

Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México

• María Perevochtchikova* •
El Colegio de México, A.C.

Autor para correspondencia

• Nidya Aponte Hernández •
Universidad Nacional Autónoma de México

• Verhonica Zamudio-Santos •
El Colegio de México, A.C.

• Gabriel Eduardo Sandoval-Romero •
Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Perevochtchikova, M., Aponte-Hernández, N., Zamudio-Santos, V., & Sandoval-Romero, G. E. (noviembre-diciembre, 2016). Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 5-23.

En este trabajo se presenta la experiencia de la implementación de esquema de monitoreo comunitario participativo (MCP) de la calidad del agua en una comunidad forestal, ubicada en la periferia de la Ciudad de México (antes Distrito Federal). Este esquema fue impulsado bajo el supuesto de que al utilizar las técnicas sencillas de observación de recursos hídricos se puede estimular la participación de la comunidad en el proceso de la generación y apropiación del conocimiento, que permita fomentar la toma de decisiones al interior y exterior de la comunidad. La metodología aplicada incluyó la capacitación en el MCP de la calidad del agua, monitoreo en 2015, análisis de los resultados obtenidos, y complemento de la información con las muestras para el laboratorio y los datos históricos para los sitios predeterminados en el taller de capacitación. Los resultados muestran la buena calidad fisicoquímica del agua en los tres manantiales, con preocupación por las concentraciones de bacterias fecales que rebasan las normas oficiales mexicanas en uno de los sitios. Al final se hacen reflexiones acerca de los avances y las limitaciones del MCP, y la continuación del monitoreo a mediano y largo plazos.

Palabras clave: socio-ecosistemas forestales, monitoreo comunitario participativo, calidad del agua, México.

Abstract

Perevochtchikova, M., Aponte-Hernández, N., Zamudio-Santos, V., & Sandoval-Romero, G. E. (November-December, 2016). *Community Participatory Monitoring of Water Quality: Case Ajusco, Mexico*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(6), 5-23.

In this work, we present the experience of implementing of Community Participatory Monitoring scheme (CPM) of water quality in a forest community, located on the periphery of Mexico City. This scheme has driven under the assumption that by using the simple techniques of observation of water resources its can encourage community participation in the process of generation and dissemination of knowledge to promote decision making inside and outside community. The methodology included training in the CPM of water quality, the implementation of monitoring in 2015, the analysis of the results, and the complement of the information for laboratory samples and historical data for the pre-determined sites in the training workshop. The results show good physical-chemical water quality in the three springs with preoccupation by fecal bacteria concentrations that exceed the Official Mexican Norms in one of the sites. At the end, we reflect about the advances and the limitations of CPM and the continuation of monitoring on medium and long term.

Keywords: *Socio-forest ecosystems, participatory community monitoring, water quality, Mexico.*

Recibido: 27/11/2015
Aceptado: 16/05/2016

Introducción

México forma parte de 17 países megadiversos que albergan cerca de un 70% de toda la biodiversidad en el mundo (Conabio, 2009). De acuerdo con el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 (Conafor, 2009), 33% del país aún posee bosques y selvas; 29% cuenta con matorrales xerófilos, y 8% tiene otras áreas forestales. En éstas se resalta la importancia de los bosques templados (Galicia & Zarco-Arista, 2014), ricos en biodiversidad, que representan cerca de 50% del total mundial y ocupan la mayor superficie forestal en México, con 17% del territorio nacional (Conabio, 2009). Por su parte, los recursos forestales en México tienen una distribución espacial heterogénea, que se relaciona en forma directa con las condiciones climáticas regionales y su orografía (zonas montañosas). A la vez coinciden con áreas de baja densidad poblacional, predominio de población indígena, altos índices de marginalidad, y propiedad comunal o ejidal de tierra (Barton-Bray et al., 2003).

Por su parte, las comunidades que habitan las zonas forestales poseen diferentes prácticas de uso y aprovechamiento de sus recursos naturales, las cuales están influenciadas por factores internos (organización social y gobernanza) y externos (económicos, institucionales y políticos), con profundas implicaciones territoriales (Moran & Ostrom, 2005; Martín-López, Gómez-Baggethun, & Montes, 2009). Por lo tanto, los bosques pueden considerarse como “sistemas socio-ecológicos adaptativos y complejos, donde los agentes sociales y biofísicos interactúan en diferentes escalas temporales y espaciales” (Ostrom, 2009), definiendo su nivel de resiliencia (Fernandez-Gimenez, Ballard, & Sturtevant, 2008).

Para el estudio de la compleja realidad de socioecosistemas (SES) forestales se requiere de un enfoque multidisciplinario, con base en un constante intercambio de información científica y tradicional. En particular, la colaboración social en la construcción del conocimiento resulta fundamental desde la perspectiva del diseño e

implementación de prácticas socialmente aprobadas para la conservación ambiental (Shirk et al., 2012).

Partiendo de ello, en este trabajo se presenta la experiencia de la participación comunitaria en la obtención de datos sobre calidad del agua en las fuentes de abastecimiento de una comunidad forestal mexicana. La hipótesis es que con sencillas técnicas de observación de recursos naturales (en particular, hídricos) se puede fomentar la participación de la comunidad en el proceso de la generación y apropiación de la información para la toma de decisiones al interior y exterior de la misma, sobre todo enfocado a la preservación de los servicios ecosistémicos hídricos (MEA, 2005), lo que aportaría al fortalecimiento de su resiliencia.

De este modo, el objetivo del trabajo consiste en la presentación de los primeros resultados del proceso de la implementación del esquema de monitoreo comunitario participativo para un caso de estudio mexicano, con el análisis de los datos obtenidos de la calidad del agua, y finalmente una reflexión acerca de la problemática que enfrenta este tipo de monitoreo, planteando retos para su mejoramiento.

Monitoreo participativo de la calidad del agua

En virtud del objetivo, y comprendiendo las comunidades forestales como socioecosistemas complejos (Rincón-Ruiz et al., 2014), se buscó el apoyo en el marco conceptual del monitoreo comunitario participativo (MCP), con especial énfasis al MCP de la calidad del agua. El monitoreo comunitario participativo en inglés se denomina como *community based monitoring*, *participatory monitoring* y *colaborative monitoring*; y en español, monitoreo comunitario, monitoreo basado en la comunidad, monitoreo participativo y monitoreo comunitario participativo (www.wikiensuma.mx/contento/Monitoreo_comunitario_participativo#cite_note-r04-3). En específico, la definición de MCP se refiere al “proceso en el que colaboran diferentes sectores de una comunidad (ciudadanos interesados;

grupos comunitarios; instituciones de gobierno, industria y academia) para monitorear, dar seguimiento y responder a asuntos de interés público” en materia ambiental (Deutsch, Ruiz-Córdova, & Duncan, 2010a).

Este proceso implica diferente nivel de participación de la comunidad, que va desde el apoyo en la recolección de datos para la investigación científica hasta el involucramiento completo (individual y comunitario) en la determinación del problema, y la adecuación de esquemas de monitoreo en virtud de las necesidades identificadas, recursos disponibles y conocimiento formado (Fernandez-Gimenez *et al.*, 2008; Flores-Díaz *et al.*, 2013). De esta forma, el MCP contribuye a la formación del vínculo entre sociedad y academia para comprensión de diversas problemáticas socioecológicas (Shirk *et al.*, 2012). También mejora la información y hace que se disminuye la vulnerabilidad social en las comunidades forestales (Soares & Murillo-Licea, 2013).

Dentro del marco de MCP se pueden identificar cuatro etapas consecutivas de desarrollo del proceso (Evans & Guarigata, 2008; Gilfus,

2009; Shirk *et al.*, 2012; Burgos, Páez, Carmona, & Rivas, 2013), reflejadas en la figura 1:

- Problema: determinación del problema y de la estructura del monitoreo apropiado.
- Monitoreo: capacitación y realización del monitoreo comunitario participativo.
- Datos: recopilación y comunicación de datos obtenidos; formación y acceso de base de datos.
- Conocimiento: análisis de la información obtenida y desarrollo de acciones para la atención del problema (educación, gestión local, apoyo gubernamental, acciones aplicadas).

Cabe señalar que el marco del MCP ha sido promovido en los últimos años a través de la creación de diversos programas internacionales; sin embargo, aún faltan trabajos académicos sobre sus resultados, alcances y limitantes enfrentados (Fernandez-Gimenez *et al.*, 2008), sobre todo en relación con el análisis de la información obtenida y su uso en distintos ámbitos (social, político, económico).

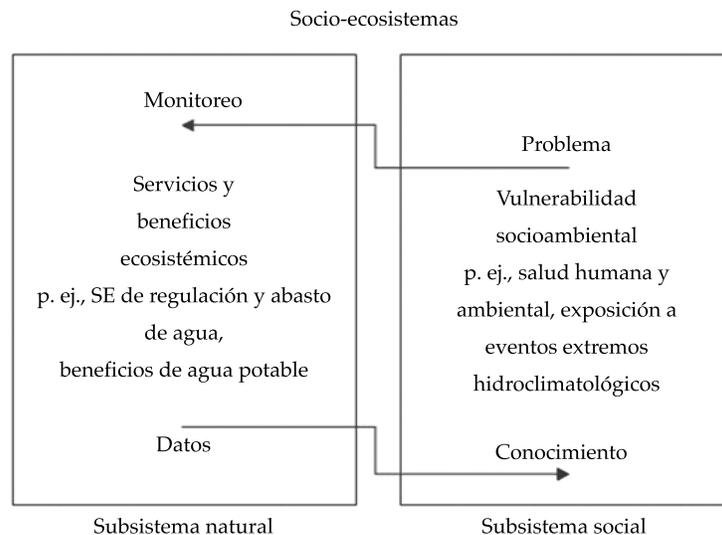


Figura 1. El esquema del marco conceptual y etapas de monitoreo comunitario participativo. Fuente: elaborado con base en Shirk *et al.*, 2012; Burgos *et al.*, 2013; Rincón-Ruiz *et al.*, 2014.

Entre los programas internacionales resaltan las siguientes experiencias:

- Programa de monitoreo voluntario “Adopta tu cuenca” de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EUA) (<http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/>).
- Programa voluntario de Alabama Water Watch en USA (www.alabamawaterwatch.org), que incluso ahora forma parte de la amplia red de Global Water Watch de la Universidad de Auburn, Alabama (<http://www.globalwaterwatch.org/>).
- Monitoreo comunitario participativo en Canadá que tiene apoyo gubernamental (<http://www.enr.gov.nt.ca/programs/water-resources/community-based-monitoring>).
- Programa de monitoreo comunitario de la calidad del agua en Australia (<http://www.seqcatchments.com.au/programs/community-based-ambientwater-water-quality-monitoring-and-rainfall-event-monitoring>).

A su vez, en América Latina se han presenciado las experiencias de la colaboración científica y social en el monitoreo de recursos naturales en países, como Brasil (García dos Santos *et al.*, 2011), Colombia (Loaiza-Cerón, Reyes-Trujillo, & Carvajal-Escobar, 2011), Costa Rica (Geilfus, 2009) y México (Burgos *et al.*, 2013; Flores-Díaz *et al.*, 2013), donde se destaca el papel que ha tenido la organización Global Water Watch en el apoyo conceptual y metodológico para la implementación y certificación de las redes de monitoreo comunitario en Argentina, Brasil, Ecuador, México y Perú, además de influenciar en el mismo proceso en Filipinas, Tailandia y Kenia (<http://www.globalwaterwatch.org/>).

En México, las experiencias más importantes han sido del estado de Veracruz y Michoacán, donde se han formado las redes de monitoreo participativo en el formato de colaboración científico-social (Aranda *et al.*, 2008; Páez-

Bistrain, Burgos-Tornadu, Carmona-Jiménez, & Rivas-Solórzano 2011; Burgos, Carmona, Páez, & Rivas, 2012; Burgos *et al.*, 2013). Así, el programa de monitoreo de agua con participación comunitaria inició en 2005 como una iniciativa de los habitantes de las ciudades Xalapa y Coatepec, Veracruz, con el fin de obtener información sobre los recursos hídricos que abastecen la región (<http://mexico.globalwaterwatch.org/>). En la ciudad de Morelia, Michoacán, el programa de monitoreo comunitario de la calidad del agua empezó en 2010 y sigue su desarrollo en la sección baja de la cuenca del río Balsas, donde el agua es escasa, por lo que es esencial su preservación para el desarrollo local (<http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/>).

Todas estas iniciativas confirman el interés e importancia de llevar a cabo el monitoreo comunitario (Cortina-Segovia & Saldaña-Espejel, 2014) para una mejor comprensión de la situación de recursos hídricos, y para que las comunidades se apropien de las técnicas sencillas de observación y utilicen la información generada (a la par con el conocimiento local existente) para sus necesidades. Por otro lado, se observa que hace falta su implementación en otras partes del país, donde se presencian múltiples problemáticas vinculadas con el recurso hídrico y forestal, que implican sobre todo la contaminación y abatimiento de las fuentes de abastecimiento de agua potable, entendido el último como uno de los más importantes beneficios ecosistémicos para la sociedad (Perevochtchikova, Rojo-Negrete, Martínez, & Fuentes-Mariles, 2015).

Método

Zona de estudio

La zona de estudio corresponde a los bienes comunales (en adelante la comunidad) de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, ubicada al suroeste del Distrito Federal (DF), la capital mexicana (ahora Ciudad de México), a la cual se integró en la década de 1970 en la subdelimitación de la

delegación de Tlalpan. Geográficamente, forma parte del límite suroeste de la cuenca de México, formación hidrográficamente cerrada, a la altura de 3 200 a 3 900 msnm (figura 2).

El territorio de la comunidad se encuentra enmarcado en el denominado suelo de conservación (SC), que posee altos índices de biodiversidad y contribuye al mantenimiento de la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, pues su existencia perpetúa procesos y funciones ecológicas que dan sustento a diversos servicios ecosistémicos (PAOT, 2012). Es importante mencionar que 90% del SC se encuentra bajo el régimen de propiedad comunal de la tierra (comunidades y ejidos), que presenta una diversidad de problemáticas socioeconómicas, históricas y culturales, en el contexto de una

fuerte presión urbana (Aguilar & Santos, 2011; Pérez-Campuzano, Perevochtchikova, & Avila-Foucat, 2011).

La comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco (desde su fundación en 1531 compuesta por dos barrios) cuenta con 7 619.2 ha y 604 comuneros reconocidos por el Registro Agrario Nacional (DOF, 1975). A lo largo de su historia ha tenido momentos de disminución e incluso exilio de la población, pero ha crecido de forma considerable durante las últimas décadas, desde 2 751 habitantes en 1960 a 12 173 en 1990, y 29 781 en 2010 (Almaraz-Vázquez, 2014). Lo que conlleva cada vez más a una mayor demanda de diversos bienes y servicios, incluyendo el abasto de agua. Por otro lado, posee un 45% de cobertura forestal, correspondiente a bosque de

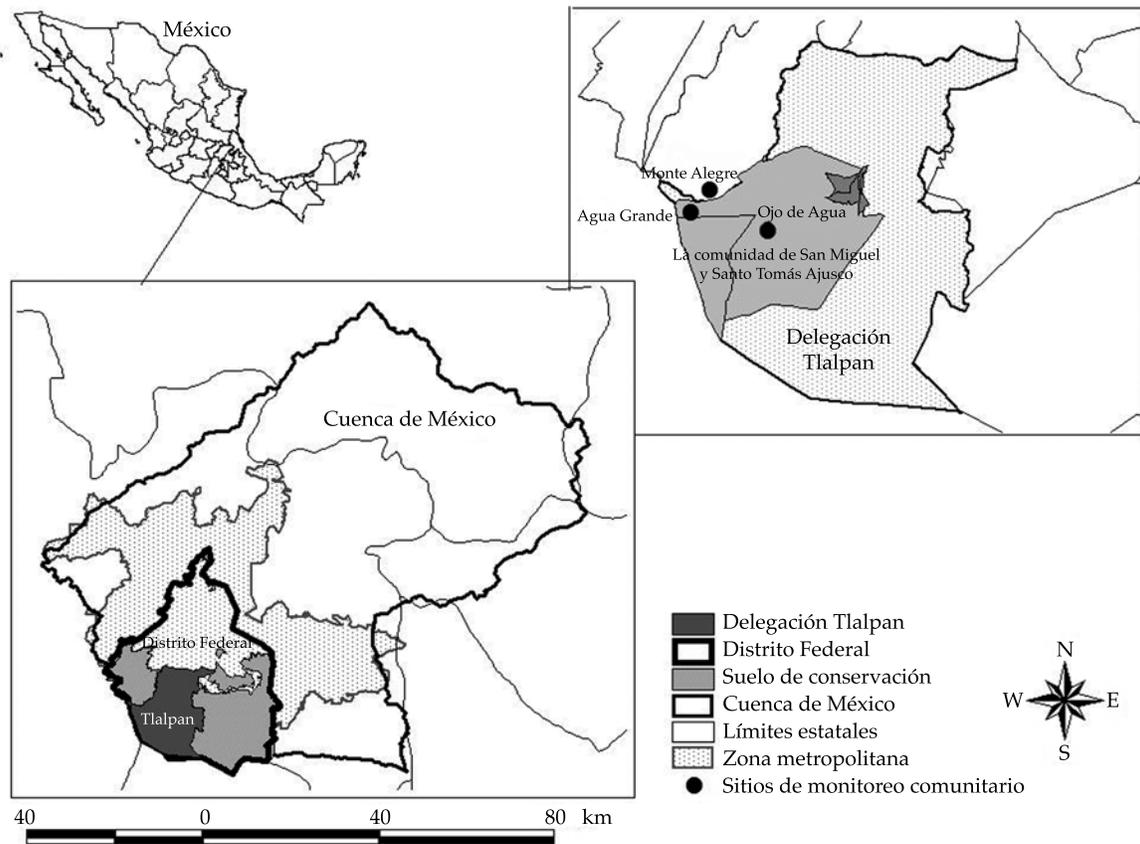


Figura 2. Ubicación de la comunidad San Miguel y Santo Tomás Ajusco y los sitios de muestreo comunitario. Fuente: elaboración propia.

pino, encino y oyamel, y otros usos de tierra en su territorio: agrícola (15%), pastizal (20%), urbano (15%) y bosque mixto (5%) (Perevochtchikova *et al.*, 2015).

En términos hídricos, la comunidad se abastece mediante la distribución por tandeo con el agua proveniente de varios manantiales del denominado Sistema Pueblos, donde el consumo actual es de 0.026 m³/s, en cuanto la demanda lo duplica 0.060 m³/s (DGCOH-GDF, 1999). El Sistema Pueblos "...está integrado por una red que provee por gravedad a los poblados de San Andrés, Santo Tomás Ajusco, Magdalena Petlascalco, San Miguel Xicalco, San Miguel Topilejo, Tlalpuente y María Esther Zuno de Echeverría...", cuenta además con un pozo profundo que abastece a casi todo el poblado de San Miguel Topilejo y parte de su caudal se almacena en los tanques existentes" (SACM-GDF, 2009:25). Por su parte, el Sistema Pueblos se alimenta por gravedad de los manantiales ubicados cuenca arriba en la parte forestal de la zona, tales como: Monte Alegre, con caudal de 15 l/s; Viborillas, con 33 l/s; Potrero Chico y La Saucedá, con 10.6 l/s en conjunto (SACM-GDF, 2003). En total, en la delegación Tlalpan se cuenta con el registro oficial de ocho manantiales con importantes caudales y el agua de los cuales se distribuye no sólo para las comunidades cercanas, sino también abastece algunas colonias del Distrito Federal (SACM-GDF, 2009). De aquí la importancia de mantener las fuentes de abastecimiento de agua potable (manantiales y arroyos) en buen estado, para lo cual es indispensable contar con un sistema continuo de observación de sus características naturales de manera participativa.

Método y etapas del estudio

Con base en los antecedentes bibliográficos en el tema de monitoreo comunitario participativo (MCP) del agua y en específico con la experiencia documentada en México (Aranda *et al.*, 2008; Deutsch, Romagnoli, & Ruiz-Córdova, 2010b; Páez *et al.*, 2011; Burgos *et al.*, 2012, 2013;

Flores-Díaz *et al.*, 2013), se determinaron varias etapas en el desarrollo del estudio, donde en la primera fase se acudió al apoyo de la organización de Global Water Watch (GWW), con sede en México, que es una expansión del programa Alabama Water Watch de EUA. Este programa ofrece las capacitaciones certificadas para el monitoreo voluntario participativo de la calidad del agua, con base en el uso de técnicas sencillas y de bajo costo, pero con metodología científicamente comprobada (<http://mexico.globalwaterwatch.org/>).

Bajo el proceso de capacitación financiado por dos proyectos de investigación científica (el monitoreo comunitario participativo tuvo su inicio con el apoyo del proyecto 155039 de Ciencia Básica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2012-2015, y la continuación actual ya con el proyecto 246947 de Problemas Nacionales, 2015-2017), y realizado por la GWW en enero de 2015, se buscó la formación de monitores de la calidad del agua provenientes desde dos ámbitos: comunidad y academia. Para esto, mediante el proceso de la presentación de una solicitud abierta a la comunidad (comunicada en aquel entonces al Comisariado de Bienes Comunales y técnicos comunitarios), se obtuvo la lista de los posibles candidatos para la certificación. Los criterios para la determinación final fueron los siguientes: presupuesto disponible; acuerdo sobre la voluntariedad del monitoreo (sin compensación económica); posibilidad de invertir parte de su tiempo en la capacitación, y realización del monitoreo mensual en los próximos 1 a 3 años. De esta manera quedaron cuatro participantes: tres hombres y una mujer (que posteriormente, por la carga doméstica y laboral, no pudo seguir con las actividades de monitoreo). Desde la academia se aprobó la certificación de cuatro personas (tres alumnos de posgrado relacionados con el tema de la calidad del agua y el coordinador técnico de los proyectos).

Como siguiente paso se desarrolló un taller para la determinación de los sitios de interés prioritario para la comunidad para el futuro monitoreo de la calidad del agua, donde se

plasmó en forma de mapeo participativo el conocimiento local sobre el territorio, con la ubicación de los recursos forestales e hídricos de la comunidad, y la problemática sobre contaminación, deterioro de los recursos, abasto y zonas de conservación forestal. Con estos insumos se identificaron dos manantiales y un arroyo como fuentes de abastecimiento de agua potable para la comunidad y sus vecinos, que requerirían ser monitoreados (figura 2).

Dentro de las características de medición de la calidad del agua se eligieron (dado el presupuesto, conocimiento previo de la zona y necesidades comunitarias determinadas en el taller): a) los parámetros fisicoquímicos (temperatura de aire y agua, potencial de hidrógeno, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y turbidez), y b) bacteriológicos (bacterias *Escherichia coli*). El proceso consideró la enseñanza y valoración de los avances de aprendizaje (en aula y campo) sobre las técnicas de medición directa de parámetros *in situ*, cultivo de bacterias con tres réplicas por sitio, con su posterior incubación (Astorga et al., 1998), y la interpretación de resultados (Deutsch et al., 2010b). Para eso se habilitó a los participantes en el uso del maletín “Water Quality Test Kit” que no requiere de alguna calibración previa y sólo se basa en el uso de las sustancias químicas preparadas en concentraciones listas para ser usadas dentro del cumplimiento de un protocolo establecido para medición de cada parámetro. Por otro lado, se construyó una incubadora portátil (con hielera, lámpara y cable); se adquirieron los medios de cultivo Coliscan EasyGel, y las placas Petri pretratadas para la medición de bacterias *E. coli* (anexo 1).

El trabajo de aprendizaje también incluyó la parte del llenado de hojas de registro de campo de parámetros de la calidad del agua (anexo 2) y su incorporación a la base de datos de GWW *online*, con la edición de tablas y gráficas. Por otro lado, se colaboró capacitando a los participantes en la medición de la cantidad del agua (caudal) con el uso de medidor automático de flujo “Global Water”, bajo la disponibilidad de las herramientas de los proyectos de investigación.

Además, se llevaron a cabo dos muestreos de la calidad del agua en época seca (abril) y húmeda (septiembre) de 2015, con el propósito de corroborar los parámetros medidos con el maletín, y ampliar la información de la calidad del agua de los manantiales con otros parámetros fisicoquímicos, en particular aniones y cationes, y metales traza. Los parámetros medidos fueron los siguientes: a) pH, T °C, conductividad μS , alcalinidad CaCO_3 ; b) F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₃⁻, PO₄⁻, SO₄⁻; c) Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, V, Zn, lo que puede ser considerado como uno de los aportes más importantes del estudio en términos de la información sobre la calidad del agua en las fuentes de abastecimientos de las comunidades rurales. Se tomaron muestras del agua (filtradas y acidificadas) y se analizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla. Para complementar el estudio se efectuó una búsqueda de datos históricos de la calidad del agua de los tres sitios en el archivo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM-GDF, 2003; SACM-GDF, 2009).

Con toda la información obtenida se procedió de la siguiente manera para la presentación de los resultados del estudio:

- La exposición de la experiencia de monitoreo comunitario participativo en 2015, con datos del primer año de observación, su exposición gráfica, análisis de variabilidad estacional y algunos comentarios acerca del proceso de MCP.
- La presentación de datos fisicoquímicos complementarios, con base en los resultados de dos muestreos de 2015 y de la búsqueda de información histórica de la calidad del agua, con la revisión y análisis del cumplimiento de la normatividad mexicana para los parámetros observados.

Al final del texto se agregó una reflexión integrada acerca de los alcances y limitantes observados en el proceso de MCP para el caso de estudio.

Resultados

Experiencia de monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua

Después de la capacitación de enero de 2015 a febrero de 2016 se realizaron 12 salidas de campo con mediciones mensuales de la calidad del agua en tres sitios predeterminados: dos manantiales y un arroyo que abastecen de agua potable a la comunidad. El monitoreo se desarrolló de forma colaborativa entre los representantes de la comunidad y la academia, con base en la participación voluntaria y el respaldo de dos proyectos de investigación. Antes de cada salida se gestionaban lugar, fecha y hora del encuentro para el desarrollo conjunto del monitoreo. Cabe señalar que los participantes de monitoreo variaban dependiendo de las actividades (académicas y/o productivas) que debían atender, por lo que salían en cada monitoreo de 3 a 6 personas, apoyando y turnándose en la aplicación de técnicas de monitoreo en cada sitio y el llenado de hojas de campo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos, los cuales se agrupan de la siguiente manera para los tres sitios monitoreados (cuadro 1, figura 3):

- a) Características fisicoquímicas: temperatura de aire y agua (T , °C), potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD, ppm), saturación de oxígeno (Sat, %), alcalinidad (en mg/l), dureza (en mg/l), turbidez (en NTU, unidad nefelométrica de turbidez).
- b) Caracterización bacteriológica: cantidad de colonias de bacterias coliformes en 100 ml de *Escherichia coli* o *E. coli*; y la cantidad del agua (caudal, Q , m^3/s).

A partir del cuadro 1 (donde además se presentan los valores promedio de los parámetros medidos y la desviación estándar) y la figura 3 se pueden observar las tendencias de preservación de buena calidad del agua en los tres sitios de monitoreo, con excepción de las concentraciones de las bacterias *E. coli* (en sitio de

Monte Alegre), que aumentan su concentración en época de lluvia y se relacionan de manera directa con las crecidas de caudal y el arrastre de materia orgánica de las riberas hacia fuentes de agua. Es visible y también preocupante por las concentraciones que no disminuyen en este sitio, donde a los lados del escurrimiento se encuentran los campos de cultivo de avena y se hace el pastoreo libre de vacas.

Entre las observaciones más específicas se determinaron los rangos óptimos (buenos) del comportamiento de características observadas en relación con la función ecosistémica, exceptuando bacterias que incluso sobrepasan los límites establecidos para agua potable, y actividades de recreación, como natación (cuadro 2).

Es importante comentar que los resultados obtenidos pasaron por un reciente proceso de consulta y revisión por parte de GWW, por lo que después de la recapitación de los monitores a un año de la iniciativa (realizado en enero de 2016) se puso la información en la base de datos de su página web (<http://mexico.globalwaterwatch.org/datos-de-agua/ver-datos/>). Sin embargo, por conflicto interno de la comunidad en relación con la sustitución del Comisariado anterior mediante un proceso judicial, no se han podido presentar aún estos datos a la Asamblea Comunitaria, que es su órgano de máxima autoridad y poder decisivo, por lo que se propuso presentar primero estos datos a los integrantes del Comité de Agua para la discusión de posibles escenarios de acción en cuanto a las altas concentraciones de *E. coli*. Sobre todo por involucrar en la problemática detectada a una comunidad vecina, que requeriría de una sinergia en actividades de control de uso de agroquímicos y pastoreo de ganado a las riberas de los arroyos y manantiales.

Datos fisicoquímicos complementarios y el cumplimiento de la normatividad mexicana

Con el propósito de corroborar y ampliar los datos de la calidad del agua medidos en el MCP se implementaron dos muestreos complementarios

Cuadro 1. Los parámetros de la calidad del agua en tres manantiales de la zona de estudio obtenidos mediante el MCP (Fuente: datos de trabajo de campo, 2015).

Nombre	Fecha	T° aire	T° agua	pH	OD	Sat O3	Alcalinidad	Dureza	Turbidez	E. coli	Otras	Q	Observaciones
Ojo de agua		°C	°C		ppm	%	mg/l	mg/l	ITU	colonias	coliformes	m³/s	
2015	7-2	6.5	9	7	7	60	35	20	2	0	66		caudal bajo, excremento
	7-3	8	9	7	6.9	59	45	20	2	0	0	0.0005	caudal bajo
	1-4	12.5	9.5	7	6.85	60	35	20	2	0	0	0.0016	caudal bajo
	4-5	11	9.5	7	6.9	60	50	20	2	0	66	0.0016	flor de adorno
	6-6	12.5	10	7	6.7	58	40	20	2	0	100	0.0017	flor de adorno
	4-7	14.5	9.5	7	6.7	58	40	30	2	0	0	0.0055	nd
	7-8	10	9	7	6.8	58	40	20	2	0	266	0.0016	lluvias previas
5-9	10	9	7	7	60	45	40	2	0	2533	0.003	lluvias abundantes	
6-10	8	9.5	7	6.7	58	35	20	2	nd	nd	0.0076	nd	
7-11	10	9.5	7	6.8	59	40	30	2	2	0	33	0.0023	menos caudal
2016	13-1	2	9	7	6.8	59	35	20	2	0	0	0.00275	nieve cayendo
	6-2	10	9.5	7	7	60	45	10	2	nd	nd	0.0054	mas caudal, excremento
	media	9.58	9.3	7	6.8	59.1	40.4	22.5	2	0	306.4	0.0031	
	desv. estandar	3.25	0.33	0.0	0.12	0.90	4.98	7.54	0.0	0.0	786.5	0.00	
Agua Grande	Fecha	T° aire	T° agua	pH	OD	Sat O3	Alcalinidad	Dureza	Turbidez	E. coli	Otras	Q	Observaciones
2015	7-2	11	9	7	6.8	58	40	30	2	0	0		caudal bajo
	7-3	13	9	7	6.7	57	45	30	2	0	0	0.0024	caudal bajo
	1-4	16	9.5	7	6.8	59	45	30	2	0	33	0.0028	caudal bajo
	4-5	11	9.5	7	6.6	56	40	30	2	0	0	0.0042	flor de adorno, basura
	6-6	14	9.5	7	6.5	56	50	20	2	0	0	0.0034	basura
	4-7	10	9.5	7	6.8	59	45	30	2	0	0	0.0065	nd
	7-8	12	9.5	7	6.6	56	45	20	2	0	0	0.0054	lluvias previas
5-9	12	9.5	7	6.7	58	45	30	2	0	0	0.0108	lluvias abundantes	
6-10	15	9.5	7	6.7	58	45	30	2	nd	nd	0.0132	nd	
7-11	15	10	7	6.4	55	45	30	2	2	0	33	0.0034	menos caudal
2016	13-1	3	9	7	6.8	59	45	20	2	0	0	0.003	nieve de 8-10 cm
	6-2	12	9.5	7	7	60	50	30	2	nd	nd	0.0018	basura
	media	12	9.4	7	6.7	57.6	45.0	27.5	2	0	6.60	0.005	
desv. estandar	3.38	0.29	0.0	0.16	1.56	3.02	4.52	0.0	0.0	13.91	0.00		

Cuadro 1 (continuación). Los parámetros de la calidad del agua en tres manantiales de la zona de estudio obtenidos mediante el MCP (Fuente: datos de trabajo de campo, 2015).

Monte Alegre	Fecha	T° aire °C	T° agua °C	pH	OD ppm	Sat O3 %	Alcalinidad mg/l	Dureza mg/l	Turbidez ITU	E. coli colonias	Otras coliformes	Q m ³ /s	Observaciones
2015	7-2	14	12	7	6.8	62	40	30	2	33	366		caudal bajo, excremento
	7-3	17	17	7	6.2	64	40	30	2	0	0	0.024	caudal bajo, excremento
	1-4	15	15	7	6.3	61	45	20	2	0	500	0.0081	caudal bajo, excremento
	4-5	17	15	7.5	6.6	64	40	20	2	133	733	0.0148	excremento vaca
	6-6	12.5	13	7	6.2	58	35	20	2	33	233	0.0792	excremento vaca
	4-7	12	10.5	7	6.8	60	35	30	2	0	100	0.0325	excremento vaca
	7-8	16	12	7	6.6	60	30	20	2	100	633	0.078	lluvias previas
2016	5-9	15	12	7	6.8	62	30	20	2	33	1 066	0.326	lluvias abundantes
	6-10	17.5	13.5	7	6.7	63	30	20	2	nd	nd	0.0931	nd
	7-11	15	12.5	7.5	6.4	59	35	20	2	0	1100	0.0675	menos caudal
	13-1	4	7	7	7.5	65	35	20	5	250	600	0.04875	poca nieve, agua turbia
	6-2	11.5	12.5	7	6.7	60	40	20	2	nd	nd	0.0446	menos caudal, basura
	<i>media</i>	13.9	12.7	7	6.6	61.5	36.3	22.5	2	58	533.1	0.074	
	<i>desv. estándar</i>	3.69	2.50	0.2	0.36	2.20	4.83	4.52	0.87	81.4	372.8	0.09	

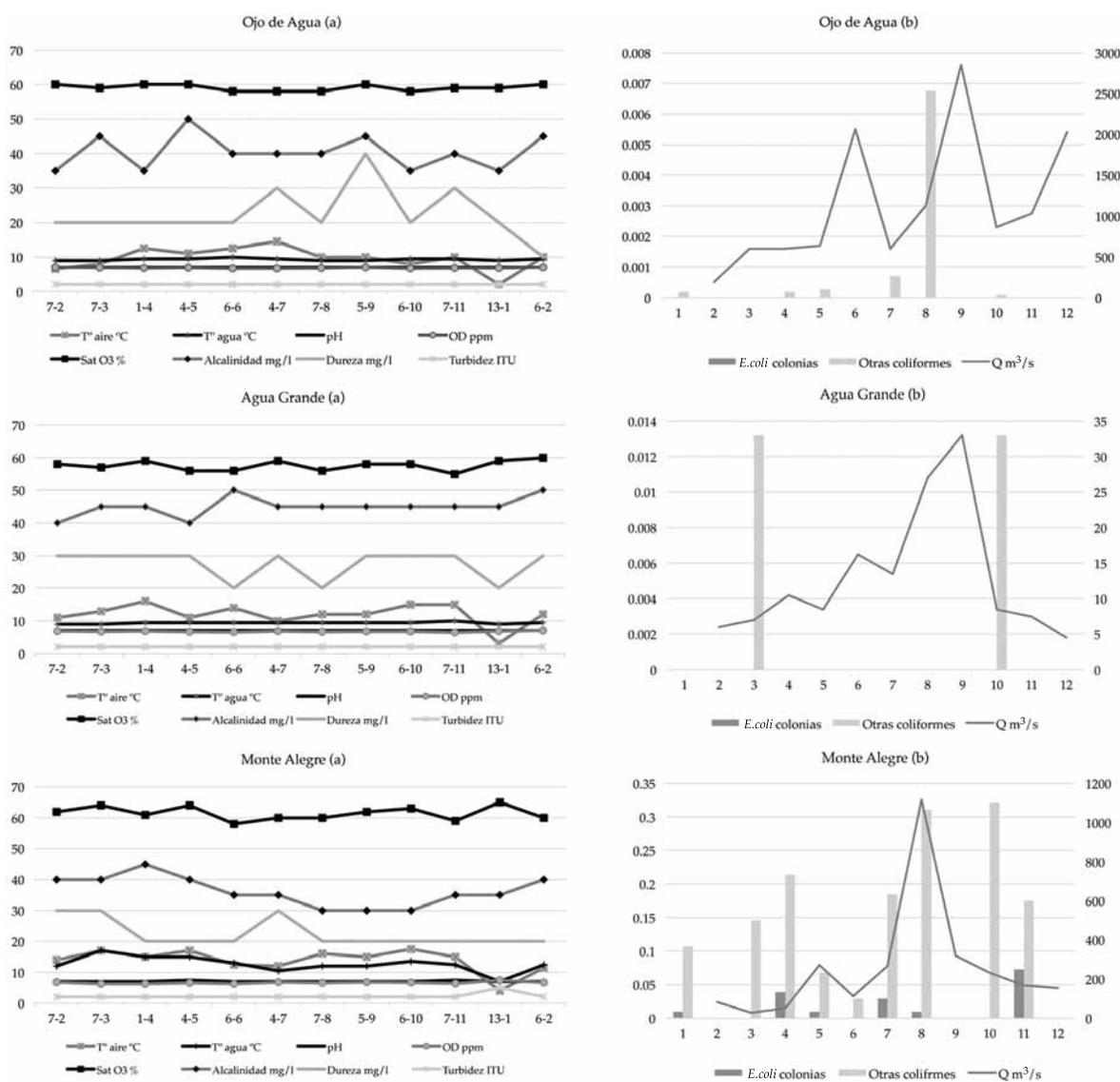


Figura 3. Los resultados del monitoreo comunitario participativo: fisicoquímico, bacteriológico y caudal. Fuente: elaborado con base en datos de trabajo de campo, 2015.

con toma de muestras de agua para el análisis de laboratorio, donde se midieron los mismos parámetros fisicoquímicos *in situ* (para su comparación directa), además de otros componentes (características fisicoquímicas, principales aniones y cationes, y metales traza). Asimismo, se buscó la información histórica de la calidad del agua de los manantiales de la zona de estudio en el archivo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM).

Al respecto de los resultados obtenidos a partir del procesamiento de las muestras en laboratorio (anexo 3), se puede constatar que prácticamente no se observan cambios estacionales entre la época de lluvia y seca en cuanto a las concentraciones de los elementos medidos (que en general son muy bajas), como K = 1-2 mg/l; Mg = 2-3 mg/l; Na = 4-5 mg/l; Si = 11-22 mg/l; Cl = 0.9-1.11 mg/l; NO₃⁻ = 1 mg/l; SO₄²⁻ = 4-5 mg/l. Tampoco en relación con el

Cuadro 2. Los rangos de parámetros de la calidad del agua en tres manantiales de la zona de estudio y su caracterización para vida acuática y uso humano (Fuente: datos de trabajo de campo, 2015 y Deutsch et al., 2010b).

Característica medida	Rango observado	Determinación cualitativa	Caracterización para vida acuática y uso humano
Temperatura de agua	9 y 13.5 °C	Baja	Óptimo para vida acuática (menos de 32 °C); corresponde a saturación de oxígeno de 10-11 mg/l
pH	7-7.5	Neutral	Óptimo para vida acuática (pH = 6.5-8.5); calidad de agua destilada
Dureza (Ca, Mg)	20-40 mg/l	Suave y moderadamente suave	Suave (0-20 mg/l), moderadamente suave (20-60 mg/l); calidad óptima
Alcalinidad (CaCO ₃)	30-50 mg/l	Sistemas estables	Buen sistema amortiguador (20-80 mg/l); ambiente estable para vida acuática
Oxígeno disuelto	6.2-7 ppm	Bueno	Bueno (4-7 ppm) para la mayoría de animales acuáticos; bueno para peces tropicales; bajo para peces de aguas frías
Saturación de oxígeno	55-64%	Pobre o aceptable	Menos de 60% es agua pobre (caliente o bacterias usando oxígeno); 60-79% aceptable para la mayoría de la vida animal en agua
Turbidez	2 NTU	Sin sedimento	Óptimo para vida acuática; permite la penetración de luz
<i>E. coli</i>	0-250	De potable a recreación	0 (agua potable); 250-600 (recreación)

Nota: la determinación de rangos se basó en el manual de monitoreo de Deutsch et al. (2010b).

pH = 7.3-7.5; conductividad eléctrica = 56-115 uS, entre otros (que indican promedios cercanos a los parámetros del cuadro 1), y temperatura $T = 19$ a 21 °C (sólo más alta por la transportación de las muestras).

Sólo se detecta la diferencia en la medición de azufre (en abril, $S = 1$ mg/l y en septiembre, $S = 2.7-3.4$ mg/l); también alcalinidad (Ca CO₃), que en abril varía entre 37 y 49 mg/l (muy parecido a lo medido en campo de 35 a 45 mg/l), en septiembre refleja valores de 175 a 255 mg/l (muy elevado en comparación con la medición *in situ*, y a la cual aún no se ha podido encontrar explicación). Por otro lado, en las muestras de septiembre (en comparación con las de abril) se han detectado elementos como Ca, Li, Ni, P, Sr y F, aunque en muy bajas concentraciones, cercanas a los límites de detección.

En cuanto a los datos históricos de la calidad del agua, se recopiló la información del informe SACM-GDF (2012), de donde se observa la dinámica de preservación de la buena calidad del agua durante el periodo 1990-2012 (con

pocas variaciones entre años y sitios), a lo cual se apegan los datos de medición realizada actualmente, con excepción de la alcalinidad de septiembre de 2015. En la figura 4 se presentan los resultados para las mediciones de pH, turbidez, alcalinidad y dureza, resaltando que el manantial llamado Ojo de Agua en registros oficiales se nombra como La Saucedá.

Por otro lado, es de llamar la atención la presencia de bacterias fecales en las fuentes de abastecimiento de agua de la comunidad, pues son organismos patógenos y representan el principal riesgo sanitario en el agua. En los datos históricos se observan altas concentraciones de coliformes estreptococos (C. est.), que varían entre 1 y 6 500 colonias por 100 ml de agua; en cuando los coliformes totales (Col. t.), son de 1-100 colonias, y coliformes fecales (Col. f.) son de una colonia por 100 ml. Lo último resta de los datos obtenidos en el campo con monitoreo comunitario que determinó la concentración de *E. coli* de 0 a 250 colonias por 100 ml (quizás dada la precisión y mayor frecuencia de mediciones).

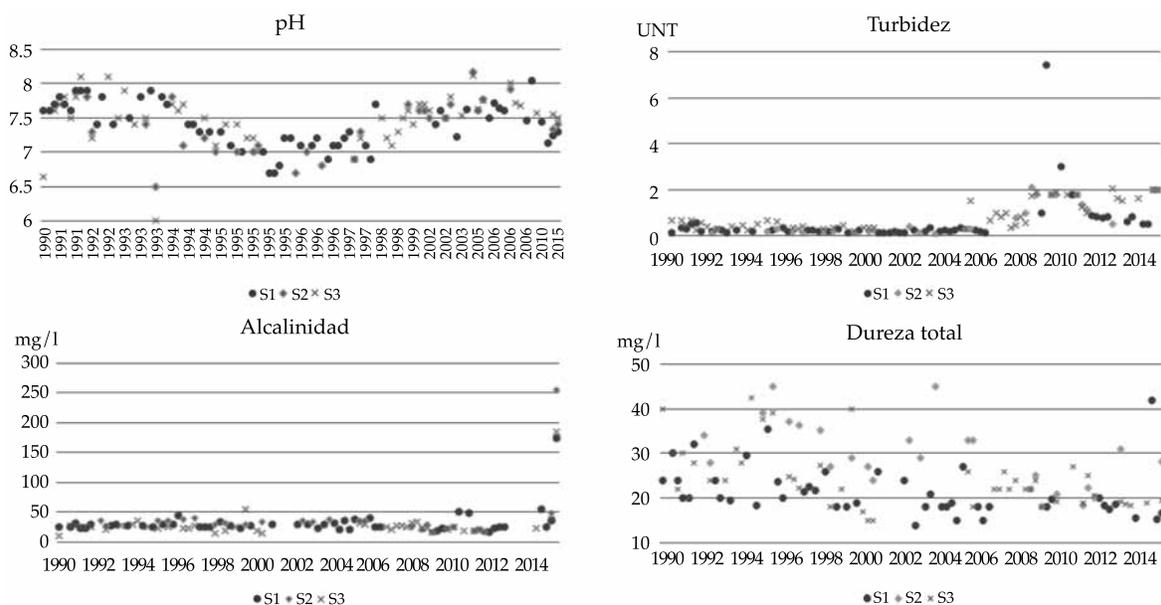


Figura 4. Los datos históricos de calidad fisicoquímica del agua, donde los sitios son S1-La Saucedá (Ojo de Agua); S2-Agua Grande; S3-Monte Alegre. Fuente: elaborado con base en SACM-GDF, 2012.

Lo interesante aquí es poder determinar la naturaleza de las coliformes presentes en el agua de la comunidad, para lo cual se debe calcular la relación entre C. est./Col. t. Como en el caso de estudio es en general menor a 0.7, esto significa que el origen de bacterias es animal y no humano, como lo proponen Rivera, De los Ríos y Contreras (2010). En relación con los coliformes, se puede decir que existen indicadores de contaminación fecal, que son materia orgánica, cloruros Cl^- , nitratos NO_3^- , nitritos NO_2^- y amonio NH_4^+ (Larrea-Murrell, Rojas-Badía, Romeu-Álvarez, Rojas-Hernández, & Heydrich-Pérez, 2013). En este sentido, sólo se puede comentar que en el monitoreo se ha detectado la baja concentración de Cl^- , que puede estar relacionada con la orina animal, y nitratos que se vinculan con el uso de abono agrícola (evidente en el caso observado).

Como ya se presentó, el monitoreo participativo ha permitido detectar los niveles de concentración de bacterias y las características fisicoquímicas del agua en la zona de estudio,

que han sido contrastados con lo dispuesto por la NOM-127-SSA1-1994 y DOF (2000), la norma mexicana que estipula los límites permisibles de la calidad del agua potable. En cuanto a los parámetros obtenidos de la calidad del agua en 2015, se observa que la turbiedad se ha mantenido por debajo de las cinco unidades que marcan el límite permisible, y la dureza total está por debajo de 500 mg/l de CaCO_3 ; mientras que el pH, en promedio, es de siete unidades, siendo el rango permisible entre 6.5 y 8.5. En cuanto a los niveles de sodio (Na), aluminio (Al) y bario (Ba), se han detectado valores muy inferiores a los límites establecidos de 200, 0.20 y 0.70 mg/l, respectivamente; de igual manera, en cloruro (Cl) menor a 250 mg/l, sulfato (SO_4) menor a 400 mg/l y fluoruro (F) menor a 1.50 mg/l, lo que remarca la buena calidad fisicoquímica del agua en la zona.

Esto no sucede en relación con la determinación de las bacterias. Resulta que sólo los sitios Ojo de Agua y Agua Grande sí cumplen con el límite dispuesto en la NOM-127-SSA1-1994 de

la bacteria *E. coli*. En particular, la norma mexicana señala que el agua para el abastecimiento humano no debe contener dicha bacteria. Con base en el método de UFM (unidades formadoras de colonias), se han calculado hasta 250 colonias de *E. coli* en Monte Alegre (estando en concentraciones por encima del cero de manera constante). Así, se recomendaría que el agua extraída de este sitio sea previamente tratada para uso y consumo humano. Incluso los niveles de microorganismos fecales detectados en el monitoreo rebasan el límite permisible del agua, incluso para uso recreativo, como albercas, según la NOM-245-SSA1-2010. Esta norma establece como máximo un rango < 40 NMP (número más probable) de colonias por 100 ml de agua, para evitar enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Observaciones finales

Como se ha demostrado, los sistemas de monitoreo comunitario participativo (MCP) sirven para la construcción de una mejor comprensión de los recursos naturales y sus potenciales servicios ecosistémicos (Flores-Díaz *et al.*, 2013), donde se busca apoyar a las comunidades con el uso de técnicas sencillas que complementan la experiencia y el conocimiento local.

En este sentido, como lo comentan Fernández-Giménez *et al.* (2008), este proceso implica diferentes niveles de participación comunitaria, que va desde una simple obtención de datos hasta el involucramiento completo de la comunidad, que le permite determinar nuevos problemas y actuar en virtud de las necesidades identificadas (Shirk *et al.*, 2012). A partir del monitoreo realizado en 2015-2016 en la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, se pudo confirmar que el involucramiento de los monitores comunitarios ha cambiado durante este corto periodo. Desde el aprendizaje de las técnicas de medición en un inicio y posterior discusión de los resultados, ahora con la determinación de otra necesidad de conocer la calidad del agua en el trayecto de la distribución y los puntos de entrega del agua en la comunidad (que

podría ser un futuro proyecto de colaboración comunidad-academia).

Por otro lado, es importante resaltar que en términos técnicos se ha determinado que el agua en las fuentes de abastecimiento de la comunidad es de buena calidad fisicoquímica, lo que se confirma con los registros históricos de los últimos 20 años (SACM-GDF, 2012). Es interesante notar que incluso no se presentan variaciones estacionales significantes en las características fisicoquímicas medidas, tampoco en gran parte de parámetros correspondientes a las muestras que se procesaron en el laboratorio. Sin embargo, se visualiza una fuerte preocupación por las bacterias fecales encontradas en un sitio observado, por lo cual se deberían tomar las medidas de aviso a la Asamblea y comunidades vecinas, y autoridades locales y del Distrito Federal para la eliminación de coliformes antes de que el agua entre al sistema de distribución.

Con esta experiencia es factible entonces comentar sobre los siguientes avances del proceso de MCP en la comunidad de Ajusco:

- Se certificaron ocho monitores. Se aplicó el monitoreo y se obtuvieron los resultados del primer año de observaciones para tres puntos preidentificados, incluyendo la formación de la base de datos y construcción de gráficas de calidad del agua.
- Se aseguró la continuidad del monitoreo a partir de la capacitación de los mismos monitores, además de obtener el apoyo de otro proyecto de investigación para el desarrollo de cuestiones logísticas.
- Por parte de monitores comunitarios se determinó otra necesidad de medición de la calidad del agua en los puntos de entrega del sistema de abastecimiento (actividad desarrollada en julio de 2016).
- Se discutió la propuesta y se presentó la información obtenida y verificada de la calidad del agua al Comité del Agua, lo que se hará posteriormente a la Asamblea de la comunidad para la toma de acciones para la eliminación y control de *E. coli*.

- Se notó el interés por parte de otras comunidades y ejidos de la zona en conocer la experiencia del MCP realizado, lo que permitiría aplicar la red de observaciones a una escala mayor, mejorar la comunicación de sus resultados y tener sinergia en acciones de control de contaminación bacteriológica.

Sin embargo, también se identificaron ciertas problemáticas y limitaciones, como:

- El proceso de aprendizaje inicial requirió de ayuda financiera para la formación inicial y la capacitación certificada de los monitores (que podría ser solucionado con la participación de la academia u otros actores sin intereses de lucro).
- El MCP *per se* requiere del compromiso a mediano o incluso largo plazo por parte de los monitores, en términos de tiempo y esfuerzo invertido, lo que resulta uno de los puntos más difíciles de seguir, dado que el monitoreo se basa en principios voluntarios de participación, por lo que presenta a lo largo una pérdida de interés por parte de los participantes que invierten su tiempo a una actividad que no les ofrece beneficios económicos directos, pero que sin embargo fortalece el conocimiento sobre sus recursos naturales e impulsa el cambio en la conciencia ambiental.
- El proceso de capacitación, en particular, demostró también un olvido de las técnicas

de medición durante el año de trabajo y un cierto desinterés por el monitoreo, que se pudo solucionar mediante las discusiones en grupo sobre las prioridades y necesidades de la comunidad (donde se determinó el problema de la calidad del agua potable en sus puntos de entrega).

- Por otro lado, haría falta presentar los resultados a la Asamblea de la comunidad para poder tomar las decisiones en relación con *E. coli*.

Por último, es indispensable comentar sobre la necesidad de incentivar el trabajo de monitores comunitarios de forma autosuficiente, para que lo puedan efectuar de manera independiente de la participación de la academia, y así apropiarse por completo de las técnicas, igual que del uso del maletín de medición y de la información obtenida. Aquí también hay que considerar los posibles problemas que puedan presentarse en relación con reposición de los químicos, la compra y el retraso en entrega del material de maletín.

En este sentido, se propone llevar a cabo alianzas entre comunidades y universidades para que haya viabilidad de recursos (físicos, humanos y económicos) que permitan la continuidad del monitoreo comunitario, además de analizar los vínculos para el compartimiento de los datos obtenidos con las comunidades vecinas para la toma de decisiones comunes, y el establecimiento de mecanismos de apoyo por parte de las autoridades regionales e incluso federales.

Anexo 1. Las imágenes del maletín “Water Quality Test Kit” de la incubadora portátil, los cultivos Coliscan EasyGel y las placas Petri pretratadas. Fuente: trabajo de campo, 2015.



Anexo 2. Las hojas de registro de campo para los parámetros del agua: a) fisicoquímicos, b) bacteriológicos. Fuente: Deutsch *et al.*, 2010b.

GLOBAL WATER WATCH MONITOREO FÍSICOQUÍMICO

Grupo: _____ Dirección: _____
 Monitor/es: _____
 Ciudad: _____ País: _____ C. P.: _____ Teléfono: _____
 Fecha muestreo: _____ Hora muestreo: _____ GWW Código Sitio: _____
 Cuenca: _____ Cuerpo de agua: _____ Estado y Municipio: _____
 Ubicación del Sitio: _____
(Notifique a la oficina de GWW sobre cualquier cambio de ubicación del sitio de muestreo)

Variable	Valor	Comentarios
Temperatura aire	_____ °C	Leer primero la temperatura del aire.
Temperatura agua	_____ °C	Evite tocar el bulbo del termómetro.
pH	_____ Unidades estándar	Registre hasta la media unidad (0.5) más cercana.
Oxígeno Disuelto	Rep #1: _____ ppm Rep #2: _____ ppm	Ambas lecturas no difieran en más de 0.6 ppm.
Salinidad	G.E. _____ Salinidad: _____ ‰	Si hay salinidad no mida dureza.
% Saturación OD	_____ ppm OD _____ % Sat OD	Estimar usando el nomograma del manual.
Alcalinidad total	_____ # gotas x 5 = _____ mg/L	Agregar gotas hasta que no haya cambio de color. Anote número de gotas hasta viraje del color.
Dureza total	_____ # gotas x 10 = _____ mg/L	
Turbidez	_____ # 0.5 mL x 5 (50mL) = _____ JTU _____ # 0.5 mL x 10 (25mL) = _____ JTU	Registre cero mL y 2 JTU si un agregado sobrepasa la turbidez del agua embotellada.
Profund. Secchi	_____ metros	No anotar si el disco toca el fondo aun visible.

Observaciones: Registre evidencia de lluvia, escurrimiento (previas 24 horas), olor/color inusual, presencia de animales en el agua, u otro dato útil. Para uso de GWW

Otros análisis: _____ Nitratos, Fosfatos, etc.

Declaro que al momento de hacer este muestreo de agua mi certificación de Monitoreo Físico-químico de GWW era válida y que verifiqué la buena condición de los implementos usados en las pruebas.

Firma: _____

Global Water Watch
 250 Ann Upchurch Hall, 368 Neil Street, Auburn University, AL 36849-5415
 Teléfono en EUA: 1-888-844-4785 ~ Fax: 334-844-3666
 Email: gww@auburn.edu ~ Web: www.globalwaterwatch.org

a)

GLOBAL WATER WATCH MONITOREO BACTERIOLÓGICO

Grupo: _____ Dirección: _____
 Monitor/es: _____
 Ciudad: _____ País: _____ C. P.: _____ Teléfono: _____
 Fecha muestreo: _____ Hora muestreo: _____ GWW Código Sitio: _____
 Cuenca: _____ Cuerpo de agua: _____ Estado y Municipio: _____
 Ubicación del Sitio: _____
(Notifique a la oficina de GWW sobre cualquier cambio de ubicación del sitio de muestreo)

Variable	Valor	Comentarios
Temperatura	Aire: _____ Agua: _____ °C	Lea primero la temperatura del aire.
Volumen Muestra	_____ mL	Use igual volumen para todas las repeticiones
Inicio Incubación	_____	Use formato de 24 hr, (1:45 pm = 1345)
Temp. Incubación	_____ °C	Manterga incubadora entre 29 y 37 °C.
Periodo Incubación	_____ horas	Cuente colonias 30 a 48 hr de incubación
Expiración Medio	_____	Use este formato: May - 15.
Medio vertido en Sitio	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Use superficie horizontal y sombreada.
Transporte	<input type="checkbox"/> < 3 hrs <input type="checkbox"/> No hielo < 30min	Vierta medio en placas lo antes posible.

Réplica No.	No. de colonias E. coli en placa (verde azul a azul-violetado oscuro)*	No. de Otras Coliformes (rojo a rojo obscuro) †	Abundancia estimada de Otras Coliformes **
1			
2			
3			

* Si las colonias son muy numerosas para contar, anotar 250
 ** Abundancia: ninguna (0), raro (1-9), común (10-100), abundante (101-200), muy numerosas (250).
 † IDXX, Coliscan MF, etc.

Otros Tests de Bacteria: _____

Observaciones: Registre evidencia de lluvia, escurrimiento (previas 24 horas), olor/color inusual, presencia de animales en el agua, u otro dato útil. Para uso de GWW

Declaro que al momento de hacer este muestreo de agua mi certificación de Monitoreo Bacteriológico de GWW era válida y que verifiqué la buena condición de los implementos usados en las pruebas.

Firma: _____

Global Water Watch
 250 Ann Upchurch Hall, 368 Neil Street, Auburn University, AL 36849-5415
 Teléfono en EUA: 1-888-844-4785 ~ Fax: 334-844-3666
 Email: gww@auburn.edu ~ Web: www.globalwaterwatch.org

b)

Anexo 3. Los parámetros de la calidad del agua en tres manantiales de la zona de estudio obtenidos mediante muestreo complementario. Fuente: datos de trabajo de campo, 2015.

Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Si	Sr	Tl	V	Zn																									
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L																								
<Lc	<Lc	0	<Lc	<Lc	<Lc	4	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	2	<Lc	2	<Lc	5	0	0	<Lc	1	<Lc	<Lc	22	0	<Lc	0	<Lc																										
<Lc	<Lc	0	<Lc	<Lc	<Lc	7	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	1	<Lc	3	<Lc	4	0	<Lc	<Lc	1	<Lc	<Lc	13	0	<Lc	<Lc	<Lc																										
<Lc	<Lc	0	0	<Lc	<Lc	4	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	0	2	<Lc	2	<Lc	5	0	<Lc	<Lc	1	<Lc	<Lc	16	0	<Lc	<Lc	<Lc																										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																									
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																									
103		96	100	107	102	105	101	94	106	101	102	109	94	97	98	102	100			101	101	101	101		101	101	101	101																									
105	107	101	98			102	104	102	114	107		93		100	101			105	99	101		99	102	109		103	102	102	105																								
					94	104						99		97			97					95																															
Límite de detección																									F	Cl	Br	NO ₂	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻																							
Límite de cuantificación																									mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L																							
Porcentaje de recuperación del material de referencia certificado analizado con el lote de muestras																									0	1	<Lc	1	<Lc	4																							
Porcentaje de recuperación de una muestra de control de laboratorio elaborado de un estándar certificado																									0	1	<Lc	1	<Lc	5																							
Porcentaje de recuperación de una muestra de control de laboratorio elaborado de un estándar certificado																									0	1	<Lc	<Lc	<Lc	4																							
Se cuenta con equipo compensador de temperatura																									Ld.																												
Método del titulador digital Hach																									Lc.	0	0	0	0	1	0																						
CRM-TMDW (%)																																																					
MCL EPA200.7 (%)																									97	98	99	96	103	97																							
Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Si	Sr	Tl	V	Zn																									
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L																								
<Lc	<Lc	0.014	<Lc	<Lc	<Lc	3.8	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	2.0	0.010	1.5	<Lc	<Lc	5.15	0.007	0.078	<Lc	2.7	<Lc	<Lc	23.8	<Lc	0.018	<Lc	0.022	<Lc																								
<Lc	<Lc	0.007	<Lc	0.0003	<Lc	7.4	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	1.3	0.002	3.0	<Lc	<Lc	4.27	0.003	0.039	<Lc	3.4	<Lc	<Lc	14.5	<Lc	0.071	<Lc	0.004	<Lc																								
0.015	<Lc	0.007	0.006	<Lc	<Lc	3.7	<Lc	<Lc	<Lc	<Lc	0.018	0.93	0.003	1.8	<Lc	<Lc	2.79	0.002	0.023	<Lc	3.2	<Lc	<Lc	11.5	<Lc	0.038	<Lc	<Lc	<Lc																								
0.020	0.0038	0.0010	0.0005	0.0001	0.0031	0.0021	0.0004	0.0011	0.0016	0.0015	0.0009	0.0007	0.0001	0.0569	0.0324	0.0008	0.0388	0.0005	0.0064	0.0031	0.0400	0.0068	0.0119	0.0037	0.0028	0.0007	0.0018	0.0006	0.0048																								
0.0067	0.0127	0.0033	0.0017	0.0003	0.0103	0.0070	0.0013	0.0037	0.0053	0.0050	0.0030	0.0023	0.0003	0.1897	0.1080	0.0027	0.1293	0.0017	0.0213	0.0103	0.1333	0.0227	0.0397	0.0123	0.0093	0.0023	0.0060	0.0020	0.0160																								
98	106	99	101	97		99	97	100	99	98	98	102	106	99	105	106	98	94		102		106	106	101		102	106	96	95	95																							
95	103	103	98	99			96	98	94	95	96		105		97	100			97	97	100		101	100	101	99	98	99	95	102																							
Límite de detección																									F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻																						
Límite de cuantificación																									mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L																						
Porcentaje de recuperación del material de referencia certificado analizado con el lote de muestras																									0.18	1.11	<Lc	<Lc	0.98	<Lc	4.5																						
Porcentaje de recuperación de una muestra de control de laboratorio elaborado de un estándar certificado																									0.13	1.09	<Lc	<Lc	1.05	<Lc	5.4																						
Se cuenta con equipo compensador de temperatura																									0.10	0.74	<Lc	<Lc	0.46	<Lc	5.2																						
Método del titulador digital Hach																									Ld.																												
Lc.																									0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25																						
NIST 1643E (%)																																																					
MCL EPA200.7 (%)																									94	96	95	94	98	97	100																						

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento del proyecto 155039 de Ciencia Básica, 246947 de Problemas Nacionales y 260199 de estancia sabática. A la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, en especial al grupo de monitores Moisés Reyes, Reynaldo Camacho y Melitón Beltrán. También a Sandra Martínez de la ACUMAR, y María Emilia Zabala del IHLLA, Argentina, por la participación en el muestreo fisicoquímico complementario.

Referencias

Aguilar, A. G., & Santos, C. (2011). Asentamientos informales y preservación del medio ambiente en la Ciudad de México. Un dilema para la política de uso del suelo (pp. 93-124). En: *Suelo de conservación del Distrito Federal, ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* Pérez-Campuzano, E., Perevochtchikova, M., & Ávila-Foucat, V. S. (coord.). México, DF: IPN, MA Porrúa.

Almaraz-Vázquez, M. N. (2014). *Servicios ambientales, forestales y prácticas de aprovechamiento de Recursos de uso común en el suelo de conservación del Distrito Federal: caso de estudio los B. C. San Miguel y Santo Tomás Ajusco*. Tesis de licenciatura en Geografía. México, DF: FFL-UNAM.

Aranda, E., Oral, R., Flores, A., Ramos, M., Vidriales, G., & Manson, R. (2008). *Monitoreo comunitario del agua*. Xalapa, México: Asociación de Vecinos del Pixquiác-Zoncuantla, A. C., Global Water Watch-Veracruz, Instituto de Ecología.

Astorga, J., Avendaño, S., Bengoa, S., Cordano, A., Inzunza, M., Jacob, C., López, L., Marambio, E., Parada, V., & Venegoni, C. (1998). *Manual de técnicas microbiológicas para alimentos y agua*. Santiago, Chile: Instituto de Salud Pública de Chile.

Barton-Bray, D., Merino-Pérez, L., Negreros-Castillo, P., Segura-Warnholtz, G., Torres-Rojo, J. M., & Vester, H. M. F. (2003). Mexico's Community-Managed Forests as a Global Model for Sustainable Landscapes. *Conservation Biology*, 17(3), 672-677.

Burgos, A., Carmona, E., Páez, R., & Rivas, H. (2012). *Redes de monitoreo comunitario de la calidad del agua en cuencas rurales de Michoacán: hacia la articulación de la ciencia con la sociedad*. México: CIGA-UNAM. Recuperado de http://www.agua.unam.mx/ivagua/assets/pdfs/presentaciones/ana_burgos.pdf.

Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., & Rivas, H. (2013). Systems Approach to Modelling Community-Based Environmental Monitoring: A Case of Participatory Water Quality Monitoring in Rural Mexico. *Environmental Monitoring Assessment*, 185, 10297-10316.

- Conabio (2009). Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). México, DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Conafor (2009). El Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México 2004-2009. Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y el desarrollo forestal de México. Primera edición. Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal, Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales.
- Cortina-Segovia, S., & Saldaña-Espejel, A. (2014). Retos de la evaluación del Programa de Pago por Servicios Ambientales de la Comisión Nacional Forestal (pp. 133-154). En: *Pago por servicios ambientales en México. Un acercamiento para su estudio*. Perevochtchikova, M. (coord.). México, DF: EL Colegio de México.
- Deutsch, W. G., Ruiz-Córdova, S. S., & Duncan, B. L. (eds.). (2010a). *Community-Based Water Monitoring: A Practical Model for Global Watershed Stewardship*. Auburn, USA: Global Water Watch Program, Auburn University.
- Deutsch, W. G., Romagnoli, O., & Ruiz-Córdova, S. S. (2010b). *Manual de monitoreo comunitario del agua: Monitoreo bacteriológico y físico-químico*. México, DF: Centro Internacional de Agricultura y Ambientes Acuáticos, GWW Program-Alabama University, Fundación Gonzalo Río Arronte, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- DGCOH-GDF (1999). *Estudios para el aprovechamiento y rehabilitación de los manantiales de la Delegación Tlalpan. Informe Final*. México, DF: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Gobierno del Distrito Federal, SACM.
- DOF (1975). Resolución sobre reconocimiento y titulación de bienes comunales del poblado denominado San Miguel Ajusco, Delegación de Tlalpan, DF. México, DF: GDF (DOF 03/01/1975), *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, DF: Gobierno Federal, *Diario Oficial de la Federación*.
- Evans, K., & Guariguata, M. R. (2008). *Monitoreo participativo para el manejo forestal en el trópico: una revisión de herramientas, conceptos y lecciones aprendidas*. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Fernandez-Gimenez, M. E., Ballard, H. L., & 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), 4.
- Flores-Díaz, A. C., Ramos-Escobedo, M. G., Ruiz-Córdova, S. S., Manson, R., Aranda, E., & Deutsch, W. G. (2013). *Monitoreo comunitario del agua: retos y aprendizaje desde la perspectiva de Global Water Watch-México*. México, DF: GWW. Recuperado de <http://www.researchgate.net/publication/268803861>.
- Galicia, L., & Zarco-Arista, A. E. (2014). Multiple Ecosystem Services, Possible Trade-offs and Synergies in a Temperate Forest Ecosystem in Mexico: A Review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystems Services & Management*, 10(4), 275-288.
- García dos Santos, D., Veiga, F., Diederichsen, A., Guimarães, J., Bardy-Prado, R., & Eufrausino-Schuler, A. (2011). Panorama del monitoreo de los PSA hídricos en Brasil: el caso del programa productor de agua. En: *Memorias del Congreso Internacional de Pago por Servicios Ambientales, México*.
- Geilfus, F. (2009). *80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación*. 8va impresión. San José, Costa Rica: ICCA. Recuperado de <http://www.iica.int>.
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., & Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- Loaiza-Cerón, W., Reyes-Trujillo, A., & Carvajal-Escobar, Y. (2011). Modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola. *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 77-89.
- Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., & Montes, C. (2009). Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante. *Cuides*, 3, 229-258.
- MEA (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: Millennium Ecosystem Assessment, Island Press.
- Moran, E., & Ostrom, E. (eds.) (2005). *Seeing the Forest and the Trees: Human-Environment Interactions in Forest Ecosystems*. Cambridge, USA: MIT Press, Cambridge.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, DF: *Diario Oficial de la Federación*, 19/01/1996 con última modificación de 16/12/1999.
- Norma Oficial Mexicana NOM-245-SSA1-2010. Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas. México: *Diario Oficial de la Federación*, 25 de junio de 2012.
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analysing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325, 419-422.
- Páez-Bistraín, R., Burgos-Tornadu, A., Carmona-Jiménez, E., & Rivas-Solórzano, H. (2011). *Monitoreo comunitario de la calidad del agua en cuencas rurales del Bajo Balsas*. México: CIGA-UNAM. Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_mon_rpaez.pdf.

- PAOT (2012). *Atlas geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal*. México, DF: Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, Secretaría del Medio Ambiente.
- Perevochtchikova, M., Rojo-Negrete, I. A., Martínez, S., & Fuentes-Mariles, G. (2015). Análisis hidroclimatólogico para la evaluación de los efectos del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos. Caso de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4, 45-55.
- Pérez-Campuzano, E., Perevochtchikova, M., & Avila-Foucat, V. S. (coords.). (2011). *Suelo de conservación del Distrito Federal, ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, DF: IPN, MA Porrúa.
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P., & Zuluaga, P. A. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rivera, R., De los Ríos, P., & Contreras, A. (2010). Relations fecal Coliforms/ Fecal Streptococci as Indicators of the Origin of Fecal Pollution in Urban and Rural Water Bodies of Temuco, Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(2), 141-149.
- SACM-GDF (2003). *Estudio de aprovechamiento y optimización de los manantiales Viborillas, La Saucedá y Monte Alegre, para el mejoramiento y aprovechamiento del suministro del agua potable en las partes de la delegación Tlalpan. Informe final*. México, DF: Sistemas y Proyectos Ambientales, S. A. de C. V. (SIPRA), Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Gobierno del Distrito Federal.
- SACM-GDF (2009). *Aforo de manantiales de opciones de su utilización temporal. Informe final*. Tomo I. México, DF: Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Gobierno del Distrito Federal.
- SACM-GDF (2012). *Proyecto ejecutivo de aprovechamiento de manantiales intermitentes T1 y T2*. México, DF: Secretaría del Medio Ambiente, Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Inesproc, S. A. de C. V.
- Shirk, J. L., Ballard, H. L., Wilderman, C. C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B. V., Krasny, M. E., & Bonney, R. (2012). Public Participation in Scientific Research: A Framework for Deliberate Design. *Ecology and Society*, 17(2), 29.
- Soares, D., & Murillo-Licea, D. (2013). Capital social y vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos: lecciones desde el municipio de San Felipe, costa de Yucatán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(1), 167-177.

Dirección institucional de los autores

Dra. María Perevochtchikova

El Colegio de México, A.C.
 Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales
 Camino al Ajusco 20, Pedregal de Santa Teresa, Tlalpan
 10740 Ciudad de México, MÉXICO
 Teléfono: +52 (55) 54493 999, ext. 4065
 mperevochtchikova@colmex.mx

M.I. Nidya Aponte Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México
 Unidad de Posgrado
 Posgrado en Geografía
 Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria
 04510 Ciudad de México, MÉXICO
 naponteh@gmail.com

M.D.R. Verhonica Zamudio-Santos

Doctoranda en Estudios Urbanos y Ambientales
 El Colegio de México, A.C.
 Camino al Ajusco 20, Pedregal de Santa Teresa, Tlalpan
 10740 Ciudad de México, MÉXICO
 zamsant@gmail.com

Dr. Gabriel Eduardo Sandoval-Romero

Universidad Nacional Autónoma de México
 Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico
 Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, AP 70-186
 04510 Ciudad de México, MÉXICO
 eduardo.sandoval@ccadet.unam.mx