de Ciencias-UNAM, 2008; Jujnovsky & Almeida-Leñero, 2018).

Por otro lado, la organización social la CRM presenta *títulos de propiedad* principalmente de tipo comunal y ejidal, en prácticamente el 100% de su extensión. La comunidad agraria Magdalena Contreras Atlitic posee la mayor extensión dentro de la CRM con 2,393 ha. Esta comunidad cuenta con *títulos de propiedad* otorgados desde 1535; los cuales fueron reconocidos en el reparto agrario como “bienes comunales” en el siglo XX; la resolución presidencial es de 1975 (Ramos, 2008). La población de la CRM reportada en estudios realizados por Jujnovsky *et al.*, 2010 y Galván, 2014, es de 25,582 habitantes, de los cuales el 36% cuentan con educación pos-primaria y el 4% son analfabetas. Su población económicamente activa corresponde al 39%, de estos el 11% realiza actividades del sector secundario y 26% del terciario (Galván, 2014).

Las principales actividades económicas que se realiza en la CRM se relacionan con la recreación, destacando el ciclismo de montaña, montañismo y ecoturismo. Otras actividades económicas en esta zona es el comercio de alimentos, agricultura, ganadería, piscicultura, recolecta de hongos y leña. La agricultura se desarrolla de forma artesanal y para autoconsumo, así mismo en relación a la ganadería se registra aproximadamente 100 cabezas de ganado las cuales pertenecen en su mayoría a comunidades y ejidos aledaños a la cuenca. El cultivo de trucha constituye la principal actividad piscícola de la zona, la cual se desarrolla principalmente en el paraje conocido como Aila, mientras que la venta y el consumo de este producto se lleva a cabo en algunos de los restaurantes locales (Ramos, 2008).

La influencia humana sobre la zona y la continua expansión urbana de la ciudad ha repercutido en la estructura de la CRM y por tanto en su funcionamiento como ecosistema. En la parte alta de la cuenca la degradación se deriva principalmente de la erosión del suelo, el represamiento del cauce, la pérdida de cobertura vegetal, tala clandestina y actividades agropecuarias. En altitudes medias, el ecosistema se ha visto afectado por actividades recreativas no reguladas, la descarga de aguas residuales provenientes de comercios y la presencia de asentamientos urbanos irregulares los cuales generalmente se ubican en zonas de alto riesgo. Finalmente, en la parte baja de la cuenca, la contaminación es provocada por la descarga de agua residual al río y residuos sólidos de origen urbano (Monges, 2009; PAOT, 2010).

➤ Monitoreo

Durante 2017 se realizó el tercer monitoreo de calidad ecológica del río Magdalena, se utilizaron los materiales de campo y los fundamentos teóricos y metodológicos propuestos por Ramos y Arroyo en monitoreos anteriores. La Figura 5 describe el desarrollo del MCP en el río Magdalena a manera de una línea del tiempo.

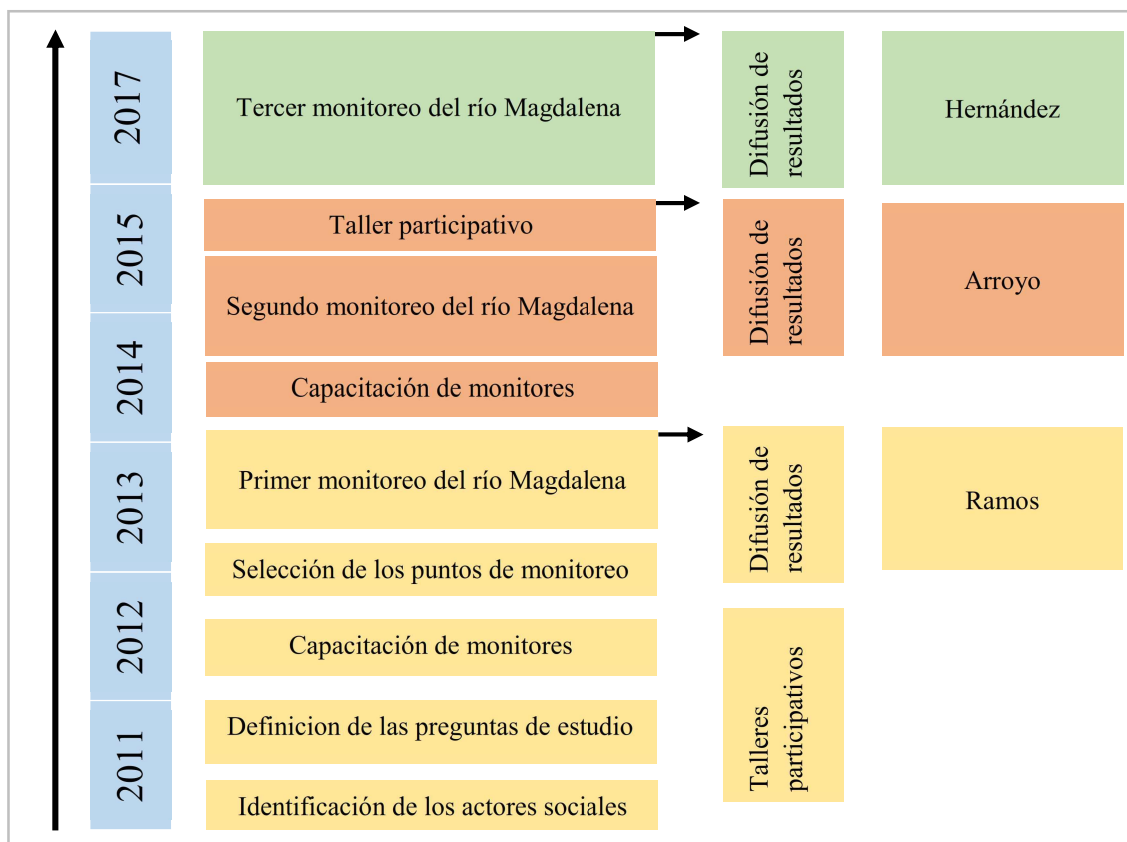


Figura 5. Desarrollo del monitoreo comunitario participativo en el río Magdalena, CDMX.

La Figura 6 muestra el resumen general del método empleado en este trabajo para monitorear la calidad ecológica del río Magdalena a través de un proceso participativo.

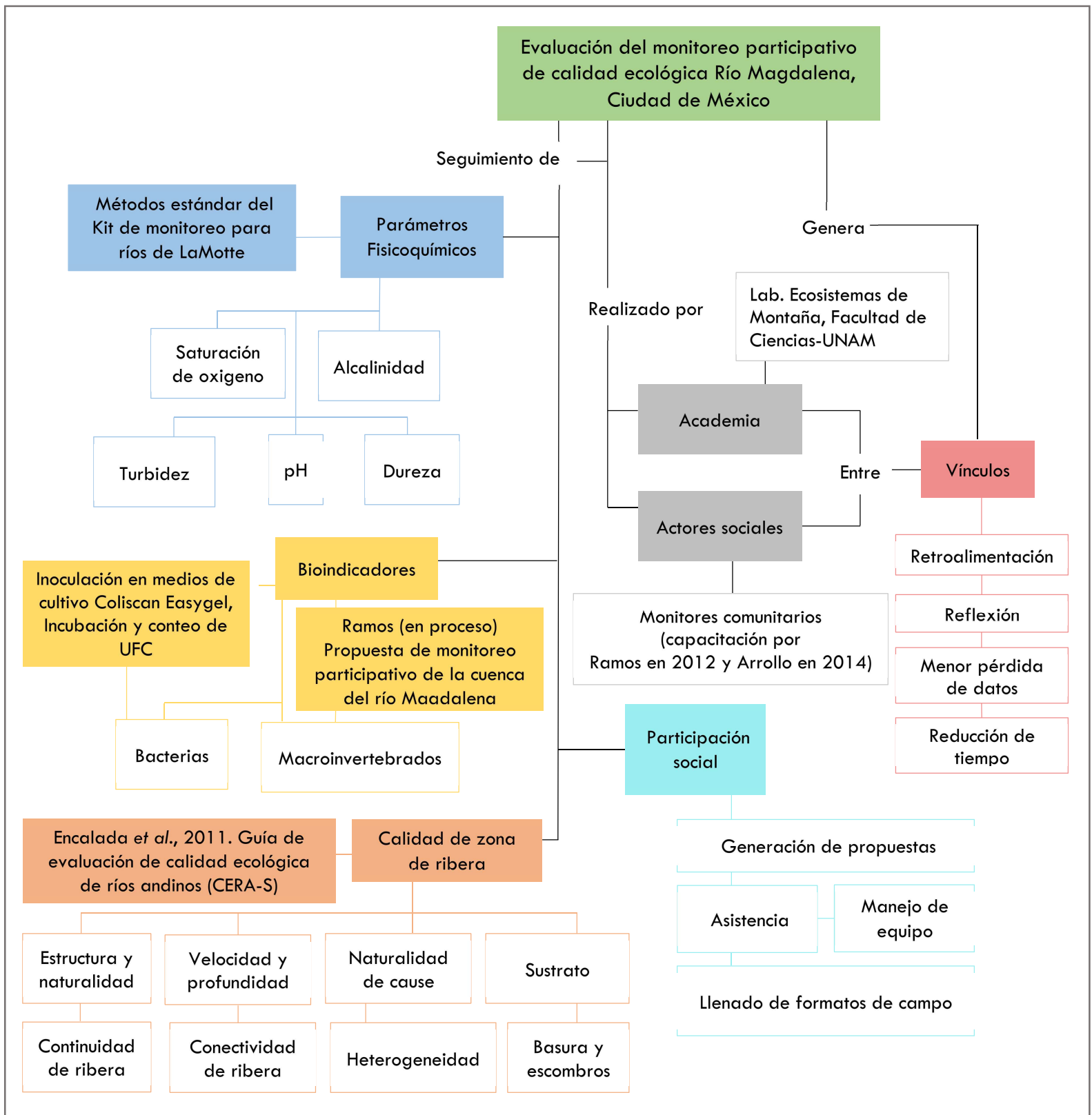


Figura 6. Diagrama metodológico del monitoreo comunitario participativo de la calidad ecológica del río Magdalena, CDMX.

Los monitoreos fueron realizados por el grupo de trabajo del laboratorio “Ecosistemas de Montaña” de la Facultad de Ciencias-UNAM (pasante de licenciatura y maestría) en colaboración con los monitores comunitarios de la comunidad Agraria Magdalena Contreras Atlitic, quienes recibieron la capacitación previa para desarrollar los protocolos de campo por Ramos en 2012 y Arroyo en 2014.

El monitoreo se llevó a cabo una vez al mes durante 2017, en puntos seleccionados de manera conjunta por Ramos y los actores locales al inicio del proyecto (Figura 7). Estos puntos fueron seleccionados para representar las características ecológicas del río en la parte alta, media y baja de la cuenca, además para su selección se utilizaron los criterios de movilidad, operatividad y tiempo, concluyendo en que son sitios de fácil acceso donde se puede captar agua para abastecimiento público.

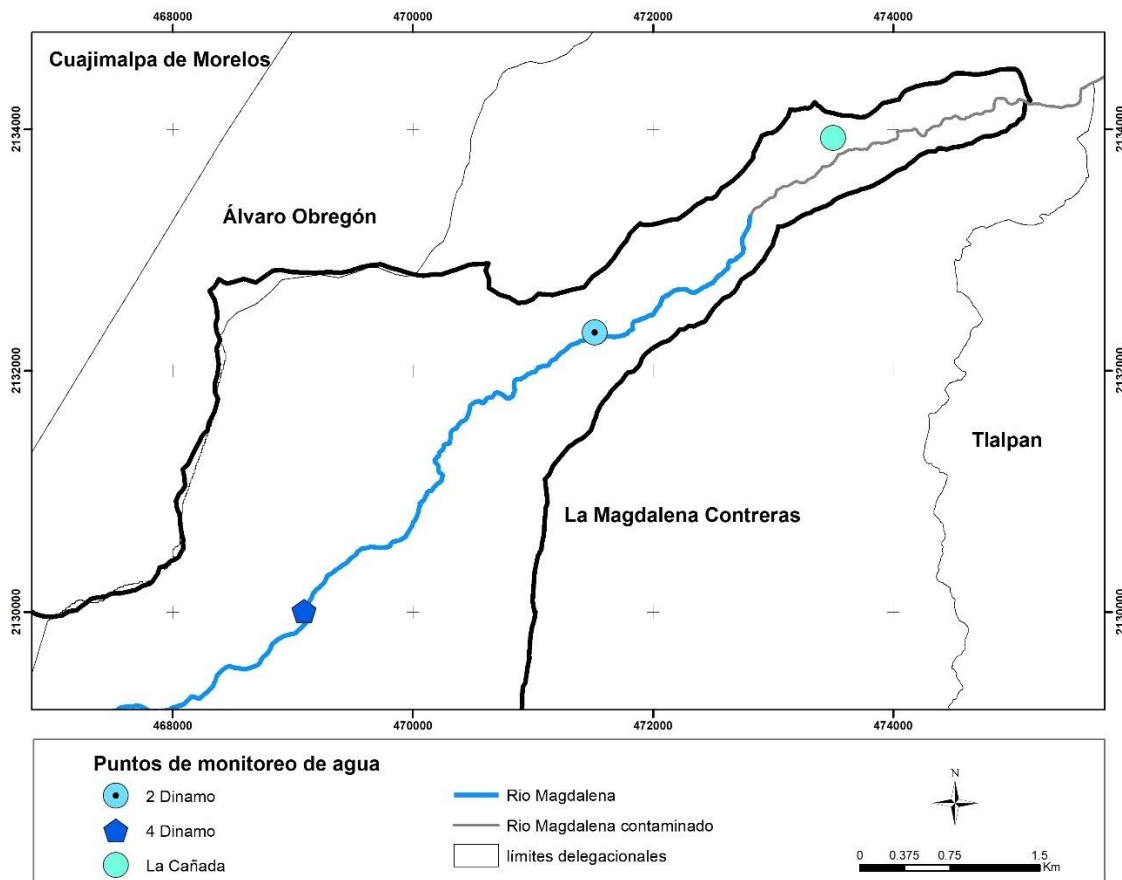


Figura 7. Localización de los puntos de monitoreo en el río Magdalena, CDMX. Elaboraron: Verónica Aguilar y J. Manuel Hernández con base en trabajo de campo e información del Plan maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca del río Magdalena de la Ciudad de México.

El primer punto de monitoreo se ubica a los 3,118 msnm dentro del bosque de *Abies religiosa* y tiene como referencia el 4° Dinamo. Este punto es el que se encuentra a mayor altitud y es el más alejado de la zona urbana, por lo cual la presencia de visitantes es menor en relación a los otros puntos de monitoreo, en este lugar se realizan principalmente actividades recreativas relacionadas con el ecoturismo, sin embargo, también se ha observado la presencia de ganado bovino

El segundo punto de monitoreo se localiza a los 2,970 msnm también en el bosque de *Abies religiosa* y se tiene como referencia el 2° Dinamo. Aquí se desarrollan actividades recreativas, ya que se presentan varios puestos de comida y algunos propietarios ofrecen actividades como la pesca de trucha, además es común encontrar personas realizando caminatas en los alrededores. A las orillas del cauce se puede observar la presencia de casas abandonadas y en ocasiones se encuentran restos sólidos que posiblemente sirvieron para rituales religiosos.

El tercer punto de monitoreo se encuentra a los 2,633 msnm en el sitio conocido como La Cañada en la zona más baja de la cuenca y entra en contacto directo con la zona urbana por lo que presenta el mayor grado de deterioro en relación a los dos puntos anteriores. La degradación es provocada por el gran número de actividades recreativas y de comercio que ahí se realizan, además recibe un mayor número de visitantes dada su cercanía con la zona urbana y su fácil acceso.

Durante el año de monitoreo se realizaron diez salidas de campo, debido a que el mes de junio el monitoreo se empalmo con trabajo de los monitores comunitarios y no se pudo conseguir una nueva fecha de salida, mientras que el monitoreo correspondiente a septiembre se canceló a causa del sismo en la CDMX el día 19 del mismo mes.

En cada punto de monitoreo se evaluaron tres grupos de parámetros: el primero corresponde a los parámetros físicoquímicos (temperatura atmosférica y de agua, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y turbidez) (Figura 8). Para medir estos parámetros se utilizó el maletín de campo Alabama Water Quality Monitoring Kit para monitoreo de ríos de la marca LaMotte® (Anexo 2), este equipo no requiere de alguna calibración previa y se basa en el uso de reactivos preparados en concentraciones adecuadas para ser usadas dentro

del cumplimiento de un protocolo establecido para la medición de cada parámetro. Los protocolos para evaluar cada parámetro fueron tomados del instructivo de uso del kit LaMotte, los cuales están integrados en el manual de campo propuestos por Arroyo en 2017 (Anexo 1, sección de fisicoquímicos). Este manual y procedimientos están basados en el programa Global Water Watch, aunque no se siguen los protocolos de Aseguramiento de Calidad de Datos del Programa. De esta manera la temperatura atmosférica y de agua se midió con un termómetro de alcohol, el pH se evaluó mediante una comparación estándar de color, la dureza, alcalinidad y el oxígeno disuelto se calcularon por titulaciones estándar y la turbidez se midió por la comparación de claridad entre agua del río y potable determinando las unidades Jackson de Turbidez (JTU) con la ayuda de la solución estándar para dicha prueba.



Figura 8. Análisis fisicoquímicos en el río Magdalena, CDMX. A) pH, B) Oxígeno disuelto, C) Turbidez, D) Alcalinidad y E) Dureza. Fuente: Trabajo en campo 2017.

El segundo grupo de parámetros está conformado por la cuantificación de bioindicadores (bacterias y macroinvertebrados). Para el análisis bacteriológico se utilizó el medio de cultivo Coliscan EasyGel® (Anexo 2) el cual es un medio desarrollado para identificar y

diferenciar bacterias coliformes y *E. coli* de otras bacterias presentes en el agua. El procedimiento para la identificación de estas bacterias (Figura 9) se realizó por triplicado para cada punto de monitoreo (nueve muestras en cada monitoreo) y se basa en añadir una muestra de 1 ml de agua del río al medio de cultivo para posteriormente verterlo en una caja de Petri e incubar a una temperatura controlada de entre 29 y 35°C por un periodo de 30 a 48 horas para finalmente hacer el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC).

En el caso de los macroinvertebrados son un grupo de animales muy diverso y abundante que suele estar en todos los cuerpos de agua (Encalada *et al.*, 2011). La presencia de diferentes especies (o familias) con distintos niveles de tolerancia a contaminantes, permite conocer los cambios que se han producido en río por lo menos un mes antes de que se realice el monitoreo.

Para evaluar la calidad ecológica del río mediante macroinvertebrados (Figura 9) se utilizó el método propuesto por Ramos (en proceso). Se realizó una búsqueda en zigzag dentro de un transecto de 100 metros de largo sobre el río en cada punto de monitoreo. La búsqueda comenzó río abajo levantando rocas, raíces y sedimentos del lecho del río. Posteriormente, los macroinvertebrados se colocaron en una charola para contarlos y clasificarlos en las categorías señaladas en Arroyo, 2017 (Anexo 1, sección macroinvertebrados), donde se señala que cada grupo tiene un puntaje asignado y una categoría de acuerdo a su nivel de tolerancia a contaminantes. Finalmente se calculó la puntuación de calidad ecológica del sitio mediante macroinvertebrados con la fórmula siguiente:

$$Puntaje\ del\ sitio = \frac{A}{B}$$

Dónde:

A: es la suma de los puntajes de las familias encontradas

B: es el número de categorías encontradas

De acuerdo con el puntaje obtenido los sitios de monitoreo se definen en una de las cuatro categorías siguientes: severamente contaminado, contaminado, medianamente contaminado o saludable. Por último, los macroinvertebrados colectados se regresaron al río para no afectar las comunidades presentes en el ecosistema.



Figura 9. Análisis de bioindicadores en el río Magdalena, CDMX. A) Medio de cultivo Coliscan Easygel® con muestra de agua, B) Incubación de colonias a 36.4°C, C) Conteo de unidades formadoras de colonias (UFC), D) Búsqueda de macroinvertebrados en el lecho del río E) y F) Organismos en recipientes para su identificación. Fuente: Trabajo de campo 2017.

La tercera evaluación corresponde a la calidad de zona de ribera (Figura 10). Para este análisis se utilizó el protocolo propuesto por Encalada *et al.*, 2011, que tiene como objetivo valorar el estado del canal fluvial y de la zona de ribera adyacente que son el soporte de las comunidades biológicas del río. Este protocolo analiza ocho criterios diferentes: 1) estructura y naturalidad de la vegetación de ribera, 2) continuidad de la ribera, 3) conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacente, 4) presencia de basura y escombros, 5) naturalidad del canal fluvial, 6) composición del sustrato, 7) regímenes de velocidad y profundidad del río y 8) elementos de heterogeneidad. Para la evaluación de estos criterios se hizo una evaluación cualitativa mediante la comparación de imágenes y fotos con el estado de los puntos de monitoreo (100 metros a la redonda de cada punto). Cada criterio se conforma de elementos que se evalúan para obtener un puntaje, para conocer la calidad de zona de ribera se suman los puntajes de todos los criterios y finalmente se define el estado de conservación del sitio de muestreo

como: pésimo, malo, moderado, bueno o excelente. El protocolo completo se encuentra en el Anexo 1, sección calidad de zona de ribera.



Figura 10. Calidad de zona de ribera en el río Magdalena, CDMX. A) Presencia de grafitis que afectan la belleza paisajística de la zona, B) Presencia de infraestructura abandonada que afecta la conectividad de la ribera y C) Sitio con buena puntuación de calidad de ribera, se observa entre otras cosas una buena estructura y naturalidad de la vegetación y una buena composición del sustrato.

Además de evaluar estos tres grupos de parámetros, en cada punto de monitoreo se realizó una evaluación general donde se describieron las características organolépticas del agua (olor y color), los usos del agua en cada punto, la presencia de agentes contaminantes y observaciones puntuales que acontecieran el día de monitoreo.

Adicionalmente a este manual propuesto por Arroyo (2017), se utilizaron los formatos de campo (Anexo 3), en los cuales se escribió la información recabada de todas las evaluaciones realizadas en el río. Tanto el manual de Arroyo (2017) y los formatos de campo fueron modificados en conjunto con los monitores comunitarios, debido a que se presentaron dudas relacionadas a los procedimientos descritos y al manejo de las fórmulas

para calcular el puntaje o valor de algunos parámetros. Además, en el Kit para monitoreo de LaMotte® se marcaron los reactivos y envases con un color distintivo para cada prueba, lo cual ayudo identificar rápidamente cada elemento necesario para realizar la evaluación de los parámetros.

La participación de los actores locales se midió por los indicadores siguientes: 1) asistencia, la cual se tomó en cuenta desde la planeación de cada monitoreo en relación al transporte y al encuentro puntual para comenzar las actividades en campo y 2) involucramiento activo durante el monitoreo, que incluye el manejo del equipo de trabajo, el llenado de los formatos de campo y la generación de propuestas relacionadas a mejorar el proceso del monitoreo.

Los datos recolectados en campo se vaciaron en una base de datos elaborada en Excel 2017® (Anexo 4). En este mismo programa se elaboraron graficas con los datos obtenidos, las cuales se utilizaron para el análisis de cada una de las variables.

Al finalizar los monitoreos de la calidad ecológica del río Magdalena en 2017, se procedió a la difusión de resultados frente a las autoridades de la comunidad (Figura 11).



Figura 11. Diferentes etapas del proceso de difusión de los resultados del monitoreo comunitario participativo durante el 2017. A) Autoridades y responsables del proyecto, B) Intervención sobre los resultados de la calidad ecológica del río Magdalena, C) Intervención del monitor comunitario Leonel Contreras González, D) Entrega de constancia al monitor comunitario Benito Mendoza Cabañas, E) Asistentes y ponentes del evento y F) Constancia de participación en el monitoreo comunitario participativo del 2017.

6. Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados, los cuales se engloban en los tres grupos de parámetros evaluados en cada punto de monitoreo.

➤ Parámetros fisicoquímicos

Cuadro 2. Valores de referencia para la interpretación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos del río Magdalena, CDMX, obtenidos del maletín de campo Alabama Water Quality Monitoring Kit de LaMotte®.

Variable	Unidad	Valor de referencia	Interpretación
pH	Sin unidad	7	Valor neutro igual a 7. Valores < 5 indica la presencia alta de materia orgánica disuelta, mientras que valores >8 sugiere que el agua presenta sales disueltas
Dureza	mg/L	0-20 21-60 61-120 121-180 >180	Suave Moderadamente suave Moderadamente dura Dura Muy dura
Alcalinidad	mg/L	20 20-25 25-75 >75	Mínimo aceptable Amortiguamiento pobre Amortiguamiento moderado Amortiguamiento alto
Saturación de oxígeno	%	<60 60-79 80-125 >125	Porcentaje pobre, el agua es muy caliente o hay una alta tasa de respiración Aceptable para la mayoría de vida acuática Excelente para la mayoría de vida acuática Porcentaje demasiado alto
Turbidez	JTU	10	La presencia de partículas suspendidas puede acarrear metales y otros compuestos tóxicos, además puede afectar procesos biológicos

Los valores de temperatura en el agua del río Magdalena en el año 2017 oscilaron entre los 3.0 y 12.0° C, presentándose los valores más altos en la época de lluvia. Estas variaciones tienen que tomarse en cuenta al analizar los resultados de otros parámetros, debido a que la temperatura es un factor que regula los procesos fisicoquímicos y biológicos dentro del río.

El pH fue el parámetro fisicoquímico más estable, debido a que no presentó variación temporal y espacial alguna teniendo como valor 7 (óptimo) en cada mes y punto de monitoreo. Este resultado concuerda con lo reportado en los trabajos de Morán (2009) y Arroyo (2017). Además, es importante señalar que este valor está dentro de los límites permisibles que señala la NOM-127-SSA1-1994 para calidad de agua de uso y consumo humano.

En relación a la dureza (Figura 12), los valores a lo largo del año se mantuvieron en el intervalo de entre 20 y 60 mg de CaCO_3/L en 29 de 30 muestras analizadas, lo cual permite caracterizar al agua como moderadamente suave. Este tipo de agua no representa ningún riesgo cuando se consume, no produce daños en la infraestructura hidráulica y no disminuye la acción limpiadora de los detergentes. Por tanto, el agua del río Magdalena bajo el parámetro de dureza es aceptable para vida acuática, puede ser usada en labores domésticas y también puede ser potabilizada para consumo humano. Además hay que señalar que los valores correspondientes a la dureza total se mantienen por debajo de los 500 mg/L de Ca^{++} y Mg^{++} que es el valor máximo permisible en la NOM-127-SSA1-1994 para calidad de agua de uso y consumo humano.

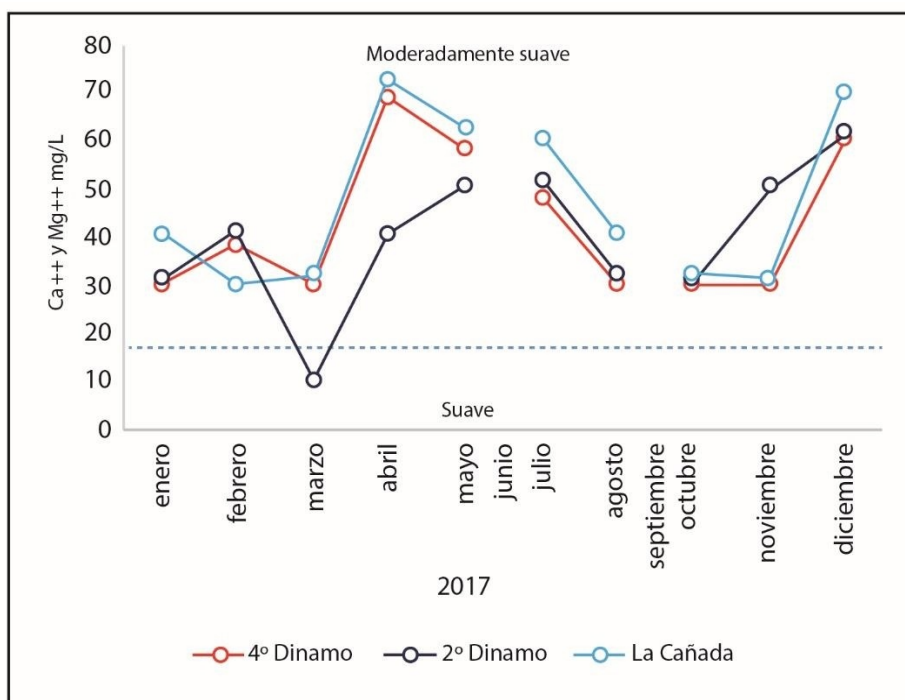


Figura 12. Resultados de dureza obtenidos en el río Magdalena, CDMX, expresados en iones de Ca y Mg mg/L.

Por otra parte, la alcalinidad (Figura 13) tiene un comportamiento similar a lo observado en la dureza, ya que se presentan fluctuaciones en los valores obtenidos a lo largo del año pero estos siempre mantienen al agua dentro de la categoría de amortiguamiento moderado. Esta evaluación indica que el río Magdalena se encuentra en un ligero estado de vulnerabilidad ante descargas de contaminantes, por lo cual es importante dejar de descargar el agua residual proveniente de puestos de comida y casas en el lecho del río.

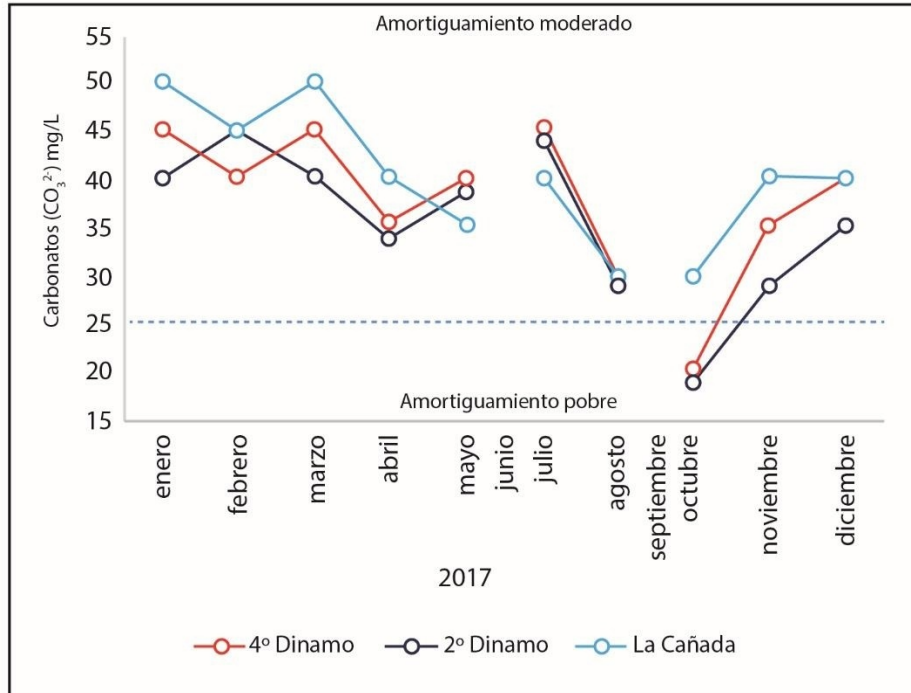


Figura 13. Resultados de alcalinidad obtenidos en el río Magdalena, CDMX, expresados en carbonatos (CO_3^{2-}) mg/L.

En relación a los resultados de saturación oxígeno (Figura 14), de las 30 muestras estudiadas, se observó en 16 un nivel de saturación de oxígeno aceptable y en las 14 restantes un nivel pobre de oxígeno. Es importante señalar que el oxígeno disuelto disminuye su solubilidad al aumentar la temperatura, hecho que se relaciona con los bajos porcentajes de este elemento en el río Magdalena en los meses de lluvia en los cuales se registran las mayores temperaturas y con valores aceptables en meses de estiaje con bajas temperaturas como noviembre, diciembre y enero.

Los resultados de la saturación de oxígeno demuestran ciertas diferencias en los puntos de monitoreo. En el caso del 4° Dinamo se presentan niveles de oxígeno disuelto menores en comparación con los reportados en los dos puntos restantes. En este caso hay que señalar que el agua se oxigena de una mejor manera cuando su superficie aumenta su contacto con la atmósfera, por lo cual en los puntos de monitoreo 2° Dinamo y La Cañada que son lugares donde se forman rápidos es normal que el agua pueda capturar más oxígeno y presentar valores más altos para este parámetro.

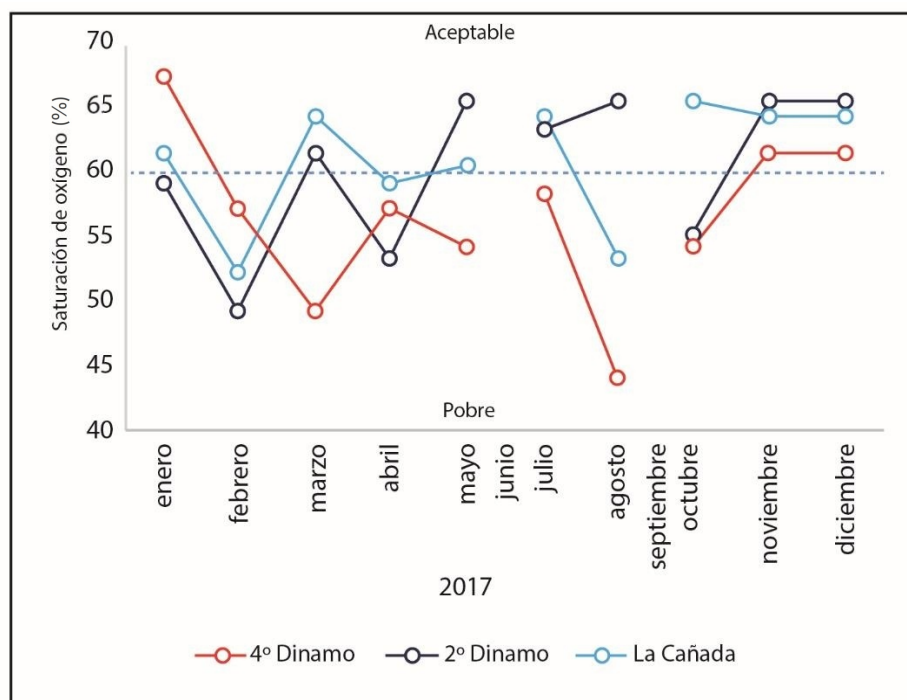


Figura 14. Resultados de saturación de oxígeno obtenidos en el río Magdalena, CDMX.

Los resultados para evaluar la turbidez (Figura 15) presentaron un cierto grado de heterogeneidad, la tendencia marca que en los meses de lluvia se presentan valores altos en Unidades de Turbidez de Jackson (JTU), mientras que en meses de estiaje los valores son menores. Esto se puede explicar porque en época de lluvia se da un aumento en el volumen del cauce y en la velocidad e intensidad de la corriente, lo que provoca que se arrastre una mayor cantidad de partículas de suelo (arcillas, limos y arenas) y materia orgánica (ramas y hojarasca).

Cabe señalar que los valores más altos de este parámetro (15 JTU) correspondientes al mes de julio en la cañada y agosto en el 4° Dinamo están en el límite permitido en la NOM-127-SSA1-1994 para calidad de agua de uso y consumo humano.

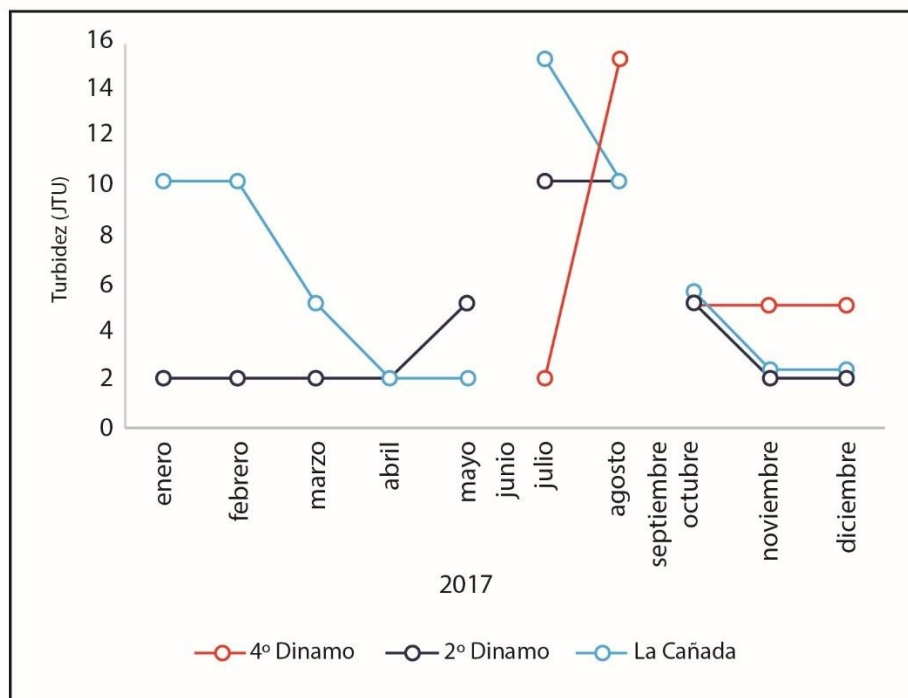


Figura 15. Resultados de turbidez obtenidos en el río Magdalena, CDMX, expresados en unidades Jackson de Turbidez (JTU).

➤ Bioindicadores

Cuadro 3. Valores de referencia para calidad de agua para uso y consumo humano para la interpretación de los resultados de bioindicadores del río Magdalena, CDMX, obtenidos de Arroyo, 2017 y NOM-127-SSA1-1994.

Bioindicador	Unidad/puntaje	Valor de referencia	Interpretación
Coliformes totales	UFC en 100 mL	Ausencia	Su presencia indica que el agua entra en contacto con el suelo o lodo, pero no una fuente obvia de contaminación
<i>E. coli</i>	UFC en 100 mL	Ausencia	La presencia indica contaminación por excrementos humanos o animales
Macroinvertebrados	Puntaje de calidad ecológica	<4	Severamente contaminado
		4-5	Contaminado
		5-6	Medianamente contaminado
		>6	Saludable

El análisis bacteriológico muestra que las UFC tanto de coliformes totales como de *E. coli* (Figura 16) aumentan conforme disminuye la altitud en la cuenca, por tanto, el 4° Dinamo es el punto que presentó menor concentración de UFC, seguido por el 2° Dinamo y finalmente La Cañada es el sitio más contaminado en este aspecto.

En el caso específico de las UFC de *E. coli* la NOM-127-SSA1-1994 para calidad de agua de uso y consumo humano señala que estas tienen que estar ausentes en el agua, sin embargo, en todos los puntos de monitoreo se detectan estas bacterias. Este hecho llama la atención debido a que estos organismos patógenos representan el principal riesgo sanitario en el agua. Bajo este mismo marco de referencia, abril y mayo son los meses que presentaron mayor abundancia de UFC de *E. coli*, lo cual se relaciona a que justo en ese periodo de tiempo se llevaron a cabo diversas festividades de los actores locales en los puntos de monitoreo lo que pudo haber ocasionado el aumento en la contaminación biológica de origen fecal.

Los resultados sobre bacterias presentados en este trabajo concuerdan con los reportes realizados por Morán, 2009; Mazari *et al.*, 2014; Caro, 2015 y Arroyo, 2017, en ellos se señala que la densidad de bacterias aumenta conforme el río desciende hacia la zona urbana, que existe la presencia de *E. coli* a lo largo del cauce del río y que por tanto hay contaminación biológica. Bajo este análisis, no se recomienda utilizar el agua para uso o consumo sin antes haber recibido un tratamiento de potabilización.

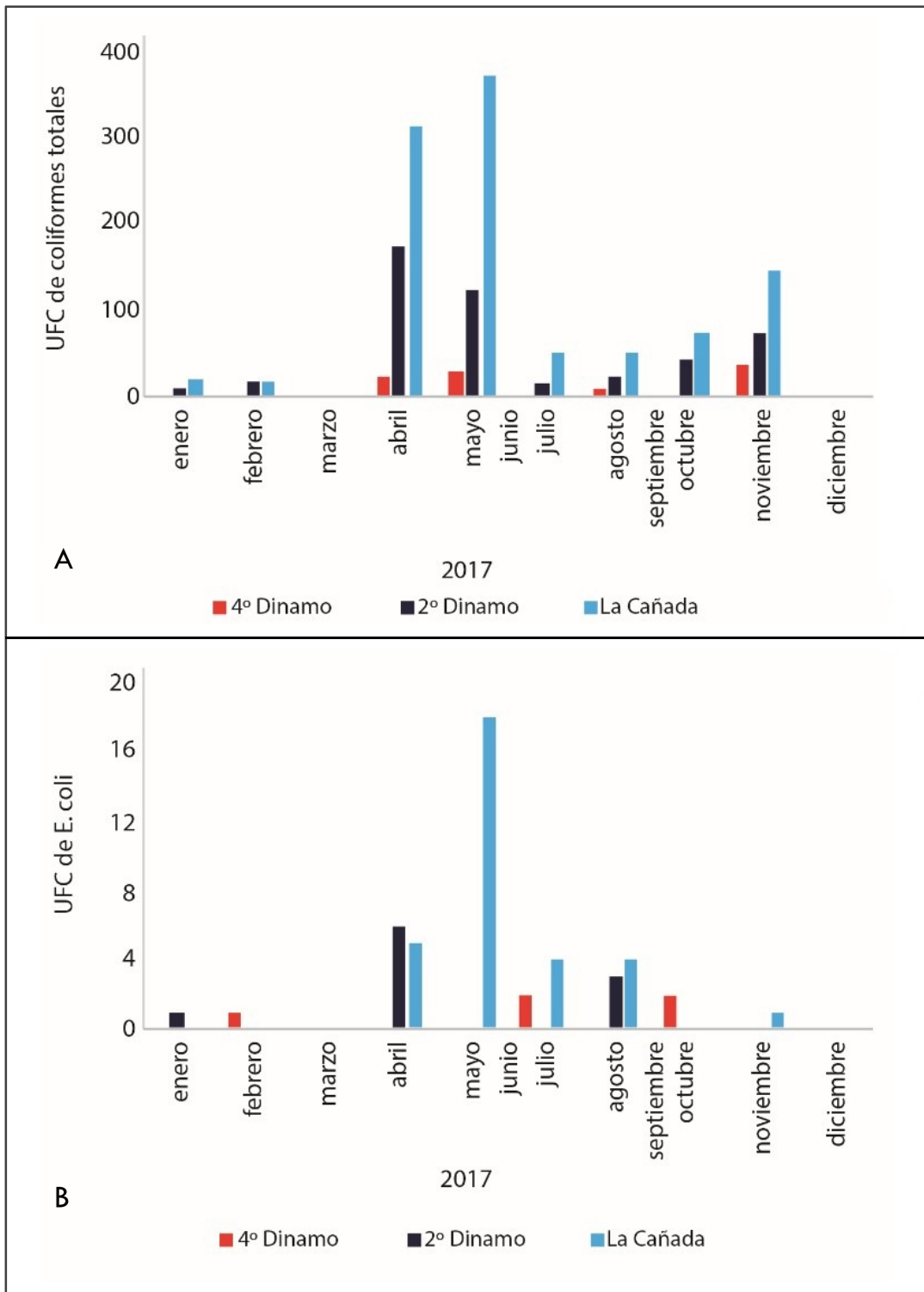


Figura 16. A) Resultados sobre las UFC de coliformes totales B) Resultados sobre las UFC de E. coli obtenidos en el río Magdalena, CDMX. En marzo y diciembre la incubadora se dañó por lo cual no se pudo realizar estos análisis.

En relación a la evaluación de calidad biológica del río mediante macroinvertebrados (Figura 17) los resultados señalan ciertas diferencias entre los puntos de monitoreo. En primera instancia el 4° Dinamo es el punto que presenta mayor homogeneidad en los puntajes, ya que sus calificaciones se mantuvieron en el intervalo de entre 4.7 y 5.7 catalogándose casi todo el año como un sitio medianamente contaminado. Por otro lado, los dos puntos de monitoreo restantes tuvieron un mayor grado de heterogeneidad, debido a que sus valores caen en un intervalo más amplio de puntaje a lo largo del ciclo de monitoreo. Entre las causas potenciales de estas variaciones se pueden señalar las condiciones ambientales como los cambios en la temperatura del agua y en el incremento del caudal, siendo esta última la causa por la cual no fue posible realizar este análisis en el mes de octubre. A pesar de lo anterior La Cañada es el punto de monitoreo con calificaciones más bajas y por lo cual se puede decir que este lugar es el que presenta mayor grado de perturbación bajo este análisis.

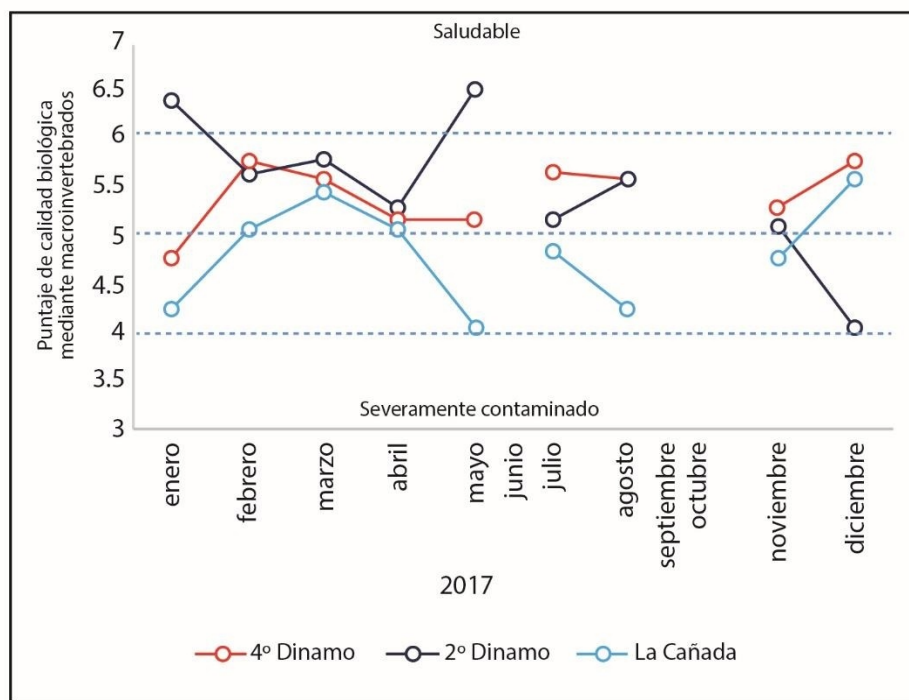


Figura 17. Calidad biológica en relación a macroinvertebrados del río Magdalena, CDMX. En octubre no se realizó el análisis a causa del incremento en volumen y fuerza del caudal.

➤ **Calidad de zona de ribera**

Cuadro 4. Valores de referencia para la interpretación de los resultados de calidad de zona de ribera del río Magdalena, CDMX, obtenidos de Encalada et al., 2011.

Variable	Valor	Calidad
Calidad de zona de ribera	0-10	Pésima
	11-20	Mala
	21-28	Moderada
	29-35	Buena
	>35	Excelente

En general los resultados sobre la calidad de zona de ribera señalan que la calidad disminuye conforme la altitud es menor lo largo de la cuenca. Como se puede observar en la Figura 19, el 4° Dinamo es el punto de monitoreo que cuenta con una mejor calidad de ribera, debido a que en este sitio el acceso es más complicado en comparación a los otros dos puntos y por lo cual no se han modificado de manera considerable las condiciones originales de la zona. Las calificaciones de este sitio permiten evaluarlo entre una calidad buena a excelente, donde los aspectos como la estructura de la vegetación, la conectividad y continuidad de ribera y la naturalidad del cauce aportan los valores más altos para evaluar el índice. Por otro lado, el 2° Dinamo presenta valores que lo sitúan seis veces en la categoría de buena calidad, mientras que las cuatro restantes se ubica en un estado moderado. En este sitio se observaron elementos que afectaron considerablemente el puntaje de calidad como residuos sólidos como basura y objetos que se utilizaron en rituales religiosos, además en los alrededores del río en este punto se encuentra inmobiliario urbano y algunos comercios que afectan la conectividad de vegetación ribereña y la continuidad de la ribera. Por último, La Cañada recibe las calificaciones más bajas, en ocho de las diez veces que se evaluó este índice se consideró el sitio en la categoría de calidad moderada, pero con valores menores que el 4° Dinamo. En este punto se encuentran varios puestos de comida y la concurrencia de visitantes es mayor, los cuales en muchas ocasiones deja una gran cantidad de residuos sólidos. Además, en algunas partes de esta zona el cauce del río presenta diversas modificaciones realizadas por los habitantes para evitar desbordamientos en tiempo de lluvias, estas acciones han repercutido en el puntaje de calidad del sitio ya que elementos como la composición del sustrato, los regímenes de velocidad y profundidad del río y los elementos de heterogeneidad se ven afectados.

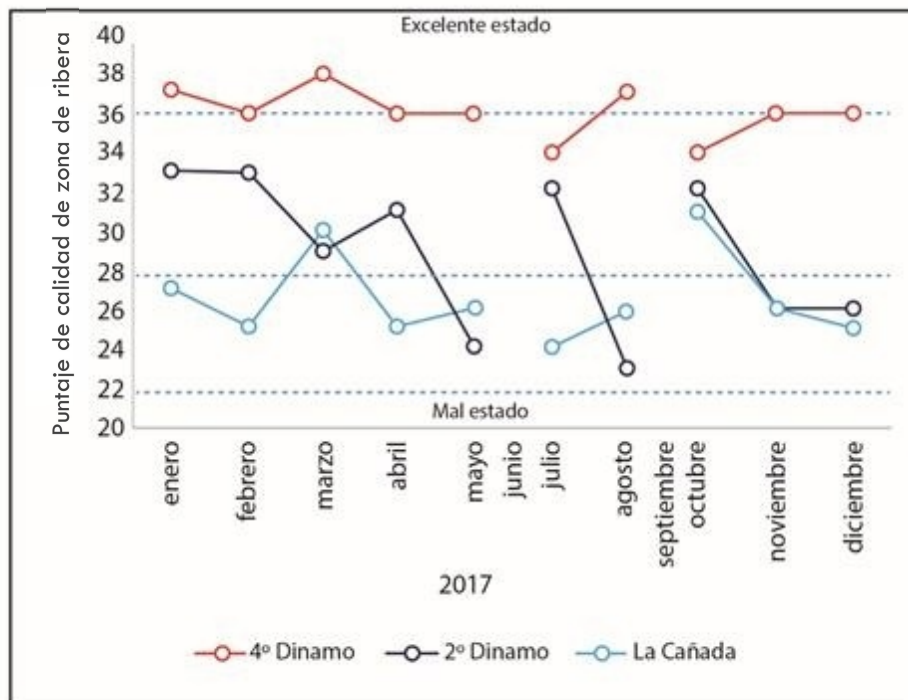


Figura 18. Calidad de zona de ribera del río Magdalena, CDMX.

Es necesario comentar que en la evaluación de la calidad de zona de ribera, la evaluación visual permitió inferir algunas de las actividades antrópicas que se realizan en los sitios de monitoreo. En ese sentido uno de los aspectos que llamo más la atención fue la presencia de desechos relacionados a rituales religiosos (santería) en el 2º Dinamo y en La Cañada. También, es importante señalar que una de las principales preocupaciones de los monitores comunitarios fue el hecho de encontrar basura en los sitios de monitoreo durante la mayor parte del año. La presencia de restos sólidos se observó principalmente a las orillas del río, se notó un incremento de basura durante el periodo vacacional de abril-mayo y se atribuye a que en este periodo la influencia de visitantes es mayor. De igual manera, en los meses de agosto y octubre se percibieron ligeros olores parecidos al del azufre y cloro en la parte baja de la cuenca. No se sabe con certeza cuál es el origen de estos olores, sin embargo hay que tener en cuenta que en esta zona se descarga agua residual al río sin ningún tratamiento previo, lo cual es uno de los problemas de contaminación que es necesario atender de forma prioritaria.

➤ **Participación social**

Cuadro 5. Matriz de indicadores de monitoreo

Matriz de indicadores de monitoreo			
Actividad	Sub-actividad	Indicadores	Medio de verificación
• Monitoreo comunitario participativo de la calidad ecológica del río Magdalena	• Monitoreo de parámetros fisicoquímicos	• Desarrollo de métodos • Cálculo e interpretación de resultados	• Formatos de campo • Base de datos • Uso adecuado del equipo de trabajo • Material fotográfico • Discusión de resultados
	• Monitoreo de bacterias	• Incubación y conteo de UFC de coliformes totales y <i>E. coli</i>	
	• Monitoreo de macroinvertebrados	• Identificación y categorización de macroinvertebrados • Cálculo del índice de calidad por macroinvertebrados	
	• Evaluación de calidad de zona de ribera	• Desarrollo del método • Cálculo del índice de calidad de zona de ribera	
	• Intervención de los monitores comunitarios	• Asistencia • Puntualidad • Transporte • Generación de propuestas • Manejo del equipo de trabajo • Llenado de formatos de campo	• Reedición de manual de campo • Formatos de campo • Base de datos • Presentación de los resultados del monitoreo ante las autoridades de la comunidad

El Cuadro 5 es una matriz de indicadores de monitoreo que sirvió para dar seguimiento a las actividades realizadas y conocer su avance e impacto en comparación con los ciclos de monitoreo anteriores.

En primer lugar durante el ciclo de monitoreo de la calidad ecológica del río Magdalena en 2017 participaron 19 personas de los cuales diez fueron mujeres y nueve fueron hombres. Los asistentes se pueden clasificar en dos categorías: 1) constantes, integrados por cuatro monitores comunitarios y dos pasantes de licenciatura y maestría respectivamente, los cuales asistieron como mínimo a ocho de los diez monitoreos realizados y 2) ocasionales, entre los que se incluyeron familiares de los monitores comunitarios y estudiantes de servicio social de la Facultad de Ciencias-UNAM que se interesaron en conocer el proyecto pero que no asistieron a más de tres monitoreos (Figura 19).

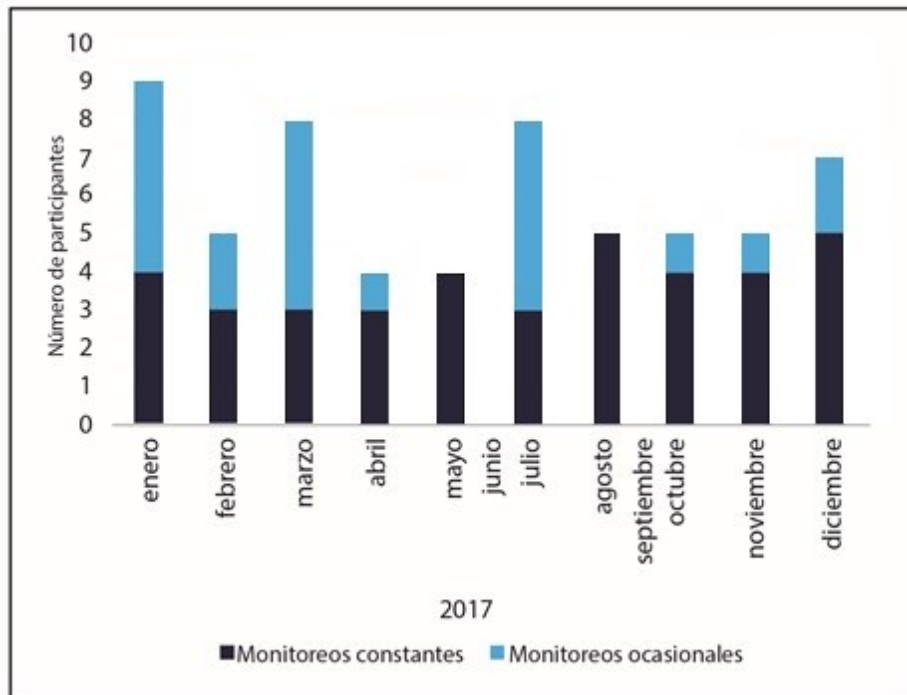


Figura 19. Número de participantes constantes y ocasionales durante los monitoreos del río Magdalena, CDMX.

En este ciclo de monitoreo en la cuenca del río Magdalena se consolidaron en el proyecto cuatro monitores comunitarios, los cuales participaron en los ciclos de monitoreo anteriores donde fueron capacitados en primera instancia por Ramos, (en proceso) y posteriormente por Arroyo (2017). Entre las principales motivaciones que los llevo a seguir asistiendo a campo fue su interés por mejorar su desempeño al momento de realizar los protocolos, involucrarse en actividades que ayuden a mejorar las condiciones del lugar donde viven y la convivencia con estudiantes e investigadores. Cabe destacar que durante este ciclo de monitoreo no se observó la disminución de monitores comunitarios como se reporta en los trabajos de ciclos anteriores, además la asistencia de participantes a los monitoreos aumento, oscilando entre cinco y nueve asistentes a lo largo del año.

El hecho de contar con cuatro monitores experimentados que tienen un buen manejo del equipo de campo y de los protocolos para medir los parámetros se vio reflejado en un desarrollo más eficiente de las metodología de evaluación y en la reducción de pérdida de datos, lo cual fueron inconvenientes detectados en los ciclos de monitoreo anteriores.

Por otro lado, en todas las sesiones en campo se entablaron discusiones sobre los datos obtenidos, los monitores comunitarios expresaron algunas dudas sobre las fórmulas para calcular los puntajes de algunos análisis y sobre los intervalos de las categorías para evaluar el estado de salud del río. Por lo cual se realizó una revisión de forma conjunta y con base en las observaciones y sugerencias de los monitores comunitarios, se hicieron cambios en el material de trabajo, lo cual condujo a un mejor manejo del manual y mayor entendimiento de los resultados. Derivado de lo anterior, uno de los resultados más sobresalientes fue la modificación del manual y formatos de campo.

A pesar del creciente fortalecimiento de lazos entre los actores locales y academia y la implantación de medias para aumentar el desempeño del monitoreo han sido exitosas aún existen varias cosas por mejorar. En relación a los protocolos de evaluación de los parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados, se ha observado que se realizan con un grado de especialización por parte de los monitores, lo que ha provocado que existan preferencias por desarrollar algunos análisis. Como propuesta para solucionar esta situación, se sugiere que los protocolos de evaluación se realicen por diferentes personas en cada punto de monitoreo con la supervisión del monitor que desempeña mejor cada actividad. De esta manera se busca que los monitores comunitarios desarrollen los protocolos de manera homogénea, además se espera que las dudas de los monitores sean resueltas en conjunto con los monitores especialistas de cada técnica y los estudiantes al frente del monitoreo. Por otro lado, en relación al protocolo de bacterias la participación fue menor que en otros análisis. En este caso la incubación y el conteo de las colonias no se realizaron la mayoría de veces en conjunto con los monitores comunitarios, los argumentos fueron que no contaban con el tiempo necesario para vigilar la temperatura de la incubadora durante el periodo de incubación, además de que sus actividades cotidianas no les permitían realizar el conteo con la atención y elementos de seguridad que requiere esta actividad. Una propuesta para mejorar la participación de esta actividad fue asignar con un mes de anticipación al encargado de monitorear la temperatura de incubación de las bacterias y realizar el conteo de las UFC en forma conjunta con los estudiantes al frente del monitoreo que proporcionaran el equipo de seguridad y ayudaran a la desinfección y desecho de las cajas con cultivo.

Por otro lado, se debe coordinar de mejor manera las fechas de salidas al campo, debido a que en ocasiones los monitoreos se tenían que reprogramar porque se empalmaban con actividades de los actores locales o de los estudiantes involucrados en el proyecto. Para ello, surgió la propuesta de establecer fechas tentativas para los monitoreos desde el inicio del ciclo y confirmarlas por lo menos con un mes de anticipación una vez que hayan arrancado los monitoreos para asegurar la asistencia del mayor número de participantes. También en relación a la logística de las salidas al campo el tema de la puntualidad es un asunto a resolver, en relación a esto varias veces el monitoreo tardo en comenzar entre 30 minutos y una hora, por lo cual otras actividades ajenas al monitoreo se vieron afectadas. Una de las principales causas de los retrasos en los monitoreos fue el transporte, debido a que algunas veces no se contaba con el apoyo de los vehículos de la comunidad y se tenía que hacer uso de vehículos particulares los cuales también limitan el traslado de un mayor número de participantes.

En los trabajos de Geilfus (2002) y Fernández *et al.*, (2008), se menciona que el Proceso del MCP conlleva diferentes niveles de participación comunitaria que va desde la pasividad, donde las personas únicamente participan cuando se les informa y no tienen ninguna incidencia en la toma de decisiones ni en la implementación del proyecto, hasta el auto desarrollo, donde los grupos locales organizados toman iniciativas sin esperar intervención externa y la participación de la academia u otras instituciones solo se hacen en forma de asesoría.

Bajo el marco anterior y con base en el seguimiento los indicadores propuestos para cada actividad del monitoreo, se puede decir que el proyecto se encuentra en la etapa de participación interactiva, donde la participación de la comunidad se ha afianzado en la formulación, implantación y evaluación del proyecto, lo que implica procesos de enseñanza-aprendizaje sistemáticos y estructurados, y la toma de control en forma progresiva del proyecto. Sin embargo, se pretende que el monitoreo alcance el autodesarrollo, por lo cual la disponibilidad y el compromiso de todos los actores involucrados, así como lograr un mayor grado de organización serán puntos fundamentales para el éxito del proyecto. En ese sentido es importante mencionar que los monitores comunitarios podrían validar los conocimientos de manera formal mediante la capacitación

de Global Water Watch-México (GWW-México) organización que promueve el MCP de características biológicas y fisicoquímicas del agua, cuidando la calidad de los datos que se generan.

Al finalizar los monitoreos del año 2017 se llevó a cabo la entrega de resultados y la clausura del ciclo de monitoreo ante los representantes y vecinos de la Comunidad Agraria Magdalena Contreras Atlitlic y autoridades de diferentes instituciones de gobierno. En la exposición realizada el 28 de febrero de 2018, se entregaron reconocimientos a los monitores comunitarios, los cuales platicaron su experiencia en el monitoreo e incitaron a los asistentes a participar en ciclos posteriores. Se expusieron los datos obtenidos de manera gráfica desglosando uno a uno los tres grupos de parámetros estudiados, haciendo especial énfasis en sus repercusiones sobre la calidad ambiental del río y comparando los valores con el cumplimiento de la normativa mexicana para los análisis observados. También se realizó una reflexión en conjunto sobre los alcances y limitantes observados en el monitoreo y un análisis integral sobre los servicios ecosistémicos que presta la cuenca del río Magdalena a la Ciudad de México. Finalmente se habló de la importancia de tomar medidas para eliminar las fuentes de contaminación que dañan el estado de salud del río y sus alrededores, así como los riesgos de utilizar agua contaminada para consumo humano y uso doméstico. En ese sentido los resultados obtenidos tanto en este ciclo de monitoreo como en los anteriores son claves para encontrar soluciones para la remediación del río Magdalena. Finalmente se habló sobre los alcances del monitoreo y se aseguró el apoyo de los monitores comunitarios consolidados para los monitoreos siguientes, además se espera que más personas de la comunidad se integren al proyecto, por tanto el trabajo relacionado a la capacitación para el uso del equipo y material de trabajo será relevante antes de comenzar una nueva evaluación del estado de salud del río.

7. Conclusiones y recomendaciones finales

Los análisis fisicoquímicos reflejan que no existen variaciones significativas a lo largo del año, ni en los puntos de monitoreo. Los valores de pH, dureza y alcalinidad no sobre pasan los valores indicados en la legislación mexicana. Bajo estos análisis el agua tiene una buena calidad y es apta para usarse con fines domésticos, además puede ser destinada para consumo humano si se realiza previamente un tratamiento de potabilización.

El análisis bacteriológico determinó la presencia de coliformes totales y *E. coli* en los tres puntos de monitoreo. Las coliformes totales se presentaron en todos los monitoreos, sin embargo no representan un riesgo a la salud, ya que son indicadoras de que el agua está en contacto con el suelo y materia orgánica pero no con una fuente obvia de contaminación fecal. La presencia de *E. coli* en la mayoría de los monitoreos, principalmente en los puntos más bajos de la cuenca sugiere una fuente clara de contaminación fecal, posiblemente originada por las descargas de los desagües que se vierten al río, pero también pueden ser de origen animal, por la presencia de ovejas y de fauna feral en los alrededores del río. Este problema de contaminación es un punto clave a solucionar, ya que tanto los habitantes como los visitantes que entran en contacto con el agua del río pueden contraer enfermedades gastrointestinales.

La calidad biológica mediante bioindicadores y la calidad de zona de ribera demuestran una degradación gradual del ecosistema y una menor calidad de los servicios ecosistémicos conforme el río desciende a lo largo de la cuenca. En términos de calidad de hábitat, el deterioro del ecosistema produce cambios importantes que modifican los procesos ecológicos de las poblaciones de organismos dulceacuícolas de la zona. Para dar un manejo adecuado de restauración del río Magdalena, hay que aplicar medidas diferenciales, dividiendo el río en zonas; ya que la degradación no tiene la misma intensidad y las fuentes de contaminación son diferentes en la parte alta, media y baja de la cuenca.

Se confirmó que los monitoreos comunitarios participativos sirven para que los actores locales comprendan el funcionamiento del ambiente y de sus servicios ecosistémicos potenciales, ya que permiten la capacitación en el uso de técnicas sencillas que se complementan con el conocimiento local para evaluar el estado de su capital natural.

A pesar de que los actores locales no han logrado auto-gestionar el proyecto, el monitoreo ha alcanzado la etapa de participación interactiva y ha progresado en relación a los ciclos de monitoreo anteriores. La participación ha mejorado, ya que la asistencia aumento y el número de monitores comunitarios no disminuyo. También, mediante las discusiones entabladas al final de cada monitoreo se logró resolver las dudas de los monitores comunitarios y mediante un proceso colaborativo se logró modificar el manual y los formatos de campo con el propósito de desarrollar los protocolos de evaluación con mayor eficiencia y mantener una buena calidad de los datos.

Es indispensable incentivar la autosuficiencia de los monitores, para que puedan efectuar las labores de monitoreo de forma independiente de la academia y así apropiarse por completo de las técnicas y de la información obtenida. Por tanto, se esperar que los monitores comunitarios consolidados consideren la posibilidad de certificarse en GWW-México y de esa forma incidan con mayor intensidad en la toma de decisiones relacionadas al manejo de sus recursos y el cuidado de los servicios ecosistémicos que brinda su cuenca.

La información de este ciclo de monitoreo se discutió ante los representantes de la comunidad, lo que permitirá tomar acciones sobre la restauración del río y reforzar las vínculos entre la comunidad, academia y las autoridades locales. Estos vínculos son importantes para la continuidad del proyecto, fundamentalmente para el establecimiento de mecanismos de apoyo relacionados a la obtención de recursos físicos, humanos y económicos.

Es fundamental hacer labores de difusión del monitoreo dentro y fuera de la comunidad para conseguir que más personas se una al proyecto, lo cual es uno de los puntos que resulta más difíciles de seguir, ya que se requiere de compromiso y disponibilidad a mediano y largo plazo.

8. Referencias

- Almeida-Leñero, L., Nava, M., Ramos, A., Esponisa, M., Ordoñez, M. d., y Jujnovsky, J. (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica*(Número especial: 84-85), 53-64.
- Álvarez, K. (2000). Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el bosque de los Dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras. *Tesis de licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México*, 127 pp.
- Aranda, E., Oral, R., Flores, A., Ramos, M., Vidriales, G., y Manson, R. (2008). Monitoreo comunitario del agua. Xalapa México: Asociación de vecinos del Pixquiaco-Zoncuantla, A.C. *Global Water Wach-Veracruz, Instituto de Ecología*.
- Arizpe, N., Almeida-Leñero, L., Jujnovsky, J., y Ramos, A. (2017). Análisis socioecológico de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México. En R. Calderón (Coordinador), *Los Sistemas Socioecológicos y su Resiliencia: Casos de Estudio* (pág. 261). Editorial Gedisa, S.A.
- Arroyo, G. (2017). *Monitoreo de la calidad ecológica del río Magdalena, Cd. Mx., México (Manual de campo)*.
- Arroyo, G. (2017). Monitoreo participativo de la calidad ecológica del río Magdalena, CD. Mx., México. *Tesis de licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México*, 103 pp.
- Brown, R. L. (2010). Salvar el planeta, Barcelona, Paidós. En A. Aguilar, *Calidad del agua, un enfoque multidisciplinario*. México: Instituto de investigaciones Economicas-UNAM.
- Burgos, A., y Páez, R. (2012). Implementación de una red de monitoreo comunitario de calidad del agua mediante la construcción de capacidades locales en cuencas rurales. *Memorias de la I Bienal territorios*.
- Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., y Rivas, H. (2013). Systems approach to modelling community-based environmental monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural México. *Environmental Monitoring Assessment*(185), 10297-10316.
- Caro, A. P., Carmona, J., y Mazari, M. (2015). Identificación y validación de sitios de referencia en ríos periurbanos a través de la evaluación de la calidad ecológica y el valor indicador de macroinvertebrados bentónicos. En A. Alcocer, J. E. Merino y E. Escobar. *Tendencias de Investigación en Limnología Tropical: Perspectivas Univeritarias en Latinoamérica*. Asociación Mexicana de Limnología, A. C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología. México.

- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Lazos, E., y Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socioecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental*, 2(6), 1-21.
- Cuadros, P. L. (2001). Tenencia de la tierra y ecología en la Magdalena Contreras. *Tesis de Licenciatura en Ciencias Políticas y Administración Pública. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, México*, 299 pp.
- Cuthill, M. (2000). An interpretive approach to developing volunteer-based coastal monitoring programmes. *Local Environment*, 5, 127-133.
- Dalahemeh, S., Assayed, M., y Suleiman, W. T. (2009). Themes of stakeholder participation in greywater management in rural communities in Jordan. *Desalination*(243), 159-169.
- Deutsch, W. G., Ruiz-Cordova, S., & Duncan, B. L. (2010). Community-Based Water Monitoring: A Practical Model for Global Watershed Stewardship. *Auburn, USA: Global Water Watch Program, Auburn University*.
- EEA. (2010). 10 messages for 2010 Urban ecosystems. 11.
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos, B., Garcia, N., y Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERAS)*. Quito, Ecuador: Proyecto FUCARA.
- Evans, K., y Guariguata, M. R. (2008). Monitoreo participativo para el manejo forestal en el trópico. Una revisión de herramientas, conceptos y lecciones aprendidas. *CIFOR*.
- Facultad de Ciencias, UNAM. (2008). Reporte de investigación para el Diagnostico sectorial de la Cuenca del río Magdalena: Componente 2. Medio Biofísico. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*, 15 pp.
- Fernández, M. E., Ballard, H. L., y Sturtevant, V. E. (2008). Adaptive management and social learning in collaborative and community-based monitoring: a study of five community based forestry organizations in the western USA. *Ecology and Society*, 13(2).
- Fiksel, J. (2006). Sustainability and resilience: Toward a system approach. En *Sustain Sci Pract Policy* (Vol. 11, págs. 14-21).
- Flores-Díaz, A., Ramos, M. G., Ruiz, S., Manson, R., Aranda, E., y Deutsch, W. (2013). Monitoreo comunitario del agua: retos y aprendizaje desde la perspectiva de Global Water Watch-México. *Global Water Wach-México*.
- Gallopín, G. (2001). *Science and technology, sustainability and sustainable development*. ECLAC.

- Gallopin, G. C. (1994). Impoverishment and Sustainable Development: A systems approach. *International Institute for Sustainable Development, Winnipeg*.
- Gallopin, G. C., Gutman, P., & Maletta, H. (1989). Global impoverishment, sustainable development and the environment: a conceptual approach. *International Social Science Journal*, 41(121), 375-397.
- Galván, 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, UNAM, México*, 80 pp.
- García, E. (1998). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (4 ed.). México: Editorial Laros.
- Geilfus, F. (2002). *80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Hart, B. T., Maher, B., y Lawrence, I. (1999). New generation water quality guidelines for ecosystem protection. *Freshwater Biology*, 41(2), 347-359.
- Harvey, C. A., González, J., y Sánchez, V. (2003). ¿Cómo involucrar a la población local en el monitoreo de la biodiversidad? Ideas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 10, 37-38.
- 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, UNAM, México*, 73 pp.
- Jujnovsky, J. (2012). Propuesta para la evaluación del servicio ecosistémico de provisión de agua: el caso de la cuenca del río Magdalena, México D.F. *Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México*, 121 pp.
- Jujnovsky, J., y Almeida-Leñero, L. (2018). ¿Qué son y como funciona los servicios ecosistémicos de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México. En L. Almeida-Leñero, J. Carmona, & E. A. Cantoral, *Historia natural y cultural de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México, México*.
- Jujnovsky, J., Almeida-Leñero, L., Bojorge, M., Monges, Y., Cantoral, E., y Mazari, M. (2010). Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica*, 20(2), 113-126.
- Karr, J. R. (1999). Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*, 41(2), 221-234.
- Mazari, M. G., Pérez, M. T., Orta, F., Armas, M. A., Tapia, R., Solano, M. A., y Díaz, C. (2014). Final opportunity to rehabilitate an urban river as a water source for Mexico City. *PLoS ONE*, 9(7), 1-17 pp.

- Millennium Ecosystem Assessment (M.A.). (2003). Capítulo 2: Ecosystem and their services. En M. E. (M.A.), *Ecosystems and human well-being*. Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment (M.A.). (2005). Capítulo 3: Drivers of ecosystem change, summary chapter. En M. E. (M.A.), *Ecosystems and human well-being*. Island Press.
- Monges, M. (2009). Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, Distrito Federal. *Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Instituto de Ecología; UNAM, México*, 30 pp.
- Morán, L. Y. (2009). Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, Distrito Federal. *Tesis de Maestría en Biología Ambiental, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 78 pp.
- Nava, M. (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, UNAM, México*, 64 pp.
- NOM-127-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana. (1996). Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*.
- OESP. (1997). Monitoreo y evaluación y orientados a la obtención de resultados. Manual para los administradores de programas. *OESP Handbook Series, Nueva York*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2009). *¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?* FAO.
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química*. España: Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S. A.
- Pacha, M. J. (2014). *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía*. Brasilia: Iniciativa Amazonia Viva.
- Páez, R., Burgos, A., Carmona, E., & Rivas, H. (2011). Construyendo capacidades locales para el monitoreo participativo del agua en comunidades campesinas. *Memorias del II Congreso Nacional de Cuencas. Villahermosa, Tabasco*.
- PAOT. (2010). Estudio sobre el ordenamiento, control y tratamiento integral de los asentamientos humanos irregulares, ubicados en el suelo de conservación del Distrito Federal. 54 pp.
- Perevochtchikova, M., Aponte, N., Zamudio, V., y Sandoval, G. E. (2016). Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 5-23.

- Postel, S. L., y Thompson, B. H. (2005). Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, 29(2), 90-108.
- Ramos, A. (2008). Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la Zona Forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México. *Teis de Maestria en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, UNAM, México*, 99 pp.
- Ramos, A. (en proceso). Propuesta de monitoreo participativo en la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México, México . *Tesis Doctoral, Faculta de Ciencias-UNAM, México*.
- Ramos, M. G. (2012). Monitoreo comunitario participativo. *Global Water Wach México. Enciclopedia ENSUMA*.
- Roa-García, M. C., y Brown, S. (2009). Assessing water use an quality through youth participatory research in a rural Andean watershed. *Journal of Enviromental Management*(90), 3040-3047.
- Salas, W. A., Ríos, L. A., & Álvares, J. (2011). Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad. *Lasallista de Investigación*, 8(2), 136-142.
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación de agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- SEMARNAT. (2012). *Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climatico*. México: Comisión Intersecretarial de Ccambio Climatico. INECC.
- Sharpe, A., y Conrad, C. (2006). Community based ecological monitoring in Nova Scotia: Challenges and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 88, 409-4018.
- Torres, P., y Rodríguez, L. (2006). Dinamica agroambiental en áreas periurbanas de México. Los casos de Guadalajara y Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía-UNAM*(60), 62-82.
- Walker, B. (2006). A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecol. Sol.*, 11, 1-13.
- Whitelaw, G. H., Vaughan, B. C., y Atkinson, D. (2003). Establishing the canadian community monitoring network. *Enviromental Monitoring and Assessment*, 88, 409-4018.